

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALENCIA
SAN VICENTE MÁRTIR**



**CAMBIOS ANATÓMICOS EN EL PROCESO DE
EMETROPIZACIÓN: INFLUENCIA DE LAS
PROPIEDADES BIOMECÁNICAS CORNEALES Y
LOS PARÁMETROS ANATÓMICOS OCULARES**

**TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR:
Inmaculada Bueno Gimeno**

**DIRIGIDA POR:
Dr. Enrique España Gregori**

**TUTORIZADA POR:
Dr. Juan Marín Montiel**

Valencia 2013

Dr. D. ENRIQUE ESPAÑA GREGORI

Profesor Asociado del departamento de Cirugía de la Universidad de Valencia.

CERTIFICA:

Que la presente tesis doctoral titulada CAMBIOS ANATÓMICOS EN EL PROCESO DE ENTROPIZACIÓN: INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES BIOMECÁNICAS CORNEALES Y LOS PARÁMETROS ANATÓMICOS OCULARES ha sido realizada por D^a INMACULADA BUENO GIMENO bajo mi dirección, en el Programa de Doctorado Investigación y Desarrollo para la obtención del título de Doctor por la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

Para que así conste a los efectos legales oportunos, se presenta esta tesis doctoral y se extiende la presente certificación en Valencia a 6 de Junio de 2013.

Fdo.: Enrique España Gregori

A Roser Isern, sempre

A Rafa

A Pablo

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Al Dr Enrique España Gregori, Director de esta tesis, compañero durante años en el Departamento de Óptica y amigo, por su inestimable ayuda en todo momento, por su paciencia, dedicación y por estar siempre disponible, incluso para los pequeños detalles.

A mi compañero y amigo Andrés Gené Sampedro que también ha sufrido la elaboración de esta tesis, por sus consejos, su desinteresada ayuda y colaboración en todo momento.

Al Dr Juan Marín Montiel a quien he tenido la suerte de conocer ya en la recta final de este trabajo y que me ha ofrecido todo su apoyo.

Al Profesor Bernard Gilmartin y la Dra Hetal Patel por su calurosa acogida durante mi estancia en Inglaterra.

Al Dr Aitor Lanzagorta Aresti, quien me brindó la oportunidad de trabajar en la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo en la recogida de datos para la elaboración de este trabajo.

A María Porcal Moreno por su colaboración y su ayuda en todo momento, sin la cual no hubiese sido posible este trabajo.

A Rosa Llopis, Sonia, Lorena e Inma por todos los jueves que hemos pasado juntas, por vuestro gran apoyo y sobre todo por haberme contagiado vuestra simpatía.

A Isabel Cid por su capacidad de organización y a todas las compañeras optometristas de la FOM que siempre han estado atentas y dispuestas a ayudarme en la recogida de datos.

A Juan Ramos, el informático, siempre cordial y resolutivo en cualquier incidencia.

A la Dra Amparo Navea y la Dra Cristina Peris y, en general, a todos los oftalmólogos/as, optometristas, enfermeras y a todas las personas de la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo que siempre me facilitaron el trabajo y me hicieron sentir como en mi propia casa.

A Salva y Noelia, por lo que les ha tocado soportarme durante todo este tiempo.

A mis compañeros y amigos Maite Díez y Paco Sañudo por nuestras largas conversaciones y vuestros valiosos consejos.

De corazón, quiero mostrar mi agradecimiento en general a todas aquellas personas que me han apoyado, y a los que de una u otra forma han intervenido y hecho posible que esta tesis viese la luz y que involuntariamente he olvidado nombrarles.

ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

AV: agudeza visual

C/D: relación excavación/papila (Cup/Disc)

CH: histéresis corneal

CFNR: capa de fibras nerviosas de la retina

cm: centímetro

CNO: cabeza del nervio óptico

CRF: factor de resistencia corneal

CXL: cross-linking

D: dioptría

DE: desviación estándar

EC: espesor del cristalino

ECC: espesor corneal central

EE: equivalente esférico

EPR: epitelio pigmentario de la retina

GC: glaucoma congénito

GDx-ECC: Polarimetría láser con compensación corneal variable mejorada

GDx-VCC: Polarimetría láser con compensación corneal variable

GNM: glaucoma normotensional

GPAA: glaucoma primario de ángulo abierto

HRT: Heidelberg Retina Tomograph (láser confocal de barrido)

HTO: hipertensión ocular

IR: infrarrojo

Km: curvatura corneal media

LA: longitud axial

Mhz: megahercio

MLI: membrana limitante interna

mm: milímetro

nm: nanómetro

NO: nervio óptico

OCT: Optical Coherence Tomography (Tomografía de Coherencia Óptica)

OD: ojo derecho

OI: ojo izquierdo

ORA: analizador de respuesta ocular

PCA: profundidad de cámara anterior

PCV: profundidad de la cámara vítrea

PIO: presión intraocular

PIOcc: presión intraocular corneo-compensada

PIOg: presión intraocular correspondiente a Goldman

RC: radio de curvatura

Rx: error refractivo (equivalente esférico)

SNC: sistema nervioso central

SD-OCT: Spectral Domain Optical Coherence Tomography (Tomografía de Coherencia Óptica de Dominio Espectral)

SLP: Scanning Laser Polarimetry (Polarimetría láser)

US: ultrasonidos

µm: micra

WTW: distancia blanco a blanco (distancia que tiene el ojo desde el limbo corneal temporal al nasal)

RESUMEN

ABSTRACT

RESUMEN

Objetivos: El objetivo principal de este trabajo ha sido investigar 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, valorando la influencia que sobre ellos pueden tener los valores que aporta el estudio de la biomecánica corneal, relacionándolos todos con la aparición de ametropías en el grupo de edad de 6 a 17 años.

En segundo lugar se han comparado los parámetros anatómicos oculares de niños emétopes con niños de la misma edad, amétopes sanos y la correlación de estos con la refracción.

También se ha evaluado la relación entre las propiedades biomecánicas corneales y configuración de la papila (papila/excavación) comparando el grupo de emétopes frente a los amétopes. Con todo ello se ha pretendido establecer unos valores de referencia de los parámetros del nervio óptico (capa de fibras nerviosas y configuración papilar) así como analizar su variación con la longitud axial, sexo, edad y biomecánica corneal en niños de 6-17 años emétopes y amétopes sanos.

Material y métodos: Se evaluaron 293 ojos de 293 niños sanos (135 niños y 158 niñas), con edades comprendidas entre los 6 y 17 años. Se dividió a los sujetos en función de la ametropía, emétopes como grupo control (99 niños), miopes (100 niños) e hipermétropes (94 niños). Se midió histéresis corneal (CH), factor de resistencia corneal (CRF), presión intraocular corneo compensada (PIOcc) y presión intraocular equivalente a Goldman (PIOg), con el Analizador de Respuesta Ocular (ORA; Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, New York). La longitud axial (LA), y la potencia dióptrica corneal media (Km) se midieron mediante Interferometría de Coherencia Parcial (IOLMaster Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, CA) y la profundidad de cámara anterior (PCA), así como el espesor corneal central (ECC) se evaluaron mediante Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Anterior (Visante™ OCT Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA). La capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) y los

parámetros del nervio óptico se valoraron mediante Tomografía de coherencia óptica de dominio espectral (Cirrus OCT™ Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA).

El cálculo y el análisis estadístico se realizaron mediante el programa estadístico SPSS (versión 19.00) para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL). Para el estudio del comportamiento que siguen los datos, se ha aplicado el test de Kolmogorov-Smirnov y el coeficiente de correlación de Pearson se ha utilizado para el análisis de la relación existente entre los diferentes parámetros medidos, considerando este valor estadísticamente significativo para un valor de p inferior a 0.05. Se hizo el análisis de regresión lineal múltiple, método pasos sucesivos (Stepwise) para examinar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente y una o más variables llamadas independientes o explicativas.

Para valorar si existen diferencias significativas entre ambos sexos en todos los parámetros evaluados, así como entre ambos ojos, se utilizó la prueba t -test Student. El análisis de varianza entre grupos, ANOVA se realizó para evaluar la influencia tanto de la edad, como del error refractivo en la biomecánica corneal y en los parámetros del nervio óptico y CFNR. Para identificar la existencia de diferencias significativas entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

Resultados: La media (\pm DE) de edad fue de 10.84 ± 3.05 años. Los valores medios (\pm DE) de CH y CRF fueron 12.12 ± 1.71 y 12.30 ± 1.89 mmHg respectivamente. El valor medio (\pm DE) del ECC fue 542.68 ± 37.20 μ m y la media (\pm DE) del espesor de la CFNR fue de 99.46 ± 11.21 μ m. El valor medio (\pm DE) del equivalente esférico fue $+0.14\pm 0.51$ D (rango de -8.75 a +8.25 D).

Todos los parámetros evaluados siguieron una distribución normal.

Se encontró una fuerte correlación positiva entre CH y CFR ($p<0.0001$) y ambos se correlacionaron con el ECC ($p<0.0001$). Se aprecia una tendencia de la CH a disminuir con el incremento de la edad, aunque esta relación no fue estadísticamente significativa ($p=0.07$), sin embargo CRF disminuyó ligeramente con la edad ($p=0.01$). CH disminuyó con el aumento de la longitud axial ($p<0.0001$), así como con el incremento de la miopía ($r=-0.20$, $p=0.001$), y aumentó con el incremento de la hipermetropía. Se encontraron diferencias significativas en la CH entre los grupos de emétopes y miopes ($p<0.0001$) y

entre miopes e hipermétropes ($p=0.011$). En el CRF, se encontraron diferencias significativas entre el grupo de emétropes y el de miopes ($p=0.02$). PIOcc correlacionó positivamente con la longitud axial ($p=0.001$) y con el aumento de la miopía ($p=0.04$). En el análisis de regresión lineal múltiple valores más bajos de CH y CRF fueron significativamente asociados con espesores corneales más delgados ($p<0.0001$ y $p<0.0001$ respectivamente), longitudes axiales mayores ($p<0.0001$ y $p=0.01$ respectivamente) y curvaturas corneales más planas ($p<0.0001$ y $p=0.02$ respectivamente).

El espesor medio de la CFNR disminuye en valores más bajos de CH ($p=0.01$) y longitudes axiales mayores ($p<0.0001$). La relación excavación/papila (C/D) aumenta con valores más bajos de histéresis corneal ($p=0.02$). Se observó disminución del espesor de la CFNR y del área del anillo con el incremento de la miopía ($p=0.009$ y $p<0.0001$ respectivamente). Ni el error refractivo ni la longitud axial influyeron en la relación excavación/papila (C/D). La edad no influyó en el espesor de la CFNR ni en los demás parámetros evaluados del segmento posterior. Se observa reducción del espesor medio de la CFNR con el incremento de la PIO (PIOg y PIOcc), y reducción en el Área del anillo, pero dentro del rango de valores normales. Según el análisis de regresión lineal múltiple, cuando la longitud axial aumente 1.00 mm, el espesor medio de la CFNR disminuirá 2.80 μ m ($p<0.0001$).

Conclusiones: 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. 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). 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 nos indican 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.

ABSTRACT

Aims: The objective of this study was to investigate ocular biometry parameters (axial length, corneal thickness, corneal curvature, anterior chamber depth, retinal nerve fibre layer thickness and optic disc morphology) using non-invasive techniques and to assess the association with corneal biomechanics, which may provide insight into the onset of refractive errors in children aged between 6-17 years.

The study also assessed whether any differences in ocular parameters occur between emmetropic and ametropic healthy children, and evaluated the relationship between ocular parameters and refractive error.

We also evaluated the relationship between corneal biomechanical properties, optic disc morphology and retinal nerve fibre layer in order to establish differences related to refractive error. Hence this study also aims to report normal values for retinal nerve fibre layer and optic nerve head measurements as well as the associations between optic disc parameters and axial length, age, gender and corneal biomechanical properties in emmetropic and healthy ametropic children aged from 6 to 17 years.

Material and Methods: This study included 293 eyes of 293 healthy children (135 boys and 158 girls), ranging in age from 6 to 17 years. Subjects were divided according to refractive error: emmetropic as a control group (99 children), myopic (100 children) and hyperopic (94 children). Corneal hysteresis (CH), corneal resistance factor (CRF), corneal compensated intraocular pressure (IOPcc) and Goldman correlated intraocular pressure (IOPg), were recorded with an Ocular Response Analyser (ORA; Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, New York). Axial length (AL), and mean corneal power were measured using a Partial Coherence Interferometry (IOLMaster Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, CA) whereas central corneal thickness (CCT) and anterior chamber depth (ACD) were assessed by Anterior Segment Optical Coherence Tomography (Visante™ OCT Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA). Retinal nerve fibre layer (RNFL) and optic disc parameters were assessed by in Spectral Domain Optical Coherence Tomography (Cirrus OCT™ Carl Zeiss Meditec, Dublin, CA).

Statistical analysis was performed using SPSS software (Ver. 19.0; SPSS Inc, Chicago, IL). Kolmogorov-Smirnov Tests were used to test the data for normal distribution. Pearson's coefficient correlation was used to test the relationship between variables. A value of $p < 0.05$ was considered to indicate statistical significance. A stepwise-forward multiple linear regression analysis was used to determine which independent variables contribute significantly to describe the variability in the dependent variable. Differences between right and left eye and between gender were evaluated using a Student *t* test.

The one-way analysis of variance (one-way ANOVA) was used to test the influence of age and refractive error on corneal biomechanics, RNFL and optic disc parameters. Tukey HSD test was used to confirm any significant group differences. A value of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

Results: Mean age (\pm SD) was 10.84 ± 3.05 years. Mean (\pm SD) CH and CRF were 12.12 ± 1.71 and 12.30 ± 1.89 mmHg respectively. Mean (\pm SD) CCT was $542.68 \pm 37.20 \mu\text{m}$ and mean (\pm SD) RNFL thickness was $99.46 \pm 11.21 \mu\text{m}$. Mean (\pm SD) spherical equivalent was $+0.14 \pm 0.51$ D (range from -8.75 to $+8.25$ D).

All parameters were normally distributed.

We found a strong positive correlation between CH and CFR ($p < 0.0001$) and both correlated moderately with CCT ($p < 0.0001$). A trend in reduction in CH with increasing age was not found to be statistically significant ($p = 0.07$), however CRF decreased slightly with increasing age ($p = 0.01$). Lower levels of CH were significantly associated with longer axial length and more myopic eyes ($p < 0.0001$ and $p = 0.001$ respectively). On the other hand, higher values of CH values were found with increasing hyperopia. Significant differences in CH were found between emmetropic and myopic groups ($p < 0.0001$) and between myopic and hyperopic groups ($p = 0.011$). There were significant differences between emmetropic and myopic groups in CRF ($p = 0.02$). IOPcc was found to correlate positively with both axial length ($p = 0.001$) and negative spherical equivalent ($p = 0.04$). In multiple linear regression analysis a lower CH and CRF were significantly associated with a thinner CCT ($p < 0.0001$ and $p < 0.0001$ respectively), longer axial length ($p < 0.0001$ and $p = 0.01$ respectively) and flatter corneal curvature ($p < 0.0001$ and $p = 0.02$ respectively).

Average RNFL thickness decreased with lower values of corneal hysteresis ($p=0.01$) and longer eyes ($p < 0.0001$). The average cup to disc ratio (C/D) increased with lower CH ($p = 0.02$). Average RNFL thickness and rim area decreased with increasing negative spherical equivalent ($p=0.009$ and $p < 0.0001$ respectively). Neither refractive error nor axial length were associated with average cup to disc ratio (C/D). No associations were found between RNFL thickness and optic nerve head parameters and age. Thinner RNFL thickness and smaller ring area were associated with higher IOP (IOPg and IOPcc) but within normal range values. In multiple linear regression analysis, average RNFL thickness decreased by 2.80 μm when axial length increased 1.00 mm ($p < 0.0001$).

Conclusions: The mechanical strength in the anterior segment of the eye is compromised in myopia from an early age, more so in high myopia, regardless of age. Measurements of corneal biomechanical properties (CH and CRF) can provide us with information about the resistance to deformation of the eyeball and may be a risk of development of visual defects (myopia). Corneal biomechanics have an effect on the development of posterior segment. Low values of CH may indicate a reduction in the viscous dampening properties not just of the cornea, but also increased deformability of the optic nerve head as well as a thinning of the RNFL, especially in myopic children.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	15
1.- INTRODUCCIÓN.....	21
1.1- FORMACIÓN DEL GLOBO OCULAR.....	21
1.1.1.- Embriología ocular.....	21
1.2.- ANATOMÍA DEL OJO HUMANO.....	28
1.2.1.- Anatomía de la córnea.....	30
1.2.1.1.- Epitelio corneal.....	30
1.2.1.2.- Membrana de Bowman.....	30
1.2.1.3.- Estroma corneal.....	31
1.2.1.4.- Membrana de Descemet.....	31
1.2.1.5.- Endotelio corneal.....	32
1.2.2- Anatomía de la retina.....	32
1.2.3.- Anatomía del Nervio Óptico.....	36
1.2.3.1.- Papila Óptica.....	38
1.2.3.2.- Excavación Papilar.....	39
1.2.3.3.- Anillo neuroretiniano.....	41
1.3.- DESARROLLO DEL SISTEMA VISUAL CON LA EDAD.....	42
1.3.1.- Cambios del sistema visual desde el nacimiento hasta los 5 años.....	42
1.3.2.- Cambios refractivos desde los 6 hasta los 10 años.....	45
1.3.3.- Emetropización.....	46
1.3.4.- Cambios refractivos en la adolescencia.....	46
1.4.- PARÁMETROS OCULARES Y DEFECTO REFRACTIVO.....	48
1.4.1.- Longitud axial y radio de curvatura corneal.....	50
1.4.2.- Profundidad de cámara anterior, espesor del cristalino y profundidad de cámara vítrea.....	51
1.4.3.- Espesor Corneal Central.....	54

1.5.- NUEVOS INSTRUMENTOS EN LA VALORACIÓN ANATÓMICA Y BIOMECÁNICA.....	56
1.5.1.- Interferometría de Coherencia Parcial. Biometría Óptica.....	56
1.5.2.- Analizador de Respuesta Ocular.....	59
1.5.3.- Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Posterior.....	66
1.5.3.1.- Adquisición y análisis de imágenes del espesor de la CFNR por Cirrus HD-OCT.....	71
1.5.3.2.- Análisis de la topografía del nervio óptico por Cirrus HD-OCT.....	69
1.5.3.3.- Adquisición y análisis de imágenes del espesor retiniano por Cirrus HD-OCT.....	70
1.5.4.- Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Anterior.....	72
2.- HIPÓTESIS.....	87
3.- OBJETIVOS.....	91
3.1.- OBJETIVO PRINCIPAL.....	91
3.2.- OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	91
4.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	95
4.1.- DISEÑO DEL ESTUDIO.....	95
4.2.- CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	95
4.3.- SELECCIÓN DE PACIENTES.....	95
4.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	98
4.5.- CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	99
4.6.- ANAMNESIS.....	99
4.7.- EXAMEN OPTOMÉTRICO.....	99
4.8.- EXPLORACIÓN OFTALMOLÓGICA.....	100

4.9.- PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN.....	100
4.9.1.- Exploración con el Analizador de Respuesta Ocular (ORA).....	100
4.9.2.- Exploración con IOLMaster.....	102
4.9.3.- Exploración con OCT.....	103
4.9.3.1.- Exploración con OCT de Segmento Posterior.....	103
4.9.3.2.- Exploración con OCT de Segmento Anterior.....	107
4.10.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	108
4.10.1.- Estadística descriptiva.....	108
4.10.2.- Estadística analítica.....	108
4.10.2.1.- Correlación entre parámetros.....	109
4.10.2.2.- Prueba T de Student.....	109
4.10.2.3.- ANOVA (análisis de varianza).....	109
4.10.2.4.- Análisis de regresión lineal.....	110
5.- RESULTADOS.....	115
5.1.- EMÉTROPESES.....	116
5.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétopes.....	119
5.1.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétopes divididos por grupos de edad.....	121
5.1.2.- Comparación de la biomecánica corneal por grupos de edad en emétopes.....	122
5.1.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes.....	123
5.1.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes.....	126
5.1.4.1.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes divididos por grupos de edad.....	128

5.1.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos de edad en emétopes.....	129
5.1.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes.....	131
5.2.- MIOPESES.....	134
5.2.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes.....	136
5.2.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías.....	138
5.2.1.2.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos en grupos de edad.....	139
5.2.2.- Comparación de la biomecánica corneal por grupos en miopes.....	140
5.2.2.1.- Comparación en función de la ametropía.....	141
5.2.2.2.- Comparación en función de la edad.....	142
5.2.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes.....	144
5.2.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes.....	147
5.2.4.1.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropías.....	149
5.2.4.2.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de edad.....	150
5.2.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos en miopes.....	152
5.2.5.1.- Comparación en función de la ametropía.....	152
5.2.5.2.- Comparación en función de la edad.....	155
5.2.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes.....	157

5.3.- HIPERMÉTROPES.....	162
5.3.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes.....	164
5.3.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes divididos por grupos de ametropías.....	165
5.3.2.- Comparación de las propiedades biomecánicas corneales por grupos de ametropías en hipermétropes.....	167
5.3.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes.....	169
5.3.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes.....	171
5.3.4.1.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías.....	173
5.3.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos de ametropías en hipermetrope.....	175
5.3.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes.....	178
5.4.- POBLACIÓN INFANTIL Y JUVENIL EVALUADA.....	181
5.4.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil.....	183
5.4.2.- Comparación de las medidas del ORA por grupos en la población infantil y juvenil.....	185
5.4.2.1.- Comparación en función de la ametropía.....	185
5.4.2.2.- Comparación en función de la edad.....	188
5.4.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil.....	191
5.4.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en la población infantil y juvenil.....	193

5.4.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos en la población infantil y juvenil.....	195
5.4.5.1.- Comparación en función de la ametropía.....	195
5.4.5.2.- Comparación en función de la edad.....	199
5.4.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil.....	202
5.4.7.- Influencia de la ametropía en todos los parámetros evaluados en la población infantil y juvenil.....	204
5.4.7.1.- Influencia de la ametropía en el segmento anterior en la población infantil y juvenil.....	205
5.4.7.2.- Influencia de la ametropía en el segmento posterior en la población infantil y juvenil.....	208
6.- DISCUSIÓN.....	215
6.1.- BIOMECÁNICA CORNEAL Y PARÁMETROS BIOMÉTRICOS OCULARES.....	216
6.1.1.- Relación entre longitud axial y error refractivo con la biomecánica corneal.....	216
6.1.2.- Influencia del error refractivo en la PIO.....	219
6.1.3.- Influencia del espesor corneal central en la biomecánica corneal.....	221
6.1.4.- Influencia de la curvatura corneal en la biomecánica corneal.....	222
6.1.5.- Influencia de la edad en la biomecánica corneal.....	223
6.1.6.- Influencia de la raza en la biomecánica corneal.....	226
6.2.- BIOMECÁNICA CORNEAL, ANATOMÍA DEL NERVIO ÓPTICO Y CAPA DE FIBRAS NERVIOSAS DE LA RETINA.....	228
6.2.1.- Influencia de la biomecánica corneal y espesor corneal central en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina.....	229

6.2.2.- Influencia de la longitud axial y el error refractivo en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina.....	233
6.2.3.- Influencia de la edad en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina.....	236
6.2.4.- Influencia de la presión intraocular en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina.....	237
7.- CONCLUSIONES.....	241
7.1.- CONCLUSIONES GENERALES.....	241
7.2.- CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	242
7.1.- OVERALL CONCLUSIONS.....	244
7.2.-SPECIFIC CONCLUSIONS.....	245
8.- REFERENCIAS.....	249
9.- APÉNDICE.....	271
9.1.- CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	271
9.2.- TABLAS.....	273
9.2.1.- Relación de parámetros utilizados, unidades de medida y abreviaturas.....	273
9.2.2.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétopes.....	274
9.2.3.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes.....	275
9.2.4.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes.....	277
9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes.....	278

9.2.6.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes.....	281
9.2.7.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías.....	282
9.2.8.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de edad.....	285
9.2.9.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes.....	288
9.2.10.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes.....	291
9.2.11.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropías.....	292
9.2.12.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos en grupos de edad.....	294
9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes.....	296
9.2.14.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes.....	299
9.2.15.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes divididos por grupos de ametropías.....	300
9.2.16.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes.....	303

9.2.17.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes.....	305
9.2.18.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías.....	306
9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes.....	307
9.2.20.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil.....	311
9.2.21.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil.....	312
9.2.22.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en la población infantil y juvenil.....	314
9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil.....	315
9.3.- DIVULGACIÓN CIENTÍFICA.....	319

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El ojo humano sufre un desarrollo anatómico y fisiológico espectacular a lo largo de la lactancia y principio de la infancia.¹

La mayor parte del desarrollo de éste se produce durante los últimos meses del embarazo y el primer año de vida,¹⁻⁵ por lo que la edad de desarrollo del bebé en el nacimiento, puede tener un efecto muy importante sobre la refracción. Así pues, los niños nacidos a término suelen ser hipermétropes y los prematuros, con menos de 1.500 gramos al nacer, tienden hacia la miopía. Según varios autores,⁶⁻⁷ aunque la mayor parte del crecimiento del globo ocular tiene lugar en el primer año de vida, es entre los 6 y 10 años cuando se producen los cambios más importantes en el desarrollo refractivo ocular ya que en esta etapa, la mayoría de los niños alcanzan la emetropía, si bien muchos de ellos siguen una lenta y progresiva evolución hacia la miopía, llegando a alcanzar incluso más de -4.00 D. Este sería, por tanto un momento clave en el desarrollo del sistema visual.

En esta etapa llamada proceso de emetropización puede influir la estructura interna y composición de los tejidos. Estos afectarían las propiedades biomecánicas de las paredes oculares.

En los últimos 50 años⁷ han sido numerosos los estudios realizados en niños para valorar la relación entre los parámetros ópticos axiales y el desarrollo de los errores refractivos, pero siempre han estado limitados por la tecnología existente. Sin embargo, las modernas tecnologías aplicadas a la oftalmología han cambiado tanto los métodos de investigación como las técnicas empleadas en la misma, de esta forma hoy día podemos medir los parámetros oculares mediante procedimientos no invasivos, hecho muy importante si se trata de una población infantil.

Debido a los avances en la tecnología láser, se ha desarrollado instrumentación que utiliza la interferometría para medir la longitud axial.⁸⁻¹⁰ Una de estas técnicas, es la Interferometría Coherente Parcial o Biometría Óptica, que tiene un mayor nivel de precisión que el ultrasonido.¹⁰ La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) de segmento posterior permite estudiar tanto la

morfología de la cabeza del nervio óptico como de la CFNR y se pueden obtener, de forma no invasiva, cortes in vivo de la retina con una resolución axial de 5 μm .^{11,12}

Con la Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) de segmento anterior¹³ se obtienen imágenes in vivo del polo anterior del ojo y medidas biométricas de la córnea de alta resolución.

Asimismo, es posible evaluar las propiedades biomecánicas de la córnea, mediante el Analizador de Respuesta Ocular (ORA), ya que anteriormente sólo se podían medir mediante modelos teóricos y de laboratorio, y así poder correlacionar dichas propiedades con errores refractivos y longitud axial.^{14,15}

Investigaciones recientes en las que se ha valorado la relación entre la biomecánica corneal y los errores refractivos, han asociado valores más bajos de histéresis corneal con longitudes axiales más largas.¹⁶ Una explicación posible sería que, ojos con valores más bajos de histéresis corneal y que se deformen más fácilmente, puedan tener un mayor riesgo de elongación axial. Si esto es así, la histéresis corneal junto con otras medidas, se podría usar para cribado (*screening*) en la detección y prevención de la miopía.

También se ha demostrado que las propiedades biomecánicas corneales tienen una influencia muy importante en las medidas de la PIO. Medidas como la histéresis corneal nos pueden proporcionar información de 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 daño glaucomatoso,¹⁷ o al menos de una morfología papilar de diferente arquitectura.

A su vez, la configuración del nervio óptico y el espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina pueden verse afectados por la estructura interna de las cubiertas y estar relacionados con parámetros oculares como la longitud axial o el espesor corneal central.

Se ha confirmado que en adultos, tanto de raza blanca como negra, ojos con mayor longitud axial tienen mayor tamaño del nervio óptico,¹⁸ pero en la bibliografía, son pocos los resultados encontrados en los que se analizan los parámetros de normalidad del nervio óptico y su relación con la refracción y longitud axial en la población infantil.

Todo esto nos lleva a plantearnos si existe influencia de los parámetros oculares como son la longitud axial o el espesor corneal central y las propiedades biomecánicas corneales en el proceso de emetropización del ojo, su relación con la refracción ocular, y si estos factores se relacionan con la configuración anatómica de la cabeza del nervio óptico y de la capa de fibras nerviosas de la retina. Todo ello medido mediante métodos no invasivos, cruciales en el análisis de la población infantil.

1.- INTRODUCCIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- FORMACIÓN DEL GLOBO OCULAR

El desarrollo del ojo humano es un proceso complejo que comprende la sucesión ordenada de diferentes acontecimientos que comienzan con la fertilización del óvulo y persisten durante el período postnatal temprano. Aunque existe una tendencia a separar estos cambios en diferentes etapas, numerosos acontecimientos del desarrollo ocular ocurren simultáneamente. La inducción, proceso embriológico por el cual un tejido estimula directamente la aparición y desarrollo de un segundo tejido, es un fenómeno de capital interés en la formación y desarrollo de las diferentes estructuras del ojo humano. El retraso o la interrupción de estos procesos pueden determinar la aparición de diferentes anomalías oculares congénitas.^{19,20}

El periodo embrionario (comprendido entre el decimocuarto día después de la gestación y la octava semana) es el más delicado del embarazo, y la importancia de este periodo radica en el correcto desarrollo orgánico de las estructuras, pudiéndose ver afectado el proceso de formación de las estructuras por enfermedad de la madre, ingesta de sustancias tóxicas (alcohol, tabaco, drogas o fármacos), o por exposiciones perjudiciales a rayos. En el periodo fetal, el cual abarca desde la octava semana hasta el nacimiento, los ojos son menos susceptibles de adquirir una malformación estructural o que le afecte alguna enfermedad.²⁰

1.1.1.- Embriología ocular

El desarrollo ocular prenatal se divide en tres grandes períodos: embriogénesis, organogénesis y diferenciación.

Durante el primer período o embriogénesis, el cual se inicia tras la fertilización y dura unas ocho semanas, las células adquieren una disposición espacial para el desarrollo de las tres hojas embrionarias: ectodermo, endodermo

y mesodermo¹⁹ (Figura 1). Cada hoja embrionaria dará lugar de forma específica a las diferentes estructuras oculares (Tabla 1).

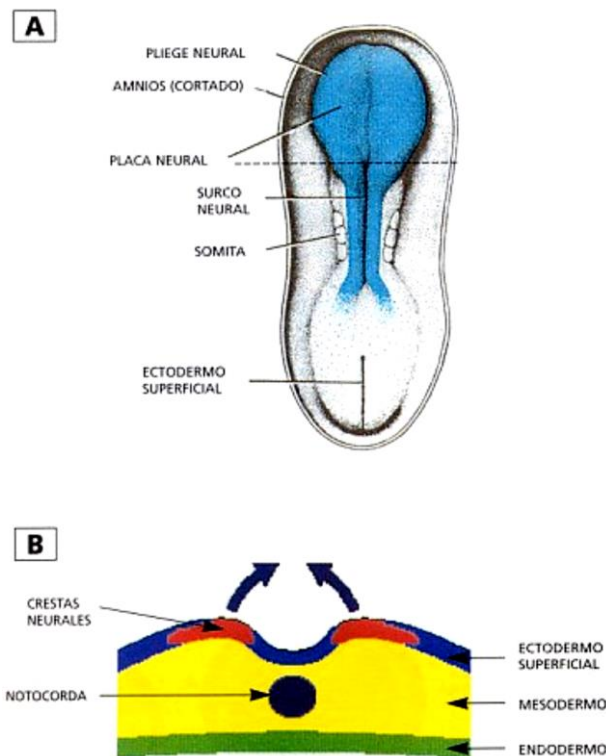


Figura 1.- A: Embrión de 18 días desde el interior del saco amniótico.
B: Corte axial. (Honrubia, 2.002)²¹.

Al final de la embriogénesis el extremo cefálico del tubo neural se diferencia en tres dilataciones o vesículas encefálicas primarias: prosencéfalo, mesencéfalo y rombencéfalo. La primera manifestación del ojo en desarrollo aparece en el embrión de 22 días como dos surcos poco profundos llamados surcos o fosetas ópticas, situados a cada lado del prosencéfalo en invaginación.

El segundo período u organogénesis empieza en la tercera semana de gestación y tiene lugar la segregación de células en órganos rudimentarios.²² Los surcos ópticos producen dos evaginaciones en el prosencéfalo denominadas vesículas ópticas que migrarán lateralmente formando los tallos o pedículos

ópticos. Finalmente las vesículas ópticas se pondrán en contacto con el ectodermo superficial induciendo en él los cambios necesarios para la formación del cristalino (Figuras 2 y 3).²³

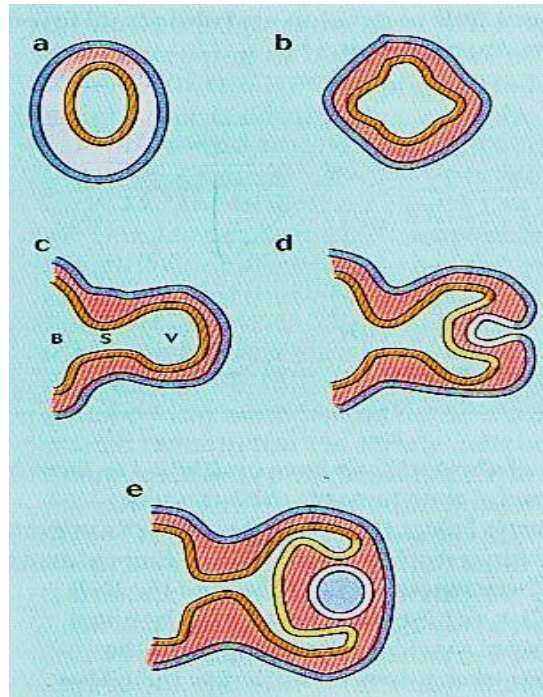


Figura 2.- Formación de la vesícula óptica y copa óptica.

a.- El tubo neural está formado (naranja), y está dentro de la superficie del ectodermo (azul). Las células de las crestas neurales (rosa) están formándose desde la superficie dorsal del tubo.

b.- La pared del diencéfalo se está formando.

c.- Formación de la vesícula óptica (V), conexión con el cerebro (B) por el tallo óptico (S)

d.- Invaginación de la vesícula, el ectodermo neural se divide en dos capas, la más externa (naranja), dará lugar al epitelio pigmentario de la retina y la interna (amarillo) a la retina neural. El ectodermo también se invagina (azul claro) para formar el cristalino

e.- La copa óptica está formada. El epitelio pigmentario de la retina y la retina neural se acercan y contactan (Harvey W, Gilmartin B. 2004).²³

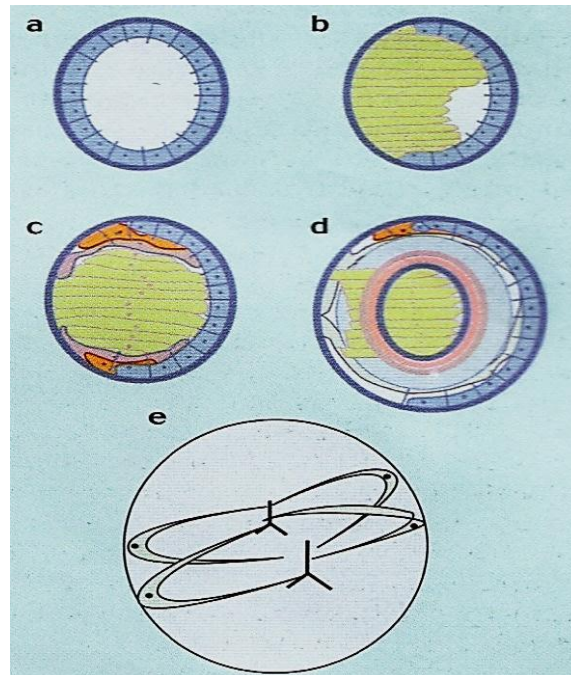


Figura 3.- Formación del cristalino

- a.- Las células epiteliales segregan una membrana que se convierte en cápsula.
- b.- Las células epiteliales posteriores se extienden hacia delante para ocupar el espacio dentro del globo de células.
- c.- El primer grupo de células epiteliales ecuatoriales se alarga para envolver las fibras primarias y éstas a su vez son envueltas por el segundo grupo de células.
- d.- Capas de las células de fibras secundarias se colocan debajo y comprimen las células primarias hacia el centro.
- e.- Visto de frente, cada célula individual (cuatro en la imagen), se puede ver desde el polo posterior al anterior. Los puntos en los que las células se juntan se llaman suturas (forma de Y) (Harvey W, Gilmartin B. 2004).²³

A la vez que se producen estos acontecimientos, las células del ectodermo superficial, que en la etapa inicial contactaban con la vesícula óptica, comienzan a alargarse y originan la placoda cristalina; la placoda ulteriormente se invagina y forma la vesícula cristalina. Durante la quinta semana de desarrollo la vesícula cristalina deja de estar en contacto con el ectodermo superficial y se sitúa en la boca de la cúpula óptica (Figura 4).

Paralelamente al desarrollo de ambas estructuras el tejido mesodérmico paraaxial adyacente dará lugar a varios componentes vasculares y orbitarios. Este segundo período u organogénesis, finaliza en la octava semana.

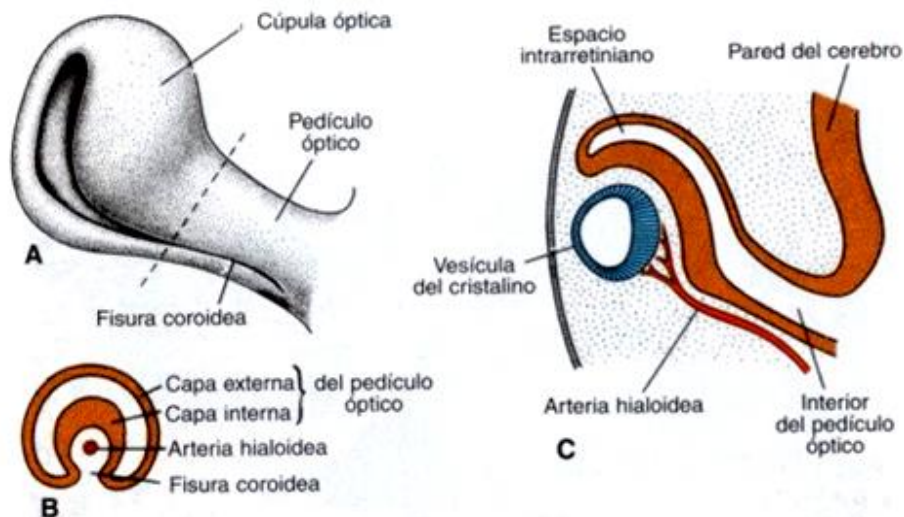


Figura 4.-

A: Vista ventrolateral de la cúpula y pedículo ópticos de un embrión de 6 semanas.

B: Corte transversal del pedículo óptico por la línea discontinua indicada en A.

C: Corte que pasa por la vesícula del cristalino en el plano de la fisura coroidea (Langman 2001).¹⁹

Finalmente, durante el período de diferenciación que comienza alrededor de la octava semana de gestación, tienen lugar los cambios necesarios previos para que el ojo pueda funcionar completamente.²⁴ Para algunas estructuras oculares, por ejemplo la mácula, la diferenciación se completará con posterioridad al nacimiento.

En la Tabla 1 se resumen los hechos más importantes de la organogénesis ocular.

ECTODERMO
NEUROECTODERMO
• Retina neurosensorial
• Epitelio pigmentario de la retina
• Epitelio pigmentario del cuerpo ciliar
• Epitelio no pigmentado del cuerpo ciliar
• Epitelio pigmentario del iris
• Músculos esfínter y dilatador del iris
• Nervio óptico, incluidos axones y células gliales
• Humor vítreo
CRESTAS NEURALES (ECTOMESENUQUIMA)
• Estroma y endotelio corneal
• Esclerótica
• Malla trabecular
• Vainas y tendones de los músculos extraoculares
• Tejido conectivo del iris
• Músculos del cuerpo ciliar
• Estroma de la coroides
• Melanocitos uveales y epiteliales
• Vainas meníngeas del nervio óptico
• Células de Schwann de los nervios ciliares
• Ganglio ciliar
• Huesos orbitarios (línea media)
• Cavidad orbitaria inferior
• Cartílagos orbitarios
• Tejidos conectivo y adiposo orbitarios
• Capa muscular y vainas conectivas de los vasos oculares y orbitarios
ECTODERMO SUPERFICIAL
• Epitelio, glándulas y cilios de la piel palpebral y carúncula
• Epitelio conjuntival
• Cristalino
• Epitelio corneal
• Glándula lagrimal
• Sistema de drenaje lagrimal
• Humor vítreo
MESODERMO
• Fibras de los músculos extraoculares
• Lámina endotelial de todos los vasos oculares y orbitarios
• Porción temporal de la esclera
• Humor vítreo

Tabla 1.- Origen embrionario de los tejidos oculares.²²

En la Figura 5 se resume esquemáticamente el desarrollo del globo ocular

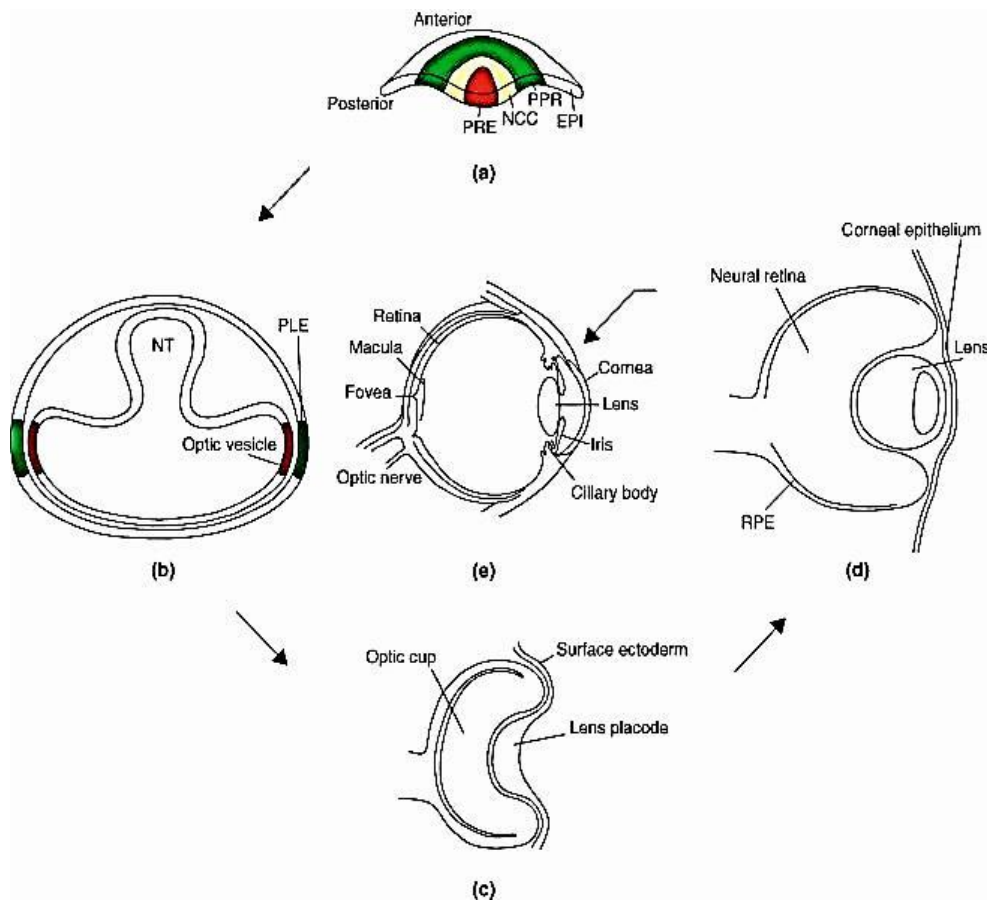


Figura 5.- Desarrollo ocular.

(a) En la gastrulación, la placa neural anterior contiene el ectodermo (PRE), rodeado por células de la cresta neural (NCCs), en la región preplacodal (PPR), y la epidermis (PAI). (b) El tubo neural (NT) se cierra y en la pared anterolateral del tubo neural a nivel diencefálico aparecen las vesículas ópticas, que contactan con el ectodermo superficial (PLE) a ambos lados para formar las placodas ópticas (futuro cristalino). (c) Formación de la placoda del cristalino. Las vesículas ópticas se invaginan para formar el nervio óptico y esbozo del globo ocular. (d) Cada placoda óptica se invagina, formando la vesícula del cristalino que se desprende del ectodermo superficial y queda incluida en la vesícula óptica, originando una cavidad independiente. En esta etapa, el nervio óptico comienza a diferenciarse en la retina neural y del epitelio pigmentario de la retina (EPR). (e) Ojo de un adulto. (Salil A et al 2010).²⁵

1.2.- ANATOMÍA DEL OJO HUMANO

El ojo humano está compuesto por el globo ocular y sus anejos, constituyendo el sistema receptor bilateral del aparato visual que recibe las imágenes del exterior y las transmite al cerebro a través de la vía óptica. La forma que adquiere dependerá, de la tracción de los músculos oculomotores que se insertan a su nivel, de la presión que ejerce por contacto la grasa orbitaria y de las diferencias de estructura según las distintas regiones.²⁴ Así, se puede entender que el ojo no tenga la forma perfectamente esférica que tendría si dependiese sólo de la presión de los tejidos que contiene.

El diámetro anteroposterior del globo ocular mide alrededor de 24.20 mm, el eje transversal 24.10 y el vertical 23.60.²⁴ Su peso es aproximadamente de 7.00 gramos y su volumen de 6.50 cm³.

El globo ocular está separado del contenido de la órbita por la cápsula de Tenon y está compuesto por tres capas o membranas: externa, media e interna.

- Túnica externa o esclerótica, es una túnica conjuntiva y resistente de misión esquelética; por delante, se continúa con un tejido de la misma naturaleza pero transparente por su finalidad óptica: la córnea (primera lente del ojo).²⁶

- Capa media o úvea es esencialmente un tejido conjuntivo laxo, pigmentado y muy vascularizado. Se puede dividir en tres partes: por delante el "iris" perforado en su centro por la pupila, que regula la incidencia luminosa; inmediatamente posterior a él, el "cuerpo ciliar", formado por músculo y procesos ciliares, encargándose de la acomodación y la formación del humor acuoso, respectivamente, y por detrás de él, la "coroides" que reviste el globo ocular por dentro y nutre la capa retiniana de conos y bastones.²⁴⁻²⁶

- La túnica interna o retina es una membrana nerviosa muy diferenciada posteriormente, que constituye el receptor visual gracias a los fotorreceptores; por delante, es atrófica a nivel de la ora serrata, lugar en el que se inserta al cuerpo ciliar, jugando aquí un papel secundario²⁷ (Figura 6).

Los medios transparentes o cámaras que componen el globo ocular son:

- El humor vítreo, el más importante en volumen (4ml), se sitúa entre la retina, por detrás, y el cristalino por delante.^{26,27}
- El cristalino, segunda lente del ojo, mantenido en su posición por la zónula, está situado entre el vítreo, por detrás y el humor acuoso por delante.²⁶
- El humor acuoso ocupa totalmente la región del ojo situada por delante del plano del cristalino y de la zónula.^{26,27}

El iris divide al ojo en una cámara posterior, entre el cristalino y el iris, y en una cámara anterior entre el iris y la córnea. Posee una apertura central de tamaño variable que comunica las dos cámaras llamada pupila.²⁶

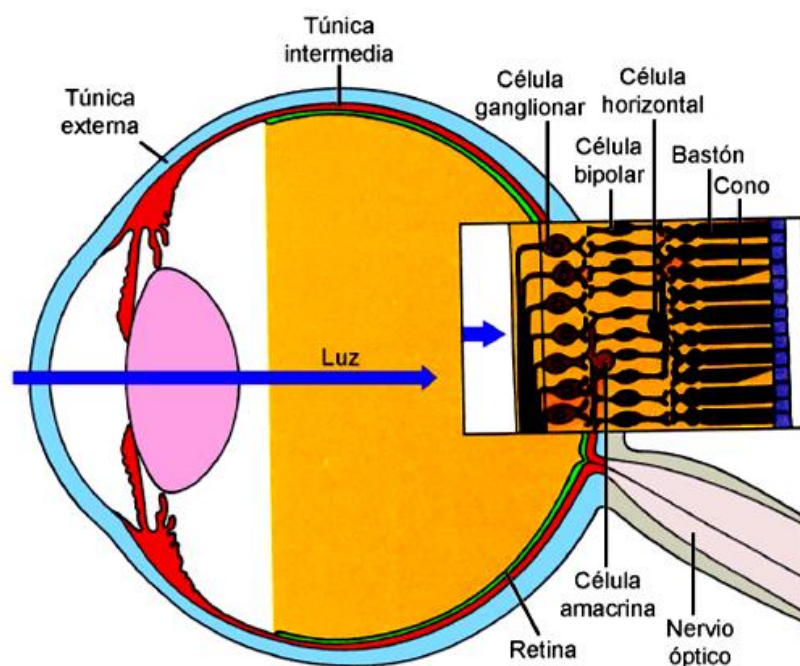


Figura 6. Esquema del globo ocular en el que están representadas las capas que lo componen: túnica externa, intermedia e interna o retina. Modificada de Hubel (2000).²⁷

1.2.1.- Anatomía de la córnea

Las características más importantes de la córnea son su transparencia y su función como superficie de refracción, que permite una transmisión y enfoque óptimo de la luz sobre la retina. La curvatura corneal tiene un valor medio de 43.50 D y es considerada como una de las estructuras oculares con la capacidad de refracción más importante del ojo.²⁸

Histológicamente se pueden diferenciar cinco capas: epitelio, membrana de Bowman, estroma, membrana de Descemet y endotelio.

1.2.1.1.- Epitelio corneal

Es un epitelio, escamoso estratificado, no queratinizado, no secretor y que interacciona con la película lagrimal precorneal estableciendo una superficie óptica lisa.²⁸ Representa el 10% del espesor corneal total (25 – 50 µm). Las células se agrupan en capas de 5-7 células de espesor, de las cuáles las células basales presentan capacidad mitótica. Existe una proliferación celular basal continua que permite la integridad del epitelio corneal. La diferenciación celular dura entre 7 y 14 días. Las células del epitelio corneal presentan uniones celulares, interdigitaciones y desmosomas, además de microvellosidades. Tienen la capacidad de secreción de glucoproteínas y de formar el glucocálix o matriz extracelular. Las células basales epiteliales forman la membrana basal de 50 nm de espesor, compuesta de colágeno tipo IV y laminina fundamentalmente además de otras proteínas.²⁶⁻²⁸

1.2.1.2.- Membrana de Bowman

Está formada por fibras de colágeno tipo I y III, con un espesor medio de 12 µm. Antiguamente se consideraba parte anatómica del epitelio, con capacidad de regeneración. Actualmente se sabe que esto no ocurre, por lo que se considera una unidad anatómica independiente. Las corneas de los animales por debajo de los primates en la escala evolutiva carecen de membrana de Bowman.

Las corneas sin membrana de Bowman presentan un comportamiento mucho más plástico a la deformación, lo que dificulta la interpretación de la lecturas tonométricas.^{28,29}

1.2.1.3.- Estroma corneal

El estroma corneal representa el 90% del espesor corneal, siendo su principal función mantener las características estructurales y ópticas de la córnea.²⁸

Está formado por un 75% a 80% de agua y el resto, 20% a 25% está formado por fibras de colágeno y proteoglicanos. La alta especificidad y la configuración estructural del colágeno y proteoglicanos son los responsables principales de la transparencia de la córnea y su habilidad de transmitir la luz a la retina. Por ello, el estroma corresponde fundamentalmente a una matriz extracelular constituida por fibrillas de colágeno que se organizan en láminas. Estas fibrillas poseen una disposición en paralelo entre ellas y la superficie corneal, siendo separadas unas de otras por una matriz hidrofílica compuesta por sustancias de proteoglicanos polisulfatados. Las láminas se extienden de una parte a otra del limbo y se disponen oblicuas entre sí en la parte anterior del estroma y de manera ortogonal en la parte posterior del mismo. Se presentan además entre las láminas de colágeno unas células de unión que corresponden a los queratocitos, responsables de elaborar y mantener las fibrillas de colágeno que conforman las láminas y la matriz extracelular, también son los precursores de los fibroblastos en los procesos de curación en el caso de presentarse lesiones corneales.^{27,28}

1.2.1.4.- Membrana de Descemet

Es la membrana basal del endotelio corneal. Su espesor es de 10-12 μm en la época adulta. Los componentes principales de la membrana basal son colágeno tipo IV, laminina y fibronectina, y se ha sugerido que esta última actúa en la adhesión de las células endoteliales a la membrana.³⁰

1.2.1.5.- Endotelio corneal

Está formado por una monocapa de células hexagonales distribuidas en forma de mosaico que cubre la superficie interna de la córnea. Este endotelio actúa como una barrera entre el estroma corneal y el humor acuoso, limitando la imbibición de agua y solutos desde la cámara anterior al interior del estroma.²⁶⁻²⁸

La densidad de las células endoteliales es considerada uno de los puntos importantes para mantener la transparencia corneal, ya que una significativa disminución del número de células endoteliales produce una inhabilidad para mantener el estado de deshidratación corneal y por tanto la transparencia de esta.²⁸

1.2.2.- Anatomía de la retina

La retina es una fina y delicada membrana derivada del neuroectodermo, que cubre parte de la superficie interna del globo ocular. Es el sustrato morfológico físico en el que se realiza la transformación de la energía lumínica en impulsos eléctricos, que conducidos a la corteza cerebral, hacen posible el fenómeno complejo de la visión. Debido a su origen embriológico desde el prosencéfalo, se considera como una parte especialmente diferenciada del cerebro.²⁷

La retina consta de cuatro capas de células y dos capas de conexiones neuronales^{27,28} (Figura 7). En cortes histológicos de la retina esta sencilla estructura de seis capas se pierde en superficie y se observa un aspecto poliestratificado mucho más complejo que se origina de la yuxtaposición anatómica de partes similares de células adyacentes. Así, la estructura de la retina sensorial se puede dividir en diez capas que de exterior a interior son:

- Epitelio pigmentario de la retina (EPR) o retina no neural, formada por una monocapa de células epiteliales que limita externamente con la coroides.
- Capa de receptores, formada por los segmentos externos e internos de los fotorreceptores.

- Membrana limitante externa, formada por un entramado de uniones del tipo zónula adherens entre la región más externa de las células de Müller y entre estas y los fotorreceptores.
- Capa nuclear externa, formada por los núcleos de los fotorreceptores y sus prolongaciones.
- Capa plexiforme externa, donde se produce la sinapsis entre fotorreceptores, células bipolares y células horizontales.
- Capa nuclear interna formada por los núcleos de células bipolares, horizontales, amacrinas e interplexiformes.
- Capa plexiforme interna, donde se producen la sinapsis de células bipolares, células ganglionares y células amacrinas.
- Capa de células ganglionares, son las encargadas de enviar la información visual al cerebro por medio de sus axones.
- Capa de las fibras nerviosas de la retina, formada por los axones de las células ganglionares de la retina.
- Membrana limitante interna, formada por los terminales de las células de Müller.²⁸

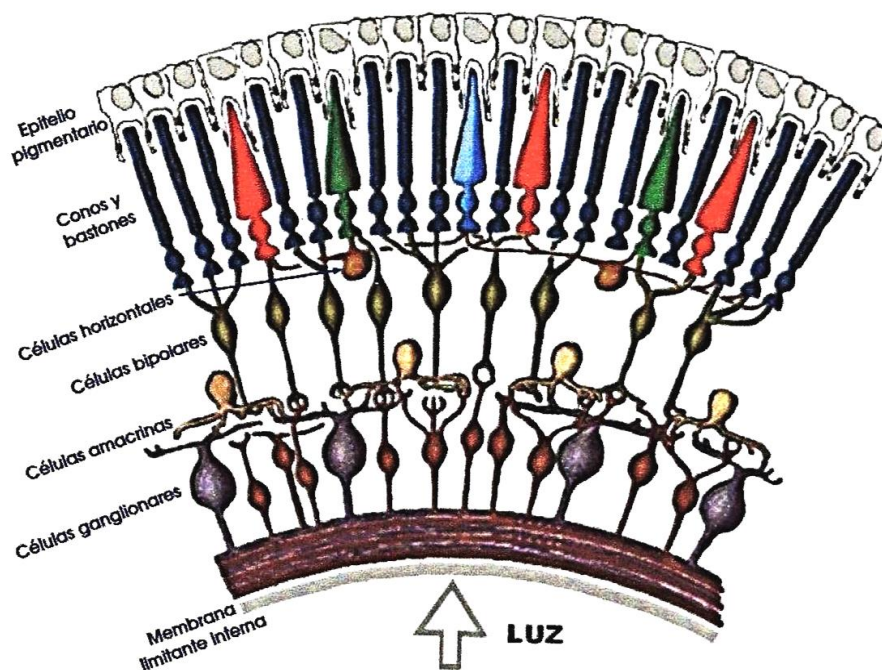


Figura 7.- Representación esquemática de las diferentes células que componen la retina.²⁸

Este patrón está presente en toda la retina excepto en la fovea.

La retina humana es invertida. La luz, una vez que atraviesa el sistema óptico de dioptros oculares y el humor vítreo, penetra en la retina. En primer lugar se encuentra con las células ganglionares, posteriormente atraviesa las capas plexiformes y nucleares interna y externa y por último accede a la capa de fotorreceptores (bastones y conos).²⁹

El epitelio pigmentario constituye la última estructura retiniana que tapiza toda su superficie con funciones de máxima importancia, entre las que destacan su capacidad para almacenar vitamina A, depósito de melanina y su función fagocítica de parte del segmento externo de los fotorreceptores.^{29,30}

En el polo posterior se denomina mácula y es la responsable de la visión central y del color. La retina se extiende desde la mácula en el polo posterior, hasta 5 mm por delante del ecuador del globo, finalizando en la ora serrata donde se continúa con el epitelio no pigmentado de la pars plana del cuerpo ciliar.³¹

La mácula mide unos 5.50 mm de diámetro y en su centro se encuentra la fovea, una fosita de 1.50 mm de diámetro, que está especialmente capacitada para la visión aguda y detallada. El suelo de la fosita recibe el nombre de foveola.³² La foveola es una región muy especializada de la retina (difiere en su estructura tanto de la retina periférica como de la retina central) y tiene un diámetro de 0.35 mm. Esta zona se compone casi por completo de conos, cuya densidad es de 15.000/mm², descendiendo hasta unos 4.000-5.000/mm² en la periferia³¹ (Figura 8).

El grosor de la mácula es la mitad que el de la retina posterior debido a que la capa de fibras nerviosas, células ganglionares y plexiforme interna están ausentes en esta zona. Así pues, esto origina una mayor sensibilidad visual en esta región, la cual está especializada en la máxima visión, al disminuir el grosor del tejido que la luz debe atravesar para alcanzar los conos (Figura 9).

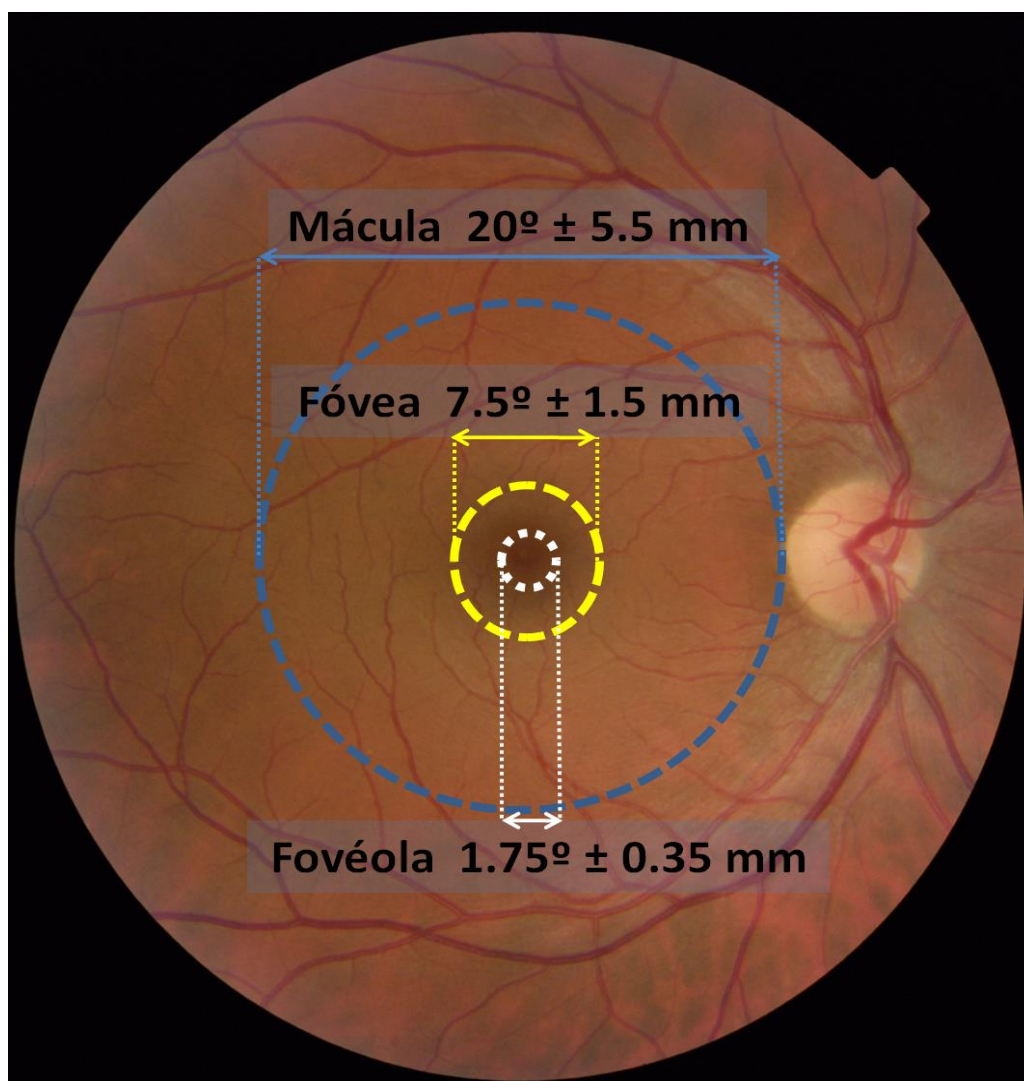


Figura 8.- División anatómica de las diferentes partes del polo posterior en una imagen retinográfica (imagen original de la autora).

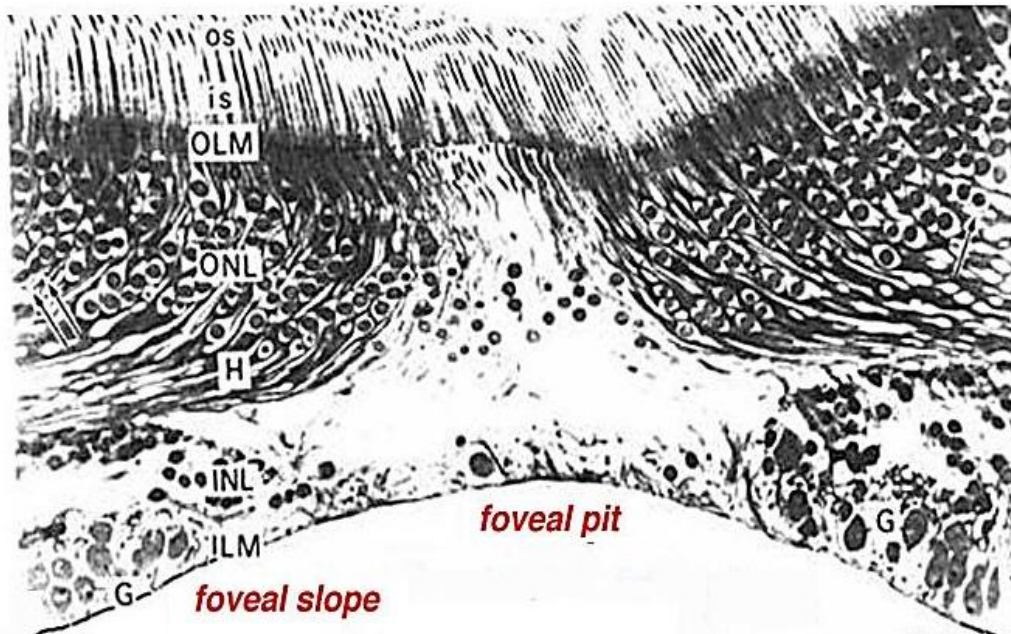


Figura 9.- Sección vertical de la fovea humana. (Tomada de Yamada 1969).³³

1.2.3.- Anatomía del Nervio Óptico

El nervio óptico (NO) es la estructura encargada de transmitir la información, obtenida y elaborada en las capas externas e internas de la retina, hacia el cerebro para su posterior procesamiento final. Más que un nervio, es un tracto mayor de la sustancia blanca del sistema nervioso central. Está rodeado por cubiertas meníngicas, contiene mielina de origen oligodendrocítico, al menos dos tipos de astrocitos, y sus axones son incapaces de regenerarse "in situ", características que son comunes a otras partes del sistema nervioso central (SNC), y que lo diferencian, por tanto, de los nervios periféricos.³⁴

El NO tiene su inicio en las células ganglionares de la retina, siendo el encargado de recoger los impulsos nerviosos generados en la retina y conducirlos hacia el cerebro. Todos los axones de las células ganglionares de la retina, denominados capa de fibras nerviosas de la retina, se reúnen para dejar el ojo formando la papila óptica, que representa un agujero de 1.50 x 2.00 mm en la

esclera, coroides, epitelio pigmentario de la retina y retina vecina.³⁵ El nervio óptico tiene una longitud entre 5.00-6.00 cm, con un diámetro que se incrementa desde 1.50 mm en la zona más próxima a la retina hasta 3.00-4.00 mm, una vez ha atravesado la lámina cribosa. Está formado por cuatro porciones (Figura 10): porción intraocular (disco, papila óptica), de alrededor de 1.00 mm de longitud; porción intraorbitaria de 25.00 a 35.00 mm: porción intracanalicular de 9.00 a 10.00 mm en el interior del canal óptico y una porción intracraneal que emerge en el quiasma y tracto ópticos de 16.00 mm.³⁶

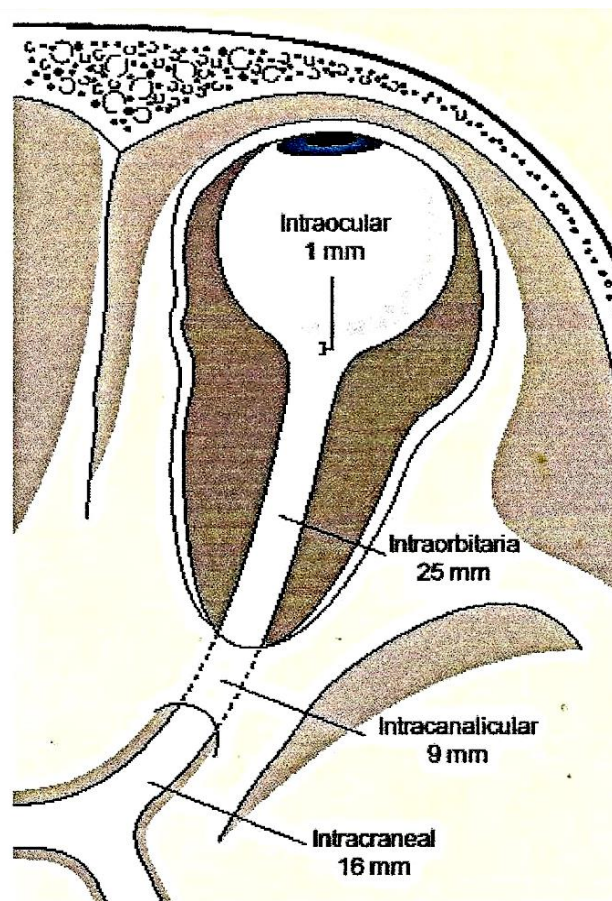


Figura 10.- Representación de las diferentes porciones del nervio óptico.³⁶

Los principales componentes del NO son:

- Fibras nerviosas: correspondientes a los axones de las células ganglionares retinianas.
- Células gliales: astrocitos, oligodendrocitos y microglía
- Vasos sanguíneos: derivados de la arteria central de la retina y del sistema ciliar.
- Tejido conectivo: constituye la lámina cribosa y los septos o tabiques que compartimentan el NO en fascículos.³⁴

1.2.3.1.- Papila Óptica

La papila óptica normalmente está constituida por aproximadamente 1.2 millones de fibras nerviosas, vasos sanguíneos y tejido conectivo. Las fibras nerviosas se originan en las distintas partes de la retina, se organizan en haces y salen del globo ocular atravesando la lámina cribosa escleral. Las fibras giran 90 grados para atravesar dicha lámina y formar el nervio óptico.³⁷ En general, la papila óptica tiene dos partes: el anillo neuro-retiniano, banda de color anaranjado que contiene las fibras, y un hueco central sin fibras y de tamaño variable denominado excavación (Figura 11). La mayoría de las papilas ópticas son ligeramente ovaladas y su diámetro mayor es el vertical. También hay papilas oblicuas o inclinadas que deben ser evaluadas con precaución ya que no conservan las proporciones habituales de la mayoría de las papilas. En cuanto al tamaño, existe una elevada variabilidad interindividual y está condicionado por la amplitud del canal escleral. No existe ninguna correlación entre el tamaño de la papila y la edad, sexo, ojo derecho o izquierdo. Sin embargo, las papilas suelen ser más grandes en ojos con errores refractivos superiores a -8.00 D y más pequeñas en ojos con errores refractivos superiores a +5.00 D.^{37,38}

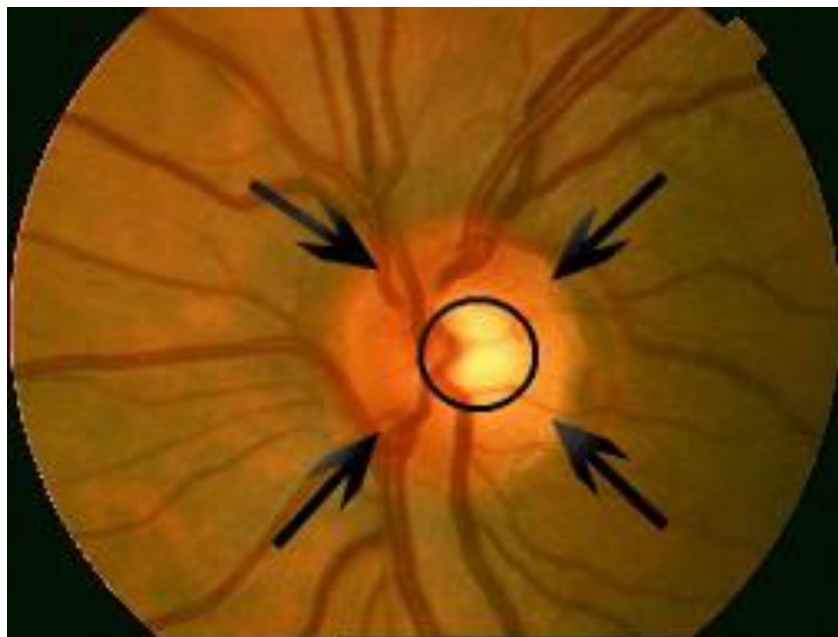


Figura 11.- Papila Óptica normal. Excavación vertical aproximadamente de 0.2/0.3 (círculo negro). Anillo neuro-retiniano (distancia entre flechas negras y círculo).³⁷

1.2.3.2.- Excavación Papilar

La excavación papilar se define como la depresión central de la papila por debajo del plano retiniano, delimitada por el contorno interno del anillo neuroretiniano. La excavación papilar fisiológica presenta una morfología discretamente oval en el eje horizontal, siendo su diámetro horizontal un 7% mayor que el vertical (entre 0-3 mm), ya que es en los polos superior e inferior de la papila por donde penetran un mayor número de fibras nerviosas (Figura 11). La mayoría de los ojos sanos tiene una relación excavación disco de 0.3 o menos, y sólo un 2% tienen una relación superior a 0.7 y aproximadamente un 95% presentan simetría entre la excavación de ambos ojos. Por lo tanto, una relación igual o superior a 0.7 o asimétrica, debería considerarse como sospechosa, aunque puede que no sea necesariamente patológica³⁸ (Figura 12).

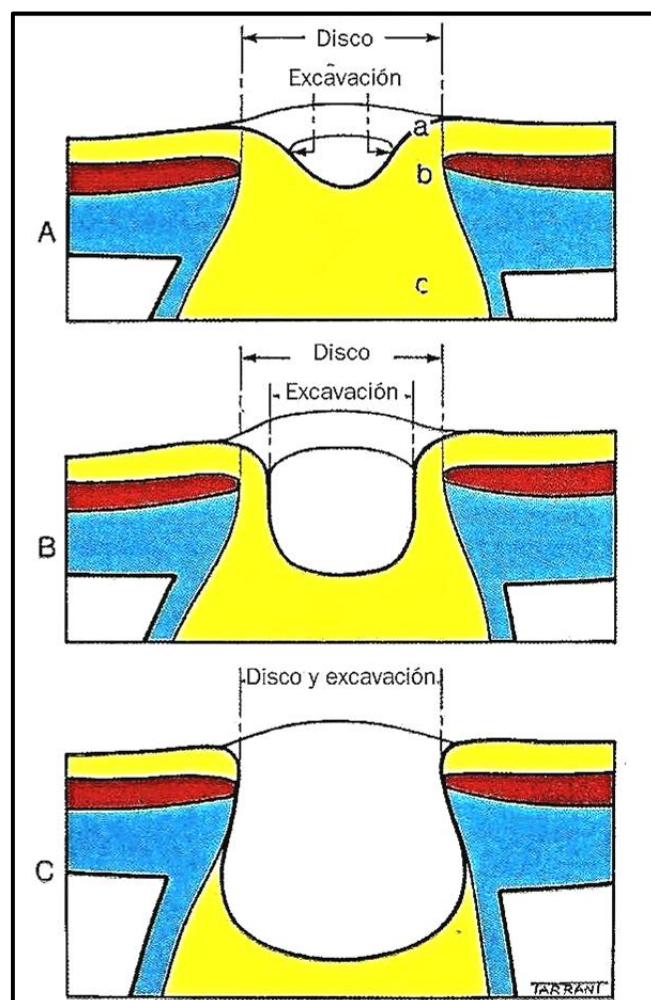


Figura 12.- Sección transversal del Nervio Óptico

- A. Excavación fisiológica normal
- B. Excavación fisiológica grande
- C. Excavación glaucomatosa

(Kanski JJ. 2002).³⁸

1.2.3.3.- Anillo neuroretiniano

El anillo neuroretiniano es el tejido neural papilar que se encuentra comprendido entre la excavación y el límite interno del anillo escleral de Elschnig. Presenta una coloración rosada y está discretamente elevado sobre la superficie retiniana. Es más ancho en los polos superior e inferior por donde penetran un mayor número de axones ganglionares. Su porción más delgada corresponde al sector temporal. Los rebordes del anillo neural discurren paralelamente, son uniformes y continuados sin escotaduras o cambios bruscos del radio de curvatura.³⁹ Así pues, la mayoría de papilas normales cumplen la regla ISNT, según la cual, el grosor del sector inferior es mayor que el sector superior, este a su vez es mayor que el sector nasal y este mayor que el temporal. (Figura 11).

1.3.- DESARROLLO DEL SISTEMA VISUAL CON LA EDAD

El sistema visual del niño recién nacido se encuentra inmaduro, tanto desde el punto de vista de sus estructuras (anatomía e histología), como de la capacidad y la calidad de su funcionamiento; los diferentes componentes del sistema visual irán completando su desarrollo durante el periodo comprendido entre el nacimiento y la adolescencia temprana.

La mayor parte del crecimiento del ojo tiene lugar en el primer año de vida y aumenta en un 25% hasta que el niño alcanza la adolescencia.^{1,28}

Desde el nacimiento hasta la adolescencia se producen cambios en los parámetros oculares y errores refractivos que vamos a dividir en tres periodos principalmente: desde el nacimiento hasta los cinco años, desde los 6 hasta los 10 años y pasados los 10 años hasta la adolescencia, considerando la etapa más importante la comprendida entre los 6 y 10 años, ya que según varios autores, es cuando se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular.^{6,7}

1.3.1.- Cambios del sistema visual desde el nacimiento hasta los 5 años.

El crecimiento del ojo durante la infancia es muy rápido, alcanzando las dimensiones del adulto hacia los tres años.²

En la Tabla 2, se muestra el valor medio de los principales parámetros oculares en distintas edades, según la cual, la longitud axial media en el recién nacido es de 17.00 mm⁴⁰ y aumenta aproximadamente en un 25 % cuando el niño alcanza la adolescencia, hasta alcanzar 23.80 mm en la edad adulta. Este incremento en el tamaño del globo ocular, va acompañado de cambios en el estado refractivo, en la acomodación y en la profundidad de foco.⁵

A medida que crece el ojo, la potencia óptica de sus elementos refringentes disminuye.³⁹ Así pues, la potencia de la córnea, que en el recién nacido es de 51.20 D, disminuye hasta alcanzar las 43.50 dioptrías del adulto, igualmente la potencia del cristalino que en el recién nacido es de 34.00 D se reduce hasta alcanzar 18.80 D.

Estos cambios son más marcados durante los seis primeros meses de vida, (etapa de máxima sensibilidad) y se reflejan en la variación que experimenta el valor del estado refractivo buscando alcanzar la emetropía.

En la Tabla 2 están representados los valores promedio de los principales elementos refractivos del ojo en función de la edad.

	R.N.	1 año	3 años	6 años	10 años	Adulto
Estado refractivo (D)	+2.20	+1.50	+1.30	+1.00	+0.50	+0.50
Longitud axial (mm)	17.00	19.10	21.40	22.10	23.40	23.80
Potencia corneal (D)	51.20	45.00	44.00	43.00	43.00	43.50
Radio corneal (mm)	2.80	6.00	6.50	7.25	7.25	7.80
Diámetro horizontal corneal (mm)	9.44	11.39	11.40	11.50	11.50	12.00
Potencia del cristalino (D)	34.00	27.00	24.00	19.50	19.00	18.80

R.N.: Recién nacido

Tabla 2.- Valor medio de los principales elementos refractivos del ojo dependiendo de la edad.^{5,28,40}

La mácula es inmadura en el momento del nacimiento y no adquiere la configuración adulta hasta los 4 meses de edad, o incluso más tarde, y el proceso de mielinización del sistema visual no está completo en el momento del nacimiento y continúa hasta los 2 años de edad. Así pues, al nacer la función visual no está limitada por la calidad óptica, sino por el proceso neural que evoluciona posteriormente.²⁸

Los niños sanos nacidos a término suelen ser hipermétropes, aunque no existe un acuerdo sobre la magnitud de esa hipermetropía, la mayoría de los autores aportan cifras en torno a las 2.00 D, con una desviación estándar cercana a las 2.75 D.⁵ Aunque existen pocos datos sobre la refracción en recién nacidos, en 1981, Mohindra y Held realizaron un examen de refracción ocular a 400 bebés nacidos a término, con edades comprendidas entre el nacimiento y los 5 años y

encontraron que, en el grupo de niños desde el nacimiento a las 4 semanas de vida, el rango de la refracción ocular iba de -14.00 hasta +12.00 D, siendo la media del error refractivo de -0.70 D, entre las 129 y 256 semanas de vida (aproximadamente entre los 2.5 y 5 años) el rango estaba entre -3.00 y +4.00 D, siendo la media de +0.59 D.⁴¹ La desviación estándar disminuyó, siendo de 3.20 D en el grupo de va desde el nacimiento a las 4 semanas, pasando a ser de 0.85 D en el grupo de 2.5 a 5 años. (Figura 13). Coincidiendo con estas afirmaciones dadas por Mohindra y Held, Gwaizda encontró que la desviación estándar del error refractivo disminuyó entre los 12-18 meses de vida, en un estudio realizado en 72 niños a intervalos regulares desde antes de los 6 meses a los 9-16 años.⁴² En función de los resultados obtenidos, reveló que 31 niños tenían refracciones negativas en los 6 primeros meses de vida, siendo emétopes al año y pasando a ser hipermétropes hacia los 2 años de edad y 20 de los niños examinados tenían errores refractivos de +0.50 D o más antes de los 6 meses, concluyendo en que el error refractivo disminuyó en +1.50 D antes del primer año de vida, siendo de +1.00 D hacia los 2 años y de +0.75 a +1.00 D pasados los 5 años, datos coincidentes con los aportados por otros autores según la Tabla 2.

Según estos resultados parece ser que el proceso de emetropización es evidente durante el primer año de vida.

La prevalencia del astigmatismo en este grupo de edad es más elevada que en niños más mayores y adultos, siendo en contra de la regla y disminuyendo entre los primeros meses de vida y el año de edad.⁴¹

Los niños prematuros, con bajo peso al nacer (menos de 1500 gr), suelen tener una miopía elevada que normalmente disminuye con la madurez del niño hacia los primeros meses de vida, incluso llegando a ser emétopes durante el primer año, si no tienen anomalías oculares asociadas, aunque la prevalencia de la miopía es mayor en estos niños que en los nacidos a término.

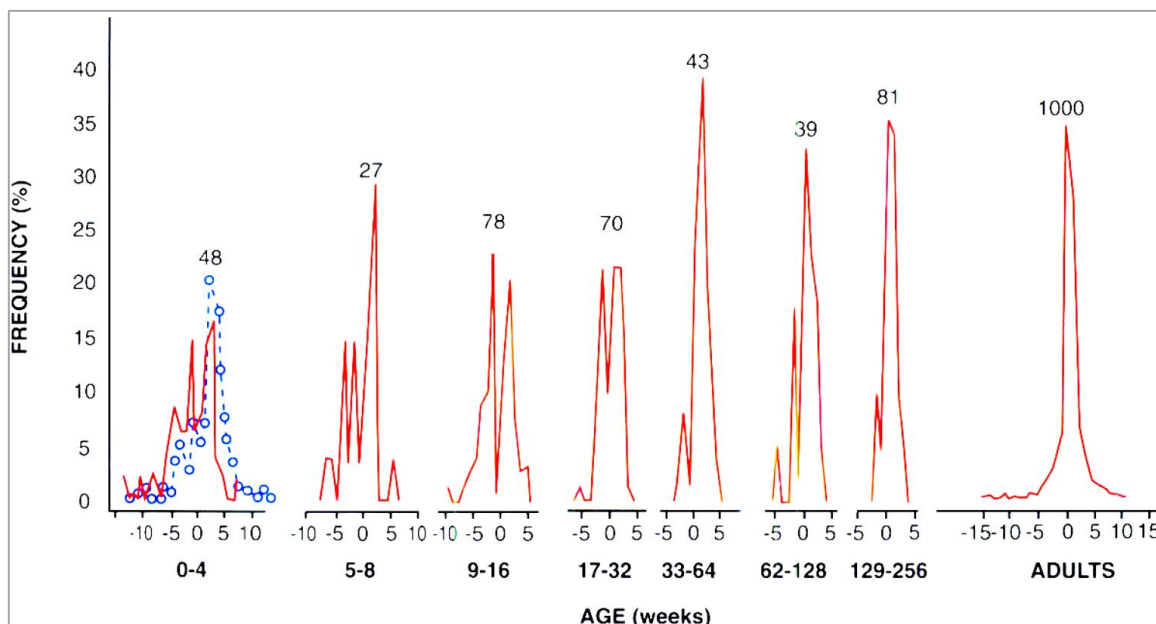


Figura 13.- Distribución de los errores refractivos durante los 5 primeros años de vida, divididos en siete grupos de edad. Datos de Mohindra I y Held R. 1981.⁴³ El grupo de 0-4 semanas, incluye los datos (líneas discontinuas) de Cook y Glasscock.⁴⁴ Los datos de los errores refractivos en adultos se han adaptado de Sorsby et al.⁴⁵

1.3.2.- Cambios refractivos desde los 6 hasta los 10 años.

De los seis a los diez años, la mayoría de los cambios refractivos que se producen son en forma lineal, tal como relató Hirsch (1961).^{2,41} En un examen realizado a 500 niños durante los ocho primeros años de escolarización, encontraron que entre el 85-90% de los niños, los cambios refractivos producidos durante los seis primeros años de escolarización fueron de forma lineal, disminuyendo a razón de -0.07 D por año, desde 1.00 D de hipermetropía a los 6 años, hasta 0.50 D de hipermetropía a los 12 años. Sin embargo entre el 10-15% de niños restante, la refracción cambió de forma curvilínea, observando que la miopía aumentó a razón de aproximadamente 0.50 D por año, durante los cinco años siguientes en niños que eran emétopes a los 6-7 años.

Estos datos coinciden con los de Kempf, Collins y Jarman, ya que en un grupo de 333 niños, con edades comprendidas entre 6 y 8 años, encontraron que la emetropización tuvo lugar en ese grupo de edad, ya que la mayor parte de los niños estaban en el grupo de los emétropes.⁶

Según estos resultados y los dados por otros autores,^{6,7} podemos observar que en esta etapa, la mayor parte de los niños alcanzan la emetropía, si bien muchos de ellos siguen una lenta y progresiva evolución hacia la miopía, llegando a alcanzar hasta incluso más de -4,00 D. Así pues, esta sería una etapa clave en el desarrollo del sistema visual.

1.3.3.- Emetropización

Duke-Elder,⁴⁶ define la emetropización como “el proceso regulador en el cual se busca reproducir un ojo teóricamente perfecto, donde un exceso de un componente es equilibrado mediante moderación de otro(s)”. También la podemos definir como la coordinación de la potencia de la córnea, el cristalino y la longitud axial para procesar una imagen retiniana bien definida de un objeto alejado.²⁸ Un mecanismo que podría explicar este proceso sería que, paralelamente al incremento de la longitud axial, el cristalino se aplana (más la cara anterior), disminuyendo su potencia, de forma asociada, también puede disminuir el índice de refracción del cristalino, lo que contribuye a la reducción de su potencia. Si se produce descoordinación entre la disminución de la potencia del cristalino y el aumento de la longitud axial, es muy probable que se acelere el desarrollo de la miopía.^{45,46}

1.3.4- Cambios refractivos en la adolescencia

En la adolescencia y coincidiendo con la pubertad hay un ligero aumento de la prevalencia de la miopía, aunque la que aparece en esta etapa no suele superar las -2.00 D. La relación entre el incremento de miopes y la pubertad no es coincidencia, ya que al igual que la pubertad, la miopía es más precoz en niñas.⁴⁷

De todos los estudios realizados en este aspecto, uno de los más importantes, puede que sea el de Hirsch (1964),⁴⁸ que examinó a un grupo de 200 niños, desde la infancia hasta la adolescencia, llegando a las siguientes conclusiones:

- Hipermétropes de más de + 1.50 D entre los 5 y 6 años tienden a mantener o aumentar la hipermetropía.
- Hipermétropes entre + 0.50 D y + 1.50 D a los 5 o 6 años tienden a ser emétropes hacia los 13-14 años.
- Hipermétropes comprendidos entre +0.00 D y + 0.50 D entre los 5-6 años tienden a ser miopes a los 13-14 años. La probabilidad aumenta si se asocia un astigmatismo contra la regla.
- Miopes de cualquier valor a los 5-6 años tienden a ser igual o aumentar la miopía durante la escolarización.

No todos los autores están de acuerdo con estas conclusiones ya que según Castiella,⁵ tras evaluar el estado refractivo en un grupo elevado de niños de estas edades, concluye que un niño con hipermetropía ligeramente mayor de +1.50 D a los 5-6 años, es muy probable que a los 13-14 años sea emétrope o miope, y si a esa edad la hipermetropía está entre +0.50 y +1.25 D, es casi seguro que a los 13-14 años sea miope.

Para Gwiazda et al⁴⁹ un 43% de los niños que nacieron miopes, siguieron siéndolo a los 13 años, mientras que los niños que habían nacido hipermétropes, sólo un 10% se habían vuelto miopes a los 13 años. Lo cual implica que el niño miope de nacimiento tiene mayor predisposición a serlo toda la vida y además, que su miopía aumente con la edad.

Sin embargo, parece que hay pocos estudios de refracción realizados durante los últimos años de la adolescencia,² aunque parece probable que las tendencias que aparecen en la niñez, continúan en los últimos años de la adolescencia y se estabilizan hacia los 20-21 años. Los hipermétropes suelen cambiar muy poco durante este periodo, parece ser que pocos emétropes se convierten en miopes y los que ya eran miopes normalmente tienden a estabilizar su miopía. El cambio que se produce en cuanto al astigmatismo es muy pequeño.

1.4.- PARÁMETROS OCULARES Y DEFECTO REFRACTIVO

La medida de los parámetros oculares ha sido posible gracias a los avances tecnológicos, primero fue posible medir 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 las técnicas basadas en ultrasonidos, ha sido posible medir con mayor exactitud los componentes oculares, tales como la longitud axial, profundidad de cámara anterior, espesor del cristalino y longitud de la cámara vítrea.^{2,50}

La técnica utilizada para la determinación de la longitud axial se le ha denominado biometría, existiendo en la actualidad dos formas de calcularla, una acústica, mediante ultrasonidos, y otra óptica, basada en métodos de interferometría óptica.

Los ultrasonidos (US)⁵⁰ son ondas acústicas que tienen una frecuencia superior a los 20 KHz, por tanto, no son perceptibles por el oído humano. Los que se usan en oftalmología están entre los 8 y 10 Mhz. Son producidos por un transductor de cuarzo, que transforma energía eléctrica en ondas ultrasónicas (efecto piezoeléctrico). Éstas, al atravesar un medio, sufren procesos de reflexión, absorción y refracción al igual que lo sufren las ondas luminosas. Un ultrasonido, al atravesar un tejido, en parte se refleja y en parte se refracta. La parte reflejada volverá al transductor y será recogida por un receptor que transformará esa energía sonora en energía eléctrica, y quedará registrada como tal en el ecograma. La parte refractada continuará su camino y conforme atravesase el tejido irá progresivamente sufriendo reflexiones que serán recogidas por el transductor con un desfase determinado respecto a la reflexión anterior. Las velocidades de transmisión de los ultrasonidos por los diferentes medios variarán según las características de éstos, siendo mayor cuando el tejido es más denso. El método de ultrasonidos más usado es la Ecografía unidimensional o en modo A, cuyo resultado se representa en una pantalla en forma de picos verticales que corresponden a córnea posterior, cápsula anterior del cristalino, cápsula posterior del cristalino y retina. (Figura 14) La altura del pico es mayor, cuanto mayor sea la densidad del medio que atraviesa y el tiempo que transcurre

entre un pico y otro se transforma en distancia, ya que conocemos la velocidad de propagación del ultrasonido en los diferentes medios.

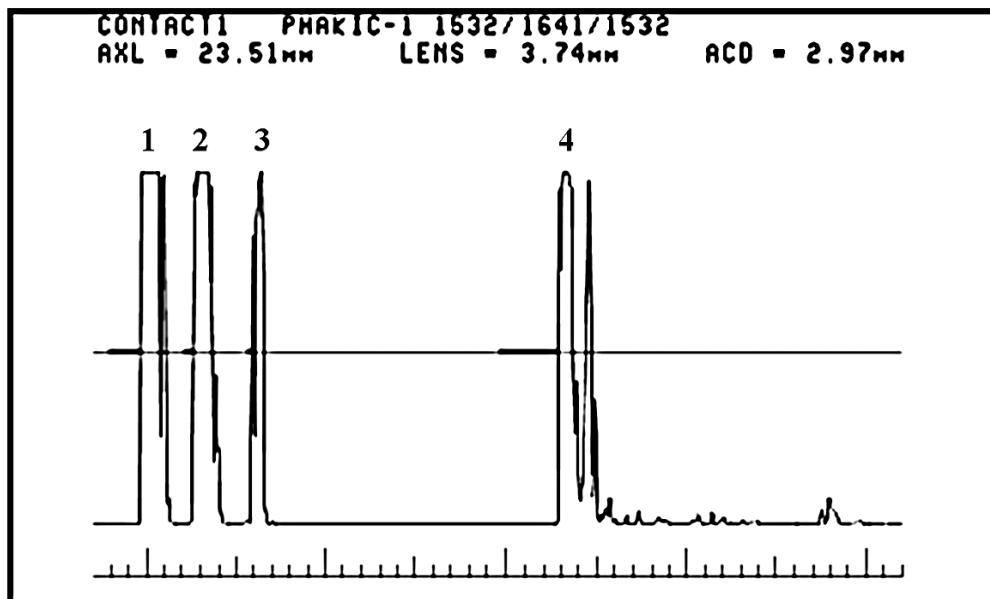


Figura 14.- Biometría de contacto en modo A. Pico corneal (1), picos de las superficies anterior (2) y posterior (3) del cristalino, pico retiniano (4).⁵⁰

La ecografía en modo B⁵⁰ permite una mejor visualización de estructuras intraoculares. Dentro de sus aplicaciones clínicas se encuentra la localización de tumores intraoculares y cuerpos extraños, así como la determinación de sus medidas, la diferenciación de desprendimientos coroideos serosos frente a los hemorrágicos, drusas papilares frente a papiledema, etc. Es particularmente útil cuando la falta de transparencia de los medios intraoculares no permite distinguir con claridad la patología: leucomas corneales, membranas iridianas, hipopion, cataratas densas, miosis, etc. En la ecografía en modo B, el eco se representa en

forma de punto brillante, cuya luminiscencia es proporcional a la intensidad del eco. La unión de los diferentes ecos dará lugar a la representación bidimensional del ecograma, que es igual a ver en tiempo real un corte transversal, longitudinal o axial del ojo que estamos explorando.

Ambas técnicas requieren contacto con el ojo, por lo que es necesaria la instilación de un anestésico tópico para su realización.

Así pues, mediante biometría ultrasónica,⁵⁰ podemos medir la longitud axial, profundidad de la cámara anterior, espesor del cristalino y longitud de la cámara vítrea, obtener los valores promedio y las desviaciones estándar de cada uno de estos parámetros oculares y de esta forma poderlos correlacionar con los errores refractivos.

1.4.1.- Longitud axial y radio de curvatura corneal

La longitud axial y el radio de curvatura corneal son parámetros oculares básicos para la valoración y correlación de los defectos refractivos. A medida que el ojo crece, la longitud axial aumenta y la potencia corneal disminuye, hasta alcanzar un valor medio de 43.00 D, es decir, las dos terceras partes de la potencia total del ojo.⁵¹

Así pues, en función de la relación Longitud Axial/Radio de Curvatura Corneal (LA/RC), en 1988, Grosvenor⁵² relató que es posible predecir si el niño puede llegar a ser miope durante la etapa escolar, ya que según los resultados obtenidos de las medidas de los componentes refractivos en niños melanesios, con edades comprendidas entre 6-19 años y en los que la frecuencia de la miopía era baja, éste observó que los niños melanesios tenían córneas más planas y longitudes axiales más cortas en comparación con niños emétopes ingleses. Comparando la relación LA/RC de estos niños, con niños ingleses de la misma edad,² también observó que el valor medio de la relación LA/RC era bastante mayor en los niños ingleses que en los melanesios, con lo que concluyó en que una elevada relación LA/RC debe considerarse como factor de riesgo para el desarrollo de la miopía. Corroborando las afirmaciones anteriores, Goss et al,⁵³ verificaron que la relación LA/RC elevada es un factor de riesgo para el desarrollo

de la miopía, ya que al evaluar a niños con edades comprendidas entre 8 y 12 años, todos ellos emétopes, describieron que, después de tres años, los que previamente mostraban una relación LA/RC de 3 ó mayor, se habían vuelto miopes, mientras muy pocos de los que los que tenían una relación LA/RC previa menor de 3 llegaron a ser miopes.

Posteriormente, Yebra-Pimentel et al⁵⁴ llegaron a conclusiones similares, pero en un grupo de adultos. Evaluaron a 193 estudiantes universitarios con distintos errores refractivos (rango equivalente esférico: +3.00 a -11.00 D), y los dividieron en emétopes, hipermétropes y miopes (bajos, moderados y altos). Los parámetros oculares (profundidad de la cámara anterior, espesor del cristalino, profundidad de la cámara vítrea y longitud axial se midieron mediante ultrasonografía (biómetro Ophthasonic[®] A-ScanIII/pachometer, Teknar Inc., St. Louis, USA) y el radio de curvatura corneal anterior, con videoqueratoscopía (EyeSys[®], v. 2000 Corneal Analysis System, EyeSys Laboratories, Houston, Texas, USA). Pretendían determinar el papel de la ratio longitud axial/radio corneal (LA/RC) en el estado refractivo e investigar su relación con los componentes ópticos oculares y encontraron que la razón LA/RC es el parámetro más determinante y el mejor predictor del estado refractivo del ojo humano. Proporciona información importante para determinar el grado de emetropización que aporta el cristalino, reduciendo su potencia y, la PCA en concordancia con la LA. Según los autores, 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.

1.4.2.- Profundidad de cámara anterior, espesor del cristalino y profundidad de cámara vítrea

Posteriormente, se trataron de ampliar los conocimientos en cuanto al desarrollo y progresión de los errores refractivos, basándose en la relación entre los parámetros oculares, la topografía corneal y el papel que desempeñan dichos parámetros en el desarrollo de la ametropía.⁵⁵⁻⁵⁸ Además del radio de curvatura corneal anterior (RC) y la longitud axial, 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).⁵⁹

La cámara anterior es el espacio que existe entre la cara posterior de la córnea y la parte más convexa de la cara anterior del cristalino, su profundidad es de 3.00-4.00 mm y tiene gran importancia en la potencia total del ojo, ya que una reducción de tan solo un milímetro, originaría una pérdida de potencia de 1.40 D.⁵¹ Otro parámetro importante en la determinación del error refractivo, es el cristalino, situado detrás del iris, con un diámetro de 9.00-10.00 mm y una potencia total de 20.00 D, en estado relajado. A continuación se encuentra el cuerpo vítreo, situado entre la cara posterior del cristalino y la retina y debido a su transparencia, tiene la función principal de transmitir la luz, colaborando en la función óptico-refractiva del ojo.

A pesar de la gran cantidad de datos que existen de 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 los mismos, Mutti et al,⁶⁰ en 1988 evaluaron el desarrollo del cristalino en niños entre 6 y 14 años, tanto hipermétropes, miopes como emétropes y más tarde, estos mismos autores⁷ valoraron el desarrollo de los componentes oculares específicamente en niños emétropes. La medida de la curvatura corneal fue hecha mediante videoqueratoscopia y mediante biometría ultrasónica midieron el resto de los parámetros. En sus conclusiones describen un patrón normal de crecimiento del ojo en emétropes, ya que encontraron que el ojo se alarga y el cristalino se aplana, adelgaza y pierde poder óptico. Referente a la potencia de la córnea, apreciaron pocos cambios y también en el error refractivo en niños que se quedaron emétropes entre los 6 y 14 años.

En 2006, Garner LF et al,⁶¹ calcularon las diferencias biométricas para predecir los errores refractivos en niños tibetanos, con edades comprendidas entre 6 y 18 años. Evaluaron un total de 897 niños desde 1992 a 2000, con visitas regulares cada 2 años. Comparando los miopes con los no miopes, observaron que los niños que se habían convertido en miopes, inicialmente, tenían un cristalino más grueso y una cámara anterior más corta. Con la edad, en

los niños miopes, se produjo un adelgazamiento mayor del cristalino, un aplanamiento mayor del radio de la cara anterior del cristalino y una cámara vítrea más profunda que en los no miopes.

Los parámetros oculares también se valoran en adultos, en este sentido, Yebra-Pimentel et al⁵⁹ pretendían determinar la relación entre los diferentes componentes ópticos oculares y la emetropización en función de la longitud axial, en grupos de sujetos con edades comprendidas entre 15 y 35 años. Concluyen que los parámetros ópticos del ojo humano se relacionan de distinta forma según el tamaño del ojo, en ojos con LA < 24.00 mm existía una correlación entre la PCV y RC, así como entre LA con PCA y EC, mientras que ojos con LA ≥ 24.00 mm, ojos mas miopes, hubo ausencia de coordinación entre los componentes ópticos oculares, que según los resultados de este estudio, es a partir de -2.00 D.

Hosny et al⁶² encontraron una correlación entre la PCA y la LA en humanos, así como entre la PCA y el grado de miopía, observándose también un aumento de la PCA con la miopía. Sin embargo, con la edad se observó una correlación inversa. También vieron que la PCA parece que aumente con la LA hasta un cierto grado, a partir del cual un incremento en la dirección posterior no implicaría necesariamente un aumento de la PCA, es decir, en la dirección ecuatorial. Concluyeron que, para una población con una LA entre 19.00 y 33.00 mm, la correlación entre PCA y LA que existía en ojos más pequeños, se perdía cuando la LA era mayor o igual que 26.00 mm.

En la bibliografía hay gran cantidad de datos referentes al desarrollo de los parámetros oculares y su contribución a la emetropización, y a los cambios de dichos parámetros durante el inicio y la progresión de la miopía en adolescentes. Sin embargo, parece ser que hay limitación en cuanto a resultados de estos datos en ojos ambliopes. La ambliopía⁶³ se entiende como la disminución de AV, uni o bilateral, no justificable por enfermedad orgánica aparente. Generalmente la afectación es unilateral y se produce como consecuencia de falta de estimulación visual adecuada durante el período crítico de desarrollo visual, lo que afecta a los mecanismos neuronales encargados de la visión. Está presente aproximadamente en un 4% de la población. Cass et al⁶³ analizaron las diferencias entre ambos ojos, el ojo ambliope y el no ambliope, respecto a

parámetros oculares (AV, Error Refractivo, Curvatura Corneal, PCA) y su contribución en relación a la Longitud Axial, en una población de niños ambliopes. Compararon niños normales, con niños con ambliopía estrábica y con ambliopía anisométrica, todos ellos en edad preescolar. Concluyeron que, a diferencia de los parámetros oculares de los grupos control y los parámetros de ojos con ambliopía anisométrica, el ojo estrábico es físicamente, aunque no proporcionalmente, reducido en tamaño.

1.4.3.- Espesor Corneal Central

El Espesor Corneal Central (ECC) es indicativo de la composición estructural, hidratación y estado metabólico de la córnea y afecta a las medidas de la PIO. En córneas gruesas se sobreestima la medida de la PIO y en córneas delgadas se infravalora,^{50,64} por lo que hay una correlación significativa entre el ECC y los niveles de PIO.^{64,65} La medida del espesor corneal normal varía entre 470 y 570 μm en el centro, aumentando de forma irregular hacia la periferia, hasta alcanzar entre 660 y 670 μm .⁵⁰ Parece ser independiente de la edad, del sexo y de las dimensiones biométricas del globo ocular, pero existen diferencias interraciales. Los afroamericanos son los que tienen córneas más delgadas.⁶⁶

Sin embargo, no hay un consenso general con respecto a cómo varía el ECC con el error refractivo, la curvatura corneal, la profundidad de la cámara anterior y la longitud axial, así pues, Chen et al,⁶⁷ evaluaron la relación entre el espesor corneal central (ECC), error refractivo, curvatura corneal, profundidad de la cámara anterior y longitud axial en una muestra de quinientos adultos normales de Taiwán en China, con edades comprendidas entre 40 y 80 años y concluyen que el espesor corneal central es un factor independiente, no relacionado con otros parámetros oculares debido a que ECC no se asoció con el error refractivo, curvatura corneal, profundidad de cámara anterior y longitud axial. Sin embargo, la relación entre el ECC y el error refractivo es objeto de controversia, pues para poblaciones miopes, Chang et al encontraron que las córneas fueron más delgadas en ojos más miopes en 216 adultos jóvenes con un promedio de error refractivo de -4.17 dioptrías,⁶⁸ mientras que Fam et al⁶⁹ revelaron 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 ± 2.74 D. En adultos normales, se demostró una correlación significativa entre ECC y refracción, en 3021 Japoneses,⁷⁰ al contrario, Zhang et al,⁷¹ Cho et al,⁷² y Tong et al⁸ no lograron demostrar una correlación significativa entre el ECC y la refracción en 4.439 chinos, 151 chinos de Hong Kong y 652 escolares de Singapur respectivamente, con edades comprendidas entre 9-11 años.

1.5.- NUEVOS INSTRUMENTOS EN LA VALORACIÓN ANATÓMICA Y BIOMECÁNICA

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

1.5.1.- Interferometría de Coherencia Parcial. Biometría Óptica

Gracias a los avances en la tecnología láser, se ha desarrollado instrumentación que utiliza la interferometría para medir la longitud axial.^{9,10,73} Una de estas técnicas, es la interferometría coherente parcial o Interferometría Óptica, que tiene un mayor nivel de precisión que el ultrasonido.⁷³ 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 ± 0.02 mm o mejor. Esta tecnología ha sido incorporada en un instrumento para la medida no invasiva de la longitud axial y los componentes oculares, comercialmente llamado IOLMaster y fabricado por Zeiss (Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, California).⁷⁴ Este instrumento biométrico 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), que se corresponde con la que tiene el ojo desde el limbo corneal temporal al limbo nasal. Las mediciones se efectúan sin contacto con el ojo, lo que es sumamente confortable para el paciente y aún cobra más importancia si se trata de pacientes en edad pediátrica.⁷⁵

El sistema emplea una fuente de luz con coherencia parcial y funciona como un interferómetro modificado de Michelson, el cual emite dos haces de luz infrarroja coaxiales de 780nm, utiliza dos haces láser con un determinado desfase que se reflejan en la córnea y retina, produciendo una interferencia que

es captada por un fotodetector y, tras ser procesado por el interferómetro, el diferencial nos determina la longitud axial. El aparato, por lo tanto, varía el desfase entre las señales láser hasta que registra un patrón interferométrico determinado, momento en que nos da el valor de la longitud axial⁷⁶ (Figura 15).

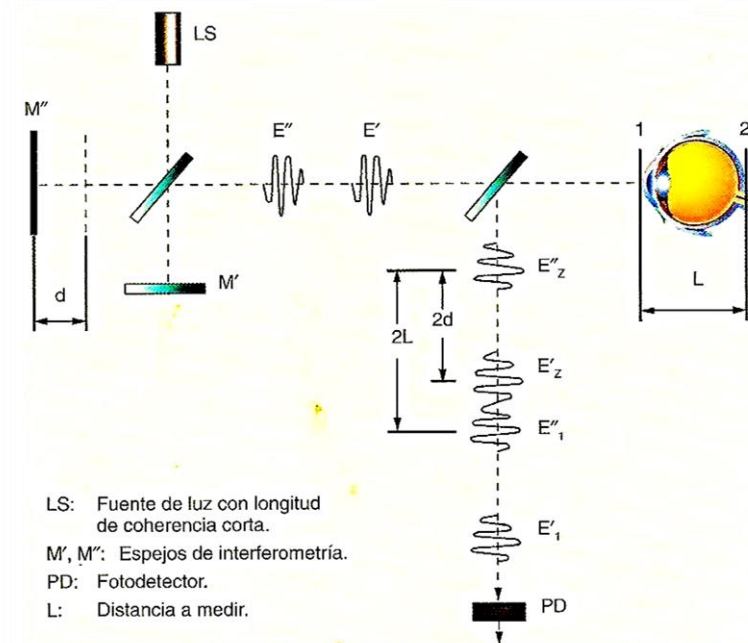


Figura 15.- Esquema del sistema óptico del biómetro óptico. Una luz láser es dividida en dos haces en un interferómetro de Michelson, iluminando el ojo y reflejándose desde la córnea y retina. Las luces reflejadas interfieren entre sí, y a partir de ahí se produce la lectura de separación entre ambas, determinando la Longitud axial.⁷⁶

En cuanto a las ventajas respecto a la biometría ultrasónica cabe destacar que no hay contacto, con lo que hay menos intimidación al paciente. No precisa anestesia, y no hay efectos secundarios al contacto de la sonda con la córnea (erosiones epiteliales, úlceras, etc). No existe riesgo de infección y presenta una mayor rapidez, ya que un estudio biométrico de los dos ojos con interferometría

óptica puede requerir 2 ó 3 minutos. En cuanto a las desventajas tendremos dificultad de medición en ojos con dificultades de fijación (hemorragia vítrea, maculopatías, DR, tumores, insuficiencia respiratoria, baja cooperación), cataratas muy densas y deformidades corneales, no permite la medida del espesor del cristalino y se requiere una AV mínima para hacer la medida (aproximadamente 20/60).

Investigaciones recientes han demostrado que las medidas de la longitud axial mediante interferometría de coherencia parcial hechas con instrumentos basados en el laboratorio se pueden repetir en niños.^{14,75} Tanto la Interferometría de Coherencia Parcial (IOLMaster) como la biometría por ultrasonido fueron diseñados para dar información sobre el cálculo de la potencia de la LIO después de la cirugía de catarata, y 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 IOLMaster en este grupo de sujetos. Carkeet et al⁷⁵ evaluaron la repetibilidad de las medidas axiales con IOLMaster en 179 niños chinos (edad media, 10.60±0.80 años) y compararon estas medidas con las hechas con biometría convencional por ultrasonido, concluyendo que el IOL Master dio mejor repetibilidad que la biometría por ultrasonido 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 como la usada por IOL Master, debe ser considerada como la técnica estándar para la medida de los parámetros oculares en niños porque es no invasiva, de alta precisión y fácil de usar.

Sheng et al,⁷⁴ también valoraron la repetibilidad del IOLMaster, pero en adultos jóvenes, con edades comprendidas entre 21.00 y 44.00 años (media de 26.70±6.00), encontrando una repetibilidad superior en el IOL Master, comparado con el biómetro por ultrasonidos, por lo que sugieren que, ésta debería ser la técnica de elección para la medida de la longitud axial. Estas afirmaciones cobran aún mayor interés en estudios sobre la progresión de la miopía en niños, evitando de esta forma el uso de anestésicos tópicos y el contacto de la sonda con el ojo.

1.5.2.- Analizador de Respuesta Ocular

Debido al avance de las nuevas tecnologías, ha sido posible evaluar las propiedades biomecánicas de la córnea, pues anteriormente sólo era posible mediante modelos teóricos y de laboratorio, y poder correlacionar dichas propiedades, mediante algunos estudios, con errores refractivos y longitud axial.^{15,16}

Con la reciente introducción del Analizador de Respuesta Ocular (ORA; Reichert Instrumentos Oftálmicos, Depew, Nueva York), se ha hecho posible la evaluación clínica de las propiedades biomecánicas de la córnea. Dichas propiedades⁷⁷ influyen en los resultados de las medidas oculares, y pueden ayudar al diagnóstico y manejo de enfermedades oculares. Hasta ahora no ha sido posible determinar las propiedades biomecánicas del tejido corneal, limitando a los investigadores a las mediciones exclusivamente geométricas de la córnea, como son el espesor y la topografía.

El Analizador de Respuesta Ocular (ORA),⁷⁸ es un neumotonómetro, similar al tonómetro de aire estándar, de no contacto, que utiliza un impulso rápido de aire y con un avanzado sistema electro-óptico registra dos mediciones de presión por aplanación.

Cuando se aplica el pulso de aire, la respuesta de la córnea se divide en varias fases que son controladas por un sistema electro óptico detector (Figura 16). Al principio la córnea pasa de su forma convexa a plana (primera aplanación), desde donde continúa el impulso de aire hasta adoptar una forma ligeramente cóncava. Tras esta primera aplanación, la bomba que genera el pulso de aire se cierra y la presión ejercida sobre el ojo disminuye linealmente con el tiempo y en la misma proporción que se incrementó. A medida que la presión se reduce, el ojo pasa por un segundo punto de aplanación, antes de que la córnea vuelva a su forma convexa.⁷⁸ El tiempo transcurrido es de 200 milisegundos. En la primera aplanación, el sistema registra un valor de PIO que es equivalente al que se obtendría mediante cualquier otro tipo de tonómetro de aire. Si la córnea fuese un cuerpo puramente elástico y su deformación y re-conformación por medio de la presión neumática dependiese solamente de la

PIO del ojo, el segundo punto de aplanamiento se obtendría exactamente con el mismo valor de presión que el primero. Sin embargo, tras la deformación, la córnea sufre un retraso en su capacidad para recuperar su forma original e incluso tras alcanzar la presión del punto de primera aplanación la córnea continúa siendo ligeramente cóncava. A este retraso se le denomina histéresis corneal, y representa la diferencia absoluta entre las dos presiones de aplanación P_1 y P_2 . Estas dos medidas se dan con dos valores diferentes de presión debido a las propiedades biomecánicas de la córnea.¹⁷

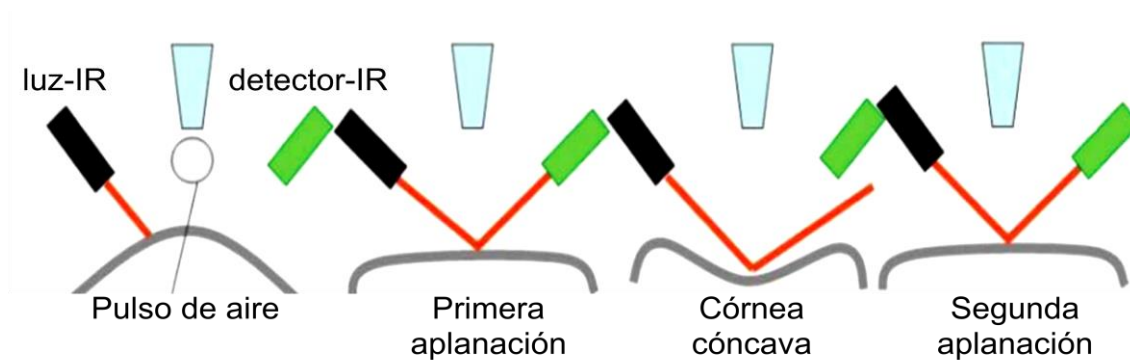


Figura 16.- Esquema de las distintas fases que atraviesa la córnea cuando se le aplica el pulso de aire y los cambios en la intensidad de la luz detectados por el ORA. (Adaptado de Spoerl et al, 2011).⁷⁹

El sistema óptico detecta el aumento de la reflectancia de la luz en cada punto de aplanación y los muestra mediante un gráfico con dos picos bien definidos (Figura 17). El gráfico nos proporciona la señal de medida que consiste en una curva verde simétrica que corresponde al pulso de aire que se aplica y una curva roja asimétrica que corresponde a la respuesta (aplanación) de la córnea a través de la señal producida por el detector de IR (infrarrojo). La curva roja tiene dos picos principales, que corresponden a los puntos P_1 y P_2 de la curva verde.^{17,80}

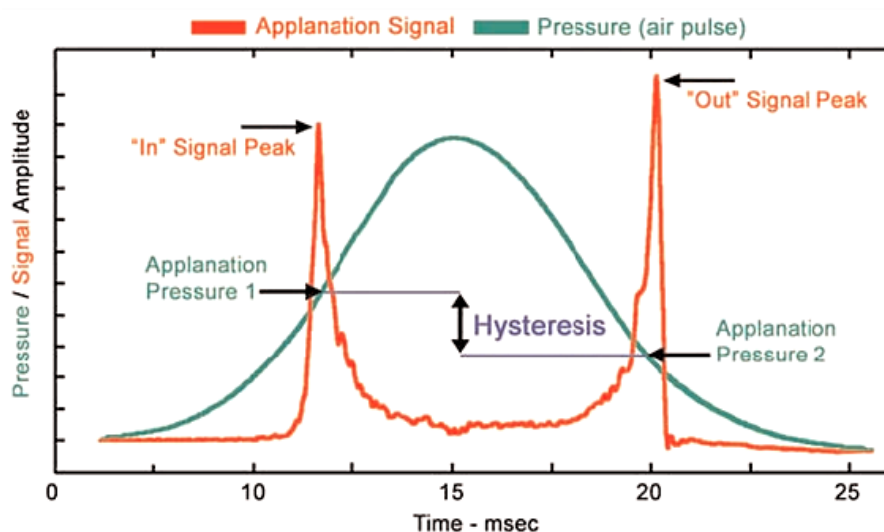


Figura 17.- Histéresis corneal. Gráfico y morfología normal de la señal de medida del ORA (Adaptado de Luce. 2005).⁷⁸

La histéresis^{17,80,81} es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado. Existen distintos tipos de histéresis, como por ejemplo, la histéresis magnética, eléctrica, de transición de fase (como los geles de ágar, que la temperatura que necesitan para cambiar de estado gel al estado líquido, es distinta a la temperatura a la que vuelven de estado líquido al estado gel), de ángulo de contacto, de adsorción. El tipo de histéresis que nos interesa es la histéresis elástica. Fue una de las primeras en estudiarse y describirse. El ejemplo clásico consiste en una goma elástica colgada de un extremo, al que en el otro extremo se le añaden sucesivamente pesos. El estiramiento obtenido al colocar un peso es menor que el que se invierte al quitarlo. Esto indica que se necesita una mayor energía para estirar la goma que para contraerla. Esta energía al final del proceso se pierde en forma de calor, y se conoce como histéresis.

La histéresis lo que representaría en la medida de la PIO es que la fuerza ejercida al aplanar la cornea es distinta de la necesaria para que vuelva a su estado normal de reposo.^{17,80,81}

La histéresis corneal^{80,81} 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. Es una característica biológica que permanece constante en los ojos de un mismo paciente, pero difiere significativamente de una a otra persona. Está relacionada con el estado de las fibras de colágeno corneales e indirectamente con el espesor corneal central (ECC) ya que puede llegar a influir en la medición de la PIO con un factor de ± 2.30 mmHg.

Otro parámetro relacionado con las propiedades corneales es el factor de resistencia corneal (CRF)^{78,82} es la medida de la rigidez total de la córnea y significa que la córnea está tardando más de lo esperado en recuperar su forma original que si fuese perfectamente elástica. Este retraso se asocia a las propiedades corneales que rigen su capacidad de deformación y recuperación y se considera que son representativas de las propiedades biomecánicas de la córnea. El CRF se calcula mediante la fórmula:

$$\text{CRF} = (P1 - (0.7 \times P2))$$

P1 y P2 corresponden a las dos medidas de presión proporcionadas por el ORA, donde P1 es la medida de la PIO en la fase de aumento de la fuerza y P2 es la medida de la PIO durante la fase de disminución de la fuerza (Figura 17).

La fórmula anterior se basa en datos empíricos previos y de un algoritmo patentado por Reichert Inc.^{82,83} Se ha postulado que la CH puede reflejar principalmente la viscosidad de la córnea, mientras que el CRF (función lineal de P1 y P2) puede indicar sus características elásticas.⁸⁴

El ORA también proporciona dos medidas de Presión intraocular (PIOg y PIOcc). La PIOg se corresponde con la presión de Goldmann, que es una media de las dos medidas de presión, P1 y P2. La PIOcc (PIO corneo compensada) está menos afectada por las propiedades de la córnea como el ECC y la histéresis corneal. El valor de la PIOcc nos proporciona un valor más exacto de la PIO verdadera que la PIOg.⁸²

La PIOcc se calcula como:

$$\text{PIOcc} = P1 - kP2$$

Siendo k un valor constante de 0.43 calculado empíricamente por Reichert Inc en un estudio experimental donde evaluó la PIO antes y después de cirugía LASIK.⁸⁵ P1 y P2 son las presiones de aplanación anteriormente descritas.

En 2009 Reichert lanzó una nueva versión del software de ORA (versión 2.04),^{77,86} que calcula 37 parámetros adicionales, basándose en la forma de la señal del ORA. El primer conjunto de estos parámetros adicionales ($n = 23$) analiza el área comprendida entre la parte más alta del pico en la curva de respuesta y el 25% de la altura del pico, o sea, analiza el 75% del área debajo del pico (Figura 18 a). El segundo conjunto de parámetros ($n=14$) tiene la misma descripción que el primero, pero considera sólo el 50% desde la parte más alta del pico (p1area1, p2area1, aspect11, aspect21, uslope11, uslope21, dslope11, dslope21, w11, w21, h11, h21, path11 y path21) (Figura 18 b).

Los fabricantes consideran que este análisis adicional permitirá nuevas investigaciones en numerosos aspectos de la respuesta de la córnea a la deformación en condiciones oculares diversas, tales como, queratocono, distrofia de Fuchs y complicaciones post cirugía refractiva.

Spoerl et al,⁷⁹ evaluaron los cambios biomecánicos después de cross-linking (CXL) en pacientes con queratocono, usando la versión 2.04 del ORA y encontraron que el parámetro P2area (área debajo de la curva del pico 2) es más sensible que CH y CRF para detectar cambios después del CXL.

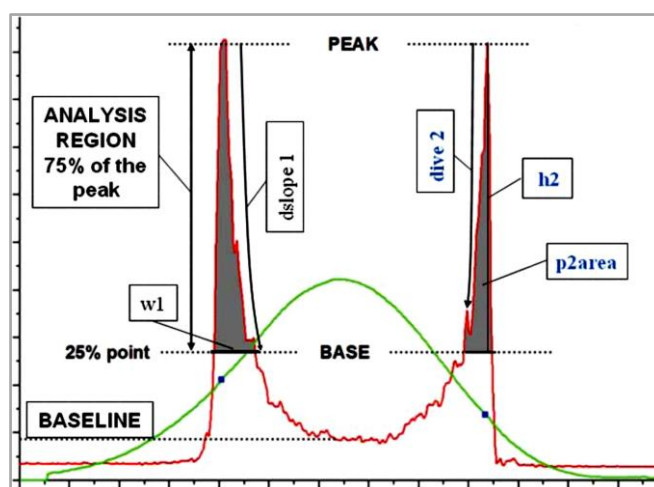


Figura 18 a.- Parámetros 1 - 23

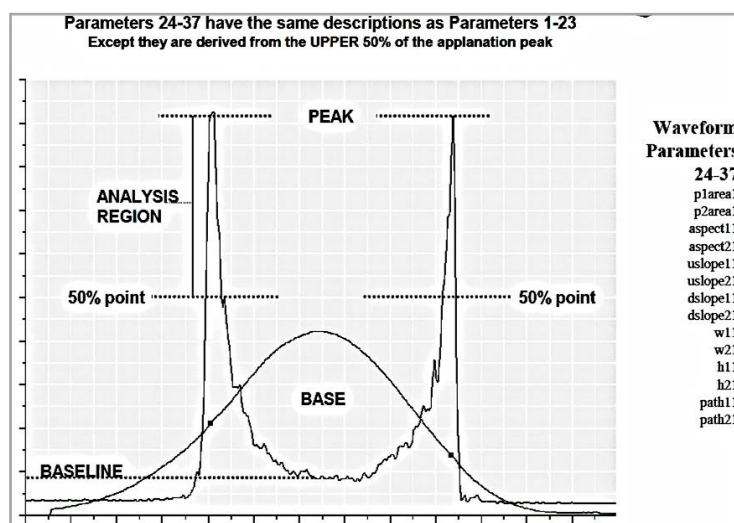


Figura 18 b.- Parámetros 24 - 37

Figuras 18 (a-b)- Parámetros adicionales del ORA (AWPs) obtenidos desde el 75% y 50% de la parte más alta del pico de aplanación (Adaptado del manual del ORA).^{77,86}

En la literatura hay limitación en cuanto a los otros factores que pueden afectar tanto a la histéresis corneal como al factor de resistencia corneal, particularmente en niños, en este sentido Lim et al,¹⁵ refieren que no hay resultados publicados sobre la posible correlación entre la CH y el error refractivo o la longitud axial (AL) y entienden que la relación de la LA con la miopía está asociada con cambios estructurales de la córnea, por lo que evaluaron los parámetros biomecánicos de la córnea medidos 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 ± 0.89 años. Encontraron valores de CH y CRF ligeramente más altos que en estudios hechos en adultos, CH y CRF no están correlacionados con errores refractivos o la longitud axial. Las córneas más planas (radios de curvatura mayores) están asociadas con valores más bajos de CH y CRF.

Song et al¹⁶ evaluaron la relación entre histéresis corneal y longitud axial/error refractivo en 1153 niños de una escuela secundaria en China, cuya media de edad fue de 14.70 ± 0.80 años. Como resultado obtuvieron que el género masculino fue asociado considerablemente con valores más bajos de PIO, mientras que ojos con córneas más gruesas y longitud axial más larga, tenían valores más altos de PIO. Según los resultados, en sujetos con y sin error refractivo, observamos que valores más bajos de histéresis corneal, están asociados significativamente con longitudes axiales más largas, para este grupo. Este resultado puede tener dos interpretaciones posibles, la primera es que posiblemente ojos con valores más bajos de histéresis corneal y que se deformen más fácilmente, tengan un riesgo mayor de elongación axial. Si esta es la cuestión, esto aumenta la posibilidad de que la histéresis corneal, posiblemente en combinación con otras medidas, se podría usar para cribado (screening) en la detección y prevención de la miopía, y así retardar la progresión de la misma.

Sin embargo, las mínimas diferencias entre valores de histéresis para ojos muy cortos y muy largos según estos resultados, realmente levantan algunas preguntas sobre el espíritu práctico de tal selección, incluso si esta interpretación de los datos realmente demuestra ser correcta.

La media de la histéresis corneal según estos resultados con niños chinos (10.70 ± 1.50 mmHg), fue significativamente más baja ($p < 0.001$) que resultados anteriores dados por Kirwan et al⁸⁷ en 42 niños Irlandeses no glaucomatosos con edades comprendidas entre 4 y 18 años (media 12.50 ± 1.35 mmHg), cuyo objetivo era valorar la histéresis corneal en niños con ojos normales y niños con glaucoma congénito y evaluar la presión intraocular (PIO), medida con el Analizador de Respuesta ocular (ORA). Estos autores en sus conclusiones, refieren que los niños tienen la histéresis corneal similar a los adultos, ya que no se encontró correlación entre la histéresis corneal y la edad, obteniéndose un valor medio de 12.50 mmHg que es muy similar al obtenido en estudios hechos 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 al⁸⁸ 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 y otros factores, por lo que 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 con error refractivo (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 nos indica que las propiedades biomecánicas de la córnea tienen influencia muy importante en la exactitud de las medidas de la PIO. Así pues, medidas como la histéresis corneal nos pueden proporcionar información de la integridad estructural de la cabeza del nervio óptico, por lo que sería conveniente en futuros estudios determinar el papel de biomecánica corneal como predictor del glaucoma.¹⁷

1.5.3.- Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Posterior

La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) es una moderna técnica diagnóstica por imagen que permite examinar de forma no invasiva, con alta resolución y mediante cortes de tipo histológico la retina *in vivo*.⁸⁹ Se obtienen imágenes y análisis del espesor macular, de la capa de fibras nerviosas 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.⁹⁰

El funcionamiento de OCT está basado en el principio de interferometría de Michelson^{90,91} (Figura 19): 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 lado 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 (Figura 20). Este patrón de interferencia es detectado y procesado en forma de señal, análoga a la obtenida en una ultrasonografía en modo A, usando 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 OCT⁹⁰ puede representarse en escala de grises (a mayor reflectividad, mayor intensidad en la escala de gris) o en escalas de colores:

- Alta Reflectividad: rojo - blanco
- Baja Reflectividad: negro - azul
- Reflectividad Intermedia: verde.

La resolución de la imagen en OCT, puede considerarse en el eje axial (eje z) o en el eje transversal (x-y). La resolución axial dependerá tanto de la longitud de onda como de la anchura de la franja de la luz incidente. El modelo OCT Stratus (OCT3) presenta una resolución axial teórica de aproximadamente $10 \mu\text{m}^{12}$.

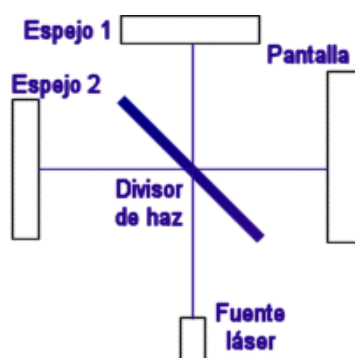


Figura 19.- Interferómetro de Michelson.^{90,91}



Figura 20.- Patrón Interferométrico.^{90,91}

Sin embargo, actualmente con la incorporación del Cirrus™ HD-OCT¹² (Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, California) (tomografía de coherencia óptica de alta definición), se obtienen datos de OCT cerca de 70 veces más rápido (27.000 frente a 400 barridos A por segundo) y con una mejor resolución (resolución axial de 5 μm frente a $\sim 10 \mu\text{m}$ en tejido), en comparación con la tecnología OCT de primera generación. Se trata de un OCT de última generación, no midriático que está basado en el dominio espectral con un sistema de OCT de alta definición. Utiliza como fuente de luz un diodo superluminiscente con una longitud de onda de 840 nm, con una velocidad de escaneo de 27.000 cortes axiales por segundo y con una longitud axial y horizontal de resolución de 5 y 15 μm , respectivamente. Cirrus adquiere, mediante tecnología OCT, cubos completos de datos de imágenes de la retina formados por cientos de barridos lineales casi en el mismo tiempo en que Stratus adquiere una tomografía de seis líneas. Se pueden ver estos cubos de datos en tres planos o en tres dimensiones, lo que le brinda acceso a una gran cantidad de datos de imágenes de la retina en una tomografía (Figura 21).

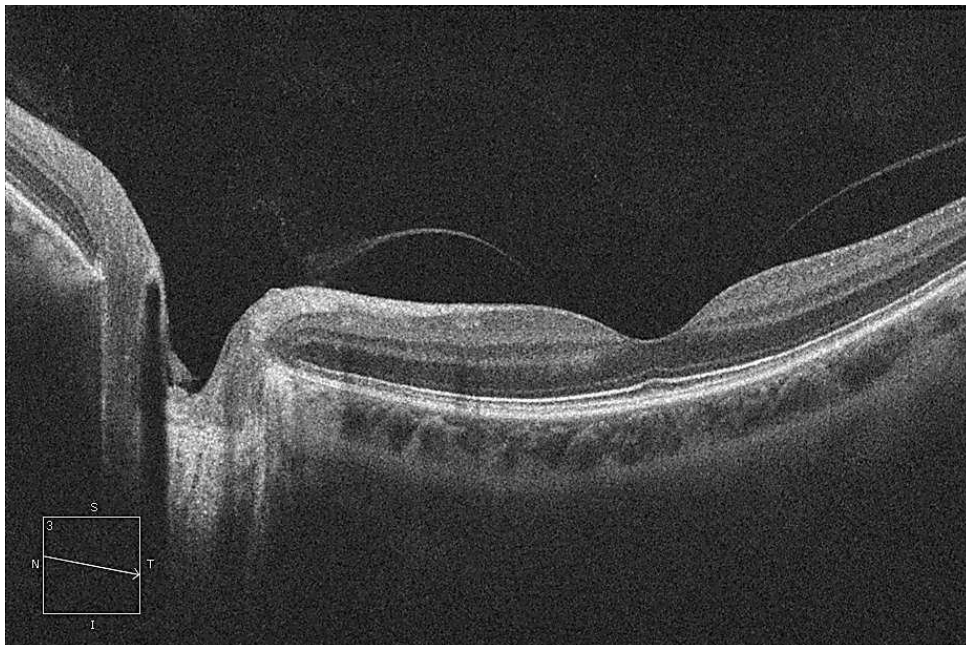


Figura 21.- Imagen correspondiente a la retina adquirida mediante tomógrafo de coherencia óptica Cirrus™ HD-OCT (Imagen cedida por el Dr Gallego. Hospital la Fe).

La OCT no solo nos permite cuantificar o medir la CFNR, sino también analizar las características morfológicas del disco óptico, realizando mediciones muy precisas y a gran velocidad de la excavación, de la papila y del diámetro papilar¹¹ (Figura 22).

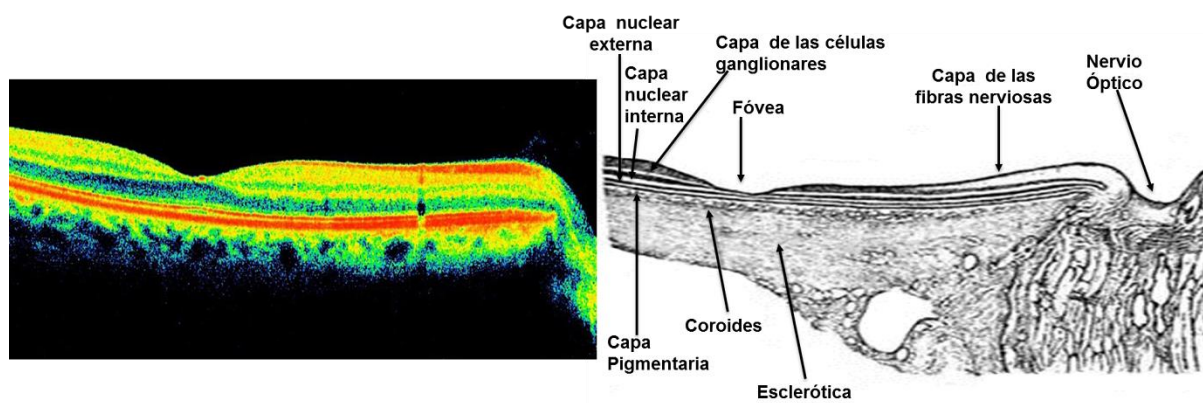


Figura 22.- La OCT permite obtener imágenes de la retina in vivo, distingue las capas de la retina y mide el espesor de la CFN^{11,12} (Imagen cedida por el Dr España. Hospital La Fe).

1.5.3.1.- Adquisición y análisis de imágenes del espesor de la CFNR por Cirrus™ HD-OCT

El examen del espesor de la capa de fibras nerviosas se realiza gracias a un algoritmo de límites que determina los bordes anterior y posterior de la capa de fibras, y de la capa limitante interna a la de conos y bastones, presentando el resultado de grosor como el número de píxeles comprendidos entre ambos (Figura 23).

Para la adquisición y análisis de imágenes se usa el protocolo Optic Disc Cube 200x200¹² (Cirrus HD-OCT software versión 3.0). Este protocolo genera un cubo de datos mediante una cuadrícula de 6.00 mm de lado, adquiriendo una serie de 200 barridos lineales horizontales, compuestos, a su vez, de 200 cortes axiales cada uno. A continuación, un círculo de 3.46 mm de diámetro se coloca automáticamente alrededor del nervio óptico. Las imágenes obtenidas deben tener una señal de medida, de al menos 6, denominada Signal Strength.

El informe Optic disc cube 200x200 incluye, además del espesor medio y la representación por cuadrantes y sectores horarios, un parámetro de simetría entre ambos ojos, que también se compara con una base normativa. También presenta Mapas de grosor, que imitan el patrón de color de GDx, con colores fríos (azul, verde) para las áreas más delgadas, y colores cálidos (amarillo, rojo) para las áreas más gruesas. Y por último, en los mapas de desviación superpone a la imagen del fondo de ojo píxeles rojos (1%) o amarillos (5%) que resultan de la comparación con la base de normalidad.⁹²

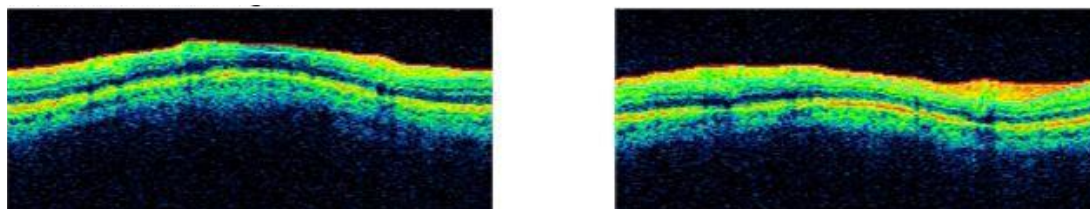


Figura 23.- Corte extendido de la CFNR de ambos ojos: imagen tomográfica extendida^{12,92}

1.5.3.2- Análisis de la topografía del nervio óptico por Cirrus™ HD-OCT

Ofrece datos importantes sobre el tamaño del nervio óptico, del anillo neuroretiniano y de la excavación. Además, la delimitación del nervio óptico es automática a partir de los límites del epitelio pigmentario de la retina. Esto elimina en parte el componente de subjetividad que puede introducir el examinador al establecer los límites de la papila, aunque en ocasiones es necesario corregir manualmente el contorno fijado por el aparato.

El nuevo software de Cirrus™ HD-OCT (Software Versión 5.0.0.326), ofrece identificación automática de la papila óptica y los límites de la excavación. El análisis se genera con el actual Optic Disc Cube 200x200 y un nuevo algoritmo incorporado por Zeiss. Este algoritmo está diseñado para medir con precisión el borde del anillo neuro-retiniano. Los cálculos de la Cabeza del Nervio Óptico se presentan en un informe combinado con los datos de espesor de la CFNR. Los parámetros clave se expresan en una tabla (Tabla 3). Además, los límites de la papila y excavación se muestran en una imagen integrada con el mapa de desviación del espesor de CFNR (Figura 24).

El mapa de visualización en 3D también se ha mejorado, en cuanto a calidad de imagen y visualización.¹²

	OD	OS
Average RNFL Thickness	73 μm	61 μm
RNFL Symmetry	55%	
Rim Area	1.12 mm ²	0.70 mm ²
Disc Area	1.58 mm ²	1.68 mm ²
Average C/D Ratio	0.53	0.75
Vertical C/D Ratio	0.49	0.75
Cup Volume	0.036 mm ³	0.201 mm ³

Tabla 3.- Datos de exploración de la papila óptica de ambos ojos. Optic Disc Cube 200x200.¹²

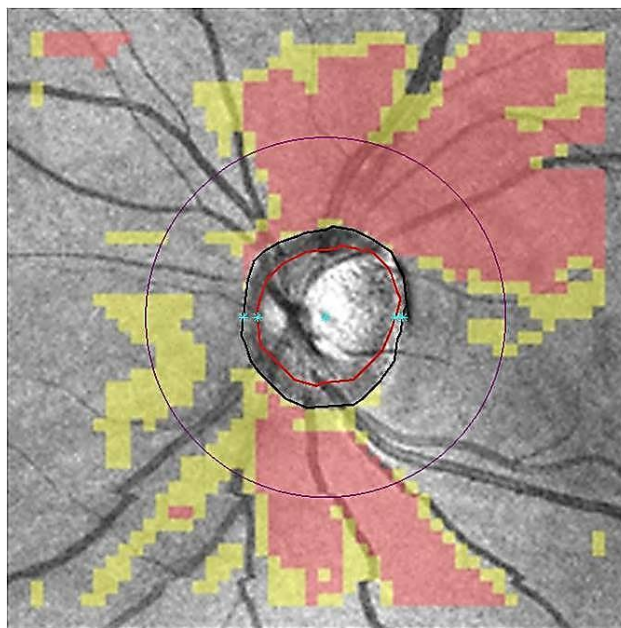


Figura 24.- Imagen de la cabeza del nervio óptico que muestra los límites de la excavación y papila, y superpuesto, el mapa de desviación del espesor de CFNR.¹²

1.5.3.3.- Adquisición y análisis de imágenes del espesor retiniano por Cirrus HD-OCT

Para la adquisición de imágenes, según el protocolo de examen, tenemos las siguientes tomografías disponibles para cada ojo:

- Macular Cube 200 x 200: Genera un cubo de datos mediante una cuadrícula de 6 mm de lado, adquiriendo una serie de 200 barridos lineales horizontales, que constan de 200 cortes axiales cada uno
- Macular Cube 512 x 128: Genera un cubo de datos mediante una cuadrícula de 6 mm adquiriendo una serie de 128 líneas horizontales que constan de 512 cortes axiales. Comparada con el protocolo 200x200, esta tomografía tiene una mayor resolución en cada línea de izquierda a derecha, pero dichas líneas están más separadas, ofreciendo menor resolución de arriba hacia abajo.

- 5 Line Raster: Tomografías a través de 5 líneas horizontales apenas separadas. Cada línea tiene 6 mm de largo, consta de 4096 barridos A y está separada de la siguiente por 250 μm , de modo que las 5 líneas juntas abarcan 1 mm en posición vertical. Esta tomografía ofrece la mayor resolución.

Los análisis de exploración de cubos incorporan un algoritmo para buscar y mostrar automáticamente la membrana limitante interna y el epitelio pigmentario de la retina (MLI y EPR respectivamente). Cirrus también calcula y presenta una capa denominada EPRfit, que es una representación de un EPR parabólico normal para este ojo, según la curvatura total de la retina. Se puede utilizar la línea de EPRfit para ver variaciones del EPR normal en el contorno de EPR real. En las imágenes tomográficas, que son secciones transversales (cortes), las capas aparecen como líneas de colores brillantes que trazan la función anatómica sobre la que se basan. Los colores utilizados se pueden personalizar para mostrar cada una de estas líneas. Estas capas constituyen la base de las medidas del grosor y volumen macular. Las capas MLI y EPR se presentan en su totalidad como mapas de superficies reales en tres dimensiones¹² (Figura 25).

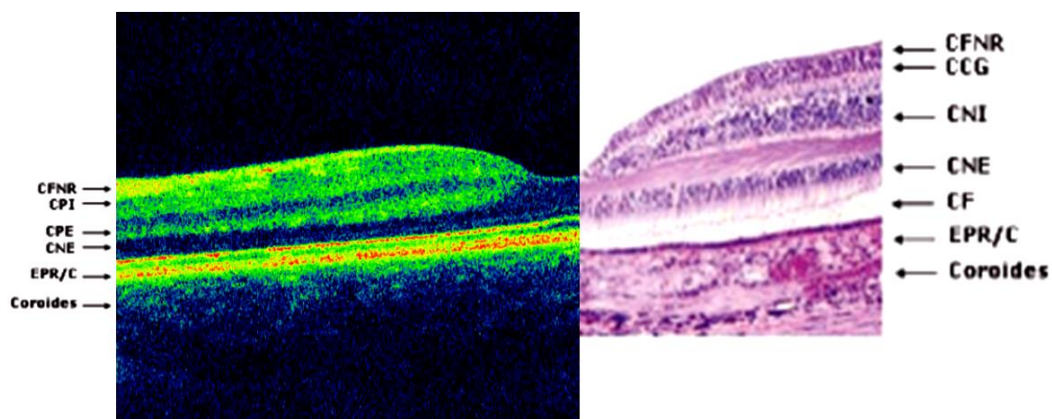


Figura 25.- Correlación Anatómico – Tomográfica del espesor macular.^{12,92}

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 pues, 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, adultos a partir de 18 años.⁹³

Los valores con los que se diseñó la base de datos normalizada que incorporó Stratus OCT™, no reveló 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 a 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 GPAA, HTO y glaucoma de tensión normal⁹⁴. No obstante hay autores que refieren que no encuentran relación estadísticamente significativa entre la refracción y el espesor de la CFNR medido con Stratus OCT™.⁹⁵ Otros resultados obtenidos con láser confocal de barrido sí encuentran diferencias entre miopes e hipermétropes respecto a los emétropes.⁹⁶ Por otro lado Varma et al,⁹⁷ con una gran muestra de pacientes, no encontraron relaciones estadísticamente significativas entre la refracción y el área del disco, área del anillo y de la excavación.

Posteriormente, en 2007 Oliveira et al, demostraron en adultos tanto de raza blanca como negra, que ojos con mayor longitud axial, tienen mayor tamaño del nervio óptico,¹⁸ pero en la bibliografía, son pocos los resultados encontrados en los que se analizan los parámetros de normalidad del Nervio Óptico y su relación con la refracción y longitud axial en la población infantil. Huynh et al,⁹⁸ querían establecer una base de datos normalizada de los parámetros de la papila, excavación, y anillo neuroretiniano y analizar su variación con la refracción, longitud axial, sexo, y raza, en una muestra grande de niños de 6 años. Mediante OCT, se evaluaron 1309 niños, de diferentes razas. Según los datos obtenidos, el área de la papila aumentó y el área del anillo disminuyó considerablemente con el incremento de la longitud axial en los niños menos hipermétropes, aunque en esta muestra, la mayoría eran niños hipermétropes con una prevalencia de la miopía de sólo 1.4 %. También se encontraron diferencias significativas entre la papila, excavación y anillo neuroretiniano entre

niños de Asia del Este y Europeos y a su vez, estos parámetros eran ligeramente más pequeños que los encontrados en estudios realizados en adultos. La anchura media del nervio óptico y el área del anillo (sección vertical) fueron mayores a lo largo del meridiano vertical que del horizontal, compatible con la distribución antes observada del espesor de la capa de fibras nerviosas peripapilares. El tamaño de la papila fue significativamente determinante en el espesor de la capa de fibras nerviosas peripapilares. Así pues, la longitud axial parece tener una influencia más fuerte sobre la papila y el área del anillo que la refracción en esta muestra de niños australianos.

Se encontraron datos similares en niños más mayores en los que el predominio de miopía era más alto, aunque son necesarios más datos para alcanzar conclusiones definitivas en cuanto al efecto de la miopía sobre la papila y el área del anillo neuroretiniano. En estudios hechos anteriormente en adultos⁹⁹⁻¹⁰² y niños,¹⁰³ no se encontró ninguna o muy poca relación de la papila y área del anillo neuroretiniano con la refracción, los que encontraron relación, tendieron a describir papilas ligeramente más grandes en miopes que en ojos no miopes.^{104,105} Existen otros resultados en los que tampoco se encontró ninguna asociación significativa de la refracción con el área excavación-papila¹⁰⁶ y el diámetro.¹⁰⁷

Posteriormente en 2008, Huynh et al,¹⁰⁸ evaluaron la distribución de la capa de fibras nerviosas macular y peripapilar y los parámetros de la papila en niños adolescentes australianos y compararon los resultados con estudios anteriores^{98,109} realizados en niños más pequeños. Se evaluaron 2353 niños, con edades comprendidas entre 12 y 13 años y encontraron diferencias mínimas de estos parámetros en cuanto al sexo. Comparando estos parámetros con los parámetros del grupo de niños más pequeños, encontraron que el espesor macular era ligeramente más grueso y el de la papila un poco más grande en los niños adolescentes, aunque la diferencia entre estos dos grupos de edad era pequeña. El espesor foveal y el espesor de la capa de fibras nerviosas peripapilar, fueron similares entre estos dos grupos de edad. Los autores establecieron una base de datos normalizada de estos parámetros en niños y afirman que el crecimiento de estos parámetros puede que sea casi completo

después del nacimiento o a muy temprana edad, ya que no encontraron diferencias estadísticamente significativas en el espesor de la capa de fibras nerviosas peripapilares, ni en el espesor macular entre el grupo de niños más pequeños y el de adolescentes, además todos estos parámetros fueron similares a los encontrados en adultos.

Sin embargo, otros autores relatan adelgazamiento de la capa de fibras nerviosas peripapilares con la edad,¹¹⁰⁻¹¹² Poinosawmy et al,¹¹¹ en 150 voluntarios normales con edades comprendidas entre 5 y 90 años encontraron un adelgazamiento de la capa de fibras nerviosas con la edad (0.38 $\mu\text{m}/\text{año}$, $p < 0.001$). El adelgazamiento de la CFNR fue más marcado en los cuadrantes inferiores y superiores. Una proporción de adelgazamiento similar de CFNR (0.44 $\mu\text{m}/\text{año}$, $p = 0.0019$) fue encontrada por Alamouti et al¹¹⁰ en 100 sujetos sanos (rango de edad, 6-79 años), utilizando para el examen un OCT2 (OCT: OCT 2000, Humphrey Instruments, San Leandro, CA, USA). Kanamori et al¹¹² encontraron el adelgazamiento de CFNR relacionado con la edad en los cuadrantes inferior, superior, y temporal, pero no hubo ninguna correlación con el cuadrante nasal.

Reche-Sainz et al,¹¹³ realizaron en 2006 un Estudio de la capa de fibras nerviosas de la retina en el estrabismo infantil cuyo objetivo era comprobar si existen diferencias en el grosor de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) entre niños estrábicos y niños con visión binocular normal. Estas diferencias también se valoraron entre niños con endotropía y exotropía y entre los ojos dominantes y no dominantes de niños estrábicos. Según los resultados obtenidos, se concluye en que no existen diferencias en el grosor de la CFNR en ninguna de las comparaciones estudiadas, ya sea considerando los ojos Dominantes con No-Dominantes de un mismo tipo de estrabismo, ni entre los ojos de los niños con estrabismo con los casos controles. No parece, por tanto que existan diferencias de la capa de fibras nerviosas de la retina en la patología estrábica.

Como conclusión y según los casos comparados, no parece haber variaciones ni en el número ni en la distribución de las fibras de las células ganglionares de la retina que se asocien con la existencia de estrabismo.

Las posibles variaciones neuronales podrían encontrarse en otras estructuras nerviosas de la integración sensorial de la información visual o de la vía eferente motora.

Repka et al¹¹⁴ pensaban que la capa de fibras nerviosas de la retina podía ser más delgada en ojos ambliopes, por lo que, al comparar el espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar (CFNR) en ojos con ambliopía por anisometropía y ambliopía por estrabismo con ojos normales, en niños entre 7 y 12 años, encontraron que el espesor de CFNR peripapilar no es más delgado en ojos ambliopes que en ojos normales y Huynh et al¹¹⁵ no encontraron diferencias estadísticamente significativas en el espesor medio de la Capa de Fibras Nerviosas de la Retina (CFNR) peripapilar medido con tomografía de coherencia óptica (OCT) entre ojos ambliopes con ambliopía unilateral y ojos normales, en niños entre 6 y 12 años. La diferencia de espesor medio de la CFNR peripapilar entre ojos ambliopes y normales fue de 1.90 μm más grueso en ojos ambliopes, Repka et al,¹¹⁸ hallaron una diferencia de espesor 1.80 μm , más grueso en ojos ambliopes. Según estos resultados Huynh et al,¹¹⁵ especulan que puede haber un efecto no previsto del tratamiento de la ambliopía en la diferencia del espesor de la CFNR peripapilar entre ojos ambliopes y ojos normales ya que observaron una pequeña diferencia interocular en los niños que previamente habían sido tratados de ambliopía de 1.80 μm , en comparación con los que no habían sido tratados anteriormente (4.50 μm diferencia de espesor interocular), afirmaciones que no pueden corroborar Repka et al¹¹⁴ ya que la mayoría de los sujetos de su investigación habían comenzado el tratamiento para la ambliopía justo después del examen con OCT.

Coincidiendo con las afirmaciones anteriores, Kee et al¹¹⁶ al evaluar y comparar el espesor foveal y de la CFNR en niños normales (media de edad de 8.50 años) y niños con ambliopía unilateral (media de 8.00 años), no encontraron diferencias significativas en cuanto al espesor foveal y de la CFNR en ambos grupos y Miki et al¹¹⁷ evaluaron los parámetros del nervio óptico mediante HRT en pacientes ambliopía unilateral (27 con ambliopía persistente y 17 con ambliopía resuelta) con el fin de investigar diferencias entre los ojos ambliopes y los ojos

normales, no encontrando diferencias clínicamente significativas entre ambos ojos.

1.5.4.- Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Anterior

La tomografía de coherencia óptica en un principio se utilizó para la adquisición de imágenes de las diferentes estructuras del polo posterior, como mácula y nervio óptico y en los últimos años, se ha aplicado para obtener imágenes de las estructuras del segmento anterior, además ofrece la posibilidad de realizar gran cantidad de evaluaciones biométricas.

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 del de segmento posterior que es de 820 nm^{118,119} y la resolución axial y transversal es de 18 y 60 μm respectivamente. Debido a que utiliza radiación lumínica, la rapidez de la captura es tal que evita errores debidos al movimiento ocular, y el elevado número de scans tomados (hasta 2.000 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 del mismo con distinta intensidad según el grado de reflectancia de los tejidos explorados (Figura 26). Asimismo, se puede observar con alta reflectancia la córnea y película lagrimal central, también la esclera y parte del iris, y con reflectancia media-baja se aprecian córnea periférica, procesos ciliares y cristalino.¹²⁰

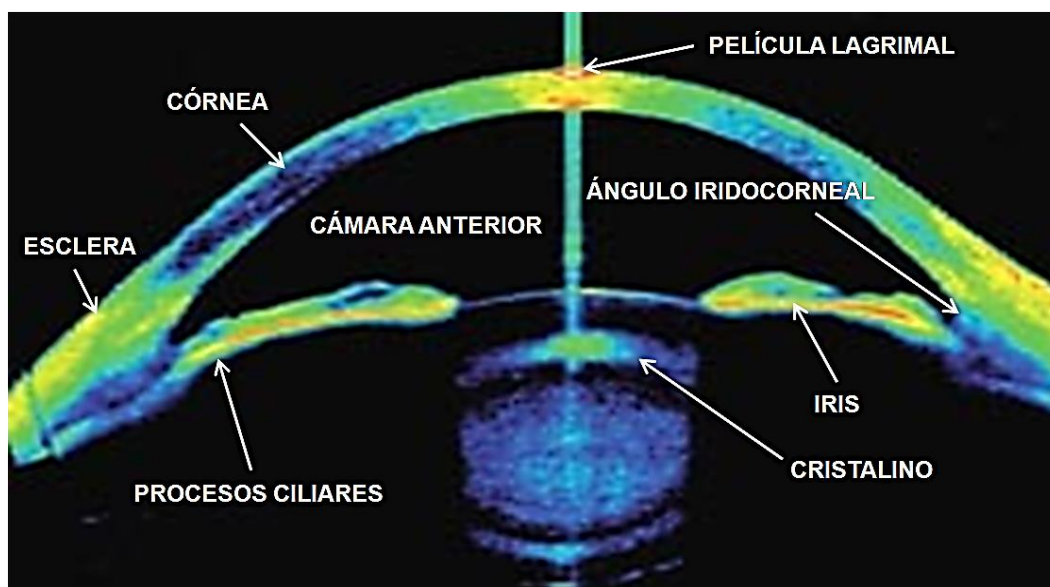


Figura 26.- Imagen tomográfica de un corte transversal horizontal (180° - 0°) del segmento anterior, donde se observan las distintas estructuras que lo forman. La línea vertical reflectante que atraviesa el conjunto indica que la sección tomada está centrada en el ápex corneal.¹²⁰

El instrumento que utiliza la Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Anterior es el llamado Visante™ OCT,¹³ el cual 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 (Figura 27).



Figura 27.- Visante™ OCT.¹³

Mediante el tomógrafo de segmento anterior Visante™ OCT,¹³ se pueden obtener múltiples medidas biométricas. Se puede evaluar el ángulo iridocorneal mediante una marca que permite ajustar a dicha zona un icono angular de medición. De este modo se pueden realizar medidas de dos ángulos iridocorneales por cada sección tomográfica, y teniendo en cuenta que se pueden obtener 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. Otro parámetro que se puede valorar es la profundidad de cámara anterior, distancia entre endotelio corneal y parte más convexa de la cara anterior del cristalino y con la misma función se puede medir la distancia entre ángulos, el blanco-blanco o diámetro de iris visible y el grosor corneal (Figura 28).

Otra de las utilidades del tomógrafo de segmento anterior es la valoración de la paquimetría corneal, Esto se consigue capturando 16 secciones radiales de la córnea simultáneamente. El software del OCT cuantifica el grosor corneal en cada una de las secciones tomadas elaborando un mapa paquimétrico global de 10 mm de diámetro, que evalúa el espesor corneal en 25 zonas distintas en cada una de las cuales proporciona tres valores paquimétricos: uno máximo, otro mínimo y otro promedio. Dicho mapa muestra también las diferencias entre las

distintas zonas mediante una escala de colores donde los tonos azules y los amarillo rojizo se corresponden con zonas de mayor y menor espesor corneal, respectivamente (Figura 29).

El tiempo empleado en la adquisición de tomografías es de 0.125 seg. por línea para Tomografías de Segmento Anterior, 0.25 seg. por línea para Tomografías Corneales de Alta Resolución, 0.50 seg. de tiempo de adquisición total para Tomografías de Paquimetría y 1.00 s de tiempo de adquisición total para Tomografías de Paquimetría Globales.¹³

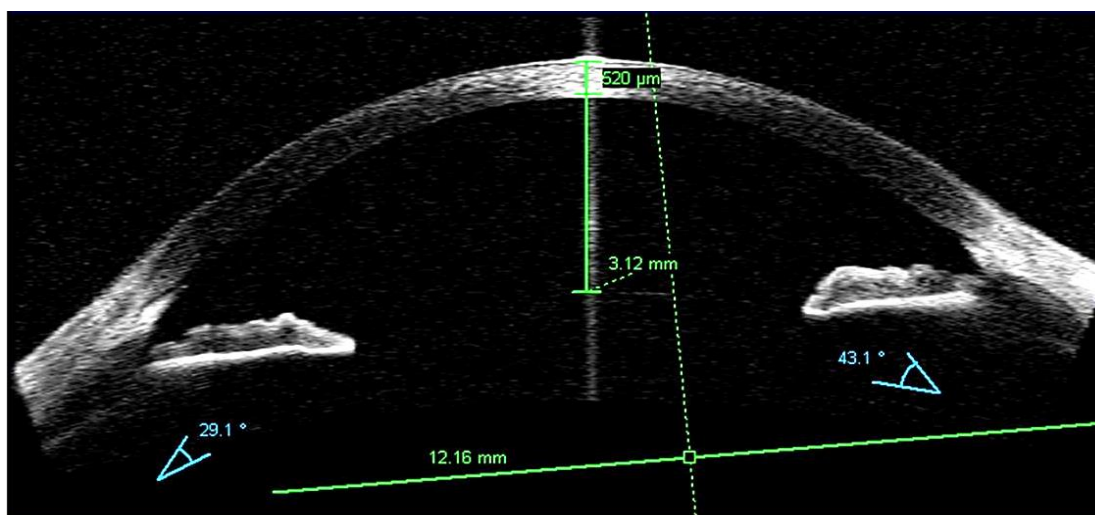


Figura 28.- Imagen de una tomografía en la que se mide la profundidad de cámara anterior, el diámetro de iris visible o distancia blanco-blanco, la paquimetría corneal central y los ángulos iridocorneales.¹³ La imagen corresponde al ojo derecho de una niña miope de 10 años, de los sujetos sometidos a estudio.

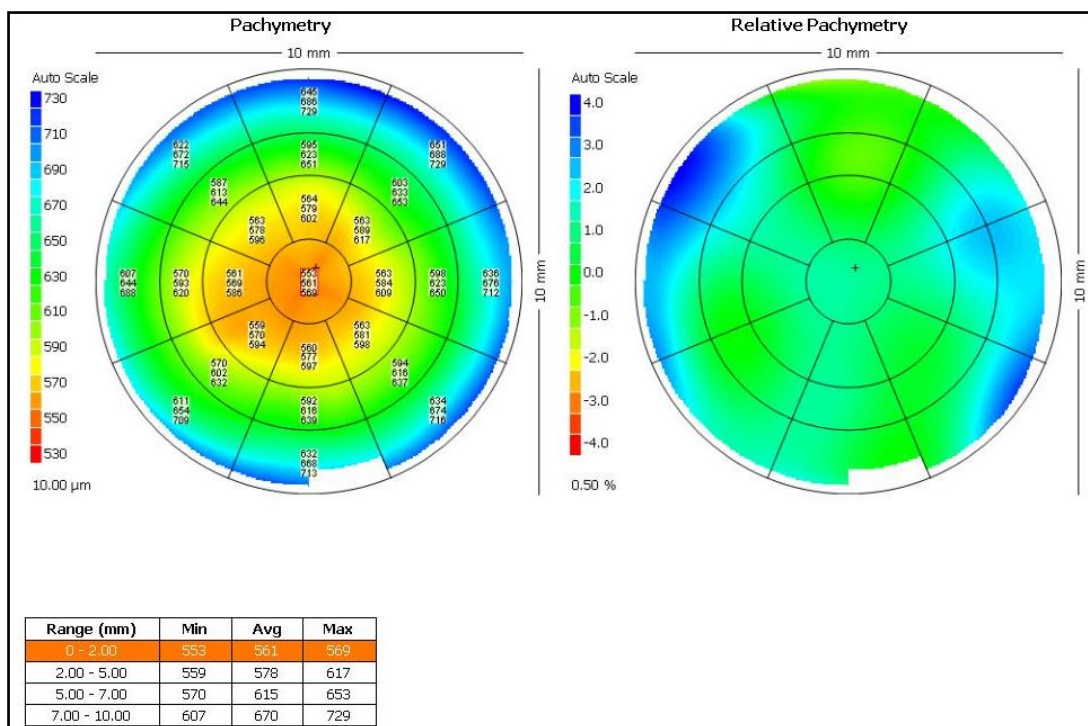


Figura 29.- Mapa paquimétrico global correspondiente al ojo derecho de una niña miope de 10 años. En la parte derecha de la imagen se muestra sólo el mapa de colores y en la izquierda se añaden las 25 zonas evaluadas con sus respectivos valores de espesores.¹³

Según Lehman et al,¹²¹ no se han realizado estudios en humanos para evaluar la validez y repetibilidad del Visante OCT en las medidas del espesor del cristalino, así que, analizaron el espesor del cristalino a cuarenta y siete niños normales con edades comprendidas entre 8 y 15 años (edad media, 11.06 ± 2.30 años) mediante Visante OCT (Carl Zeiss Meditec, Dublín, California) y con el biómetro convencional por ultrasonido (Humphrey 820), encontrando una excelente repetibilidad, por lo que debe ser considerado como una alternativa al biómetro convencional por ultrasonido en los estudios de biometría ocular con participación del cristalino.

Mediante Visante OCT, Bailey et al¹²² valoraron si el espesor del cuerpo ciliar estaba relacionado con errores refractivos en niños en edad escolar, evaluando a cincuenta y tres niños, de 8 a 15 años de edad, resultando que

espesores mayores del cuerpo ciliar fueron asociados con la miopía y con una longitud axial mayor y concluyen en que es necesaria investigación adicional para determinar el significado de esta relación.

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 al¹²³ compararon el espesor corneal central, medido con Visante OCT con el que se obtiene con paquimetría ultrasónica, en adultos entre 40 y 80 años y encontraron que las medidas obtenidas con ambos métodos, aunque altamente correlacionadas, las dadas por Visante OCT fueron menores que las medidas adquiridas por paquimetría ultrasónica, resultados que se corresponden con los dados por Li et al,¹²⁴ al comparar el Espesor Corneal Central con ambas técnicas, antes y después de cirugía Lasik.

Mohamed et al¹²⁵ 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), obteniendo 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.

En resumen, la gran mayoría de estudios realizados hasta la fecha, aportan información de pacientes miopes y su relación con la biomecánica corneal, tanto en niños^{15,16} como en adultos.⁸⁸ Sin embargo, los pacientes emétopes e hipermétropes han sido menos estudiados, no teniendo constancia hasta la fecha de ningún estudio realizado en niños emétopes e hipermétropes.

Además, los grandes grupos poblacionales evaluados, pertenecen a poblaciones en su mayoría asiáticas,^{15,16} siendo los grupos caucásicos⁸⁷ menos numerosos y analizados con menor frecuencia.

Así mismo, el estudio de la biomecánica corneal y su relación con la anatomía del nervio óptico, ha sido objeto de escasos estudios, especialmente la población pediátrica caucásica.

Fundamentalmente hemos realizado este estudio debido a la importancia de conocer la influencia de la biomecánica corneal y su relación con las ametropías para valorar si su alteración puede constituir un factor de riesgo para el desarrollo o aparición de las mismas.

2.- HIPÓTESIS DE TRABAJO

2.- HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las propiedades biomecánicas corneales junto con otras medidas anatómicas oculares (longitud axial, profundidad de cámara anterior, espesor corneal, curvatura corneal) pueden explicar la aparición de defectos refractivos y evidenciar la existencia de una emetropización alterada, explicable por una anatomía que se aparta de la normalidad, entendida esta como la ausencia de defecto refractivo.

Medidas de la biomecánica corneal y de los parámetros biométricos oculares (longitud axial, profundidad de cámara anterior, espesor corneal, curvatura corneal), pueden proporcionar información de la arquitectura de la cabeza del nervio óptico e influir en la medida de la capa de fibras nerviosas de la retina. Además de reflejar una posible susceptibilidad al daño en diferentes patologías (glaucoma).

3.- OBJETIVOS

3.- OBJETIVOS

3.1.- OBJETIVO PRINCIPAL

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, valorando la influencia que sobre ellos pueden tener los valores que aporta el estudio de la biomecánica corneal, relacionándolos todos con la aparición de ametropías en el grupo de edad de 6 a 17 años.

3.2.- OBJETIVOS SECUNDARIOS

1.- Comparar los parámetros anatómicos oculares de niños emétopes con niños de la misma edad, amétopes sanos y valorar la correlación de estos con la refracción.

2.- Establecer unos valores de referencia de los parámetros del nervio óptico (capa de fibras nerviosas y configuración papilar) y analizar su variación con la longitud axial, sexo, edad y biomecánica corneal en niños de 6-17 años emétopes sanos.

3.- Evaluar la relación entre las propiedades biomecánicas corneales y configuración de la papila (papila/excavación) comparando el grupo de emétopes frente a los amétopes.

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.- DISEÑO DEL ESTUDIO

El diseño del estudio se realizó siguiendo las directrices de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité ético de la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo.

Se realizó un estudio transversal, descriptivo y no aleatorio.

La población del grupo de estudio estaba compuesto por:

- Grupo control de 99 pacientes emétopes (45 niños y 54 niñas), con edades comprendidas entre los 6 y 17 años.
- Grupo de 100 pacientes miopes (36 niños y 64 niñas) con edades comprendidas entre los 6 y 17 años.
- Grupo de 94 pacientes hipermétropes (54 niños y 40 niñas) con edades comprendidas entre los 6 y 17 años.

4.2.- CONSENTIMIENTO INFORMADO

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 a realizar. Todos firmaron el consentimiento informado (se adjunta en el apartado 9 Apéndice, punto 9.1.- Consentimiento informado).

Durante la realización de las pruebas se les iba informando a los padres, tutores o representantes legales de los resultados obtenidos en las mismas, así como del hallazgo de cualquier anomalía.

4.3.- SELECCIÓN DE PACIENTES

Todos los sujetos incluidos en este estudio fueron seleccionados de las consultas de Oftalmología Pediátrica de la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo.

Se dividieron en los siguientes grupos:

a. Emétropes

La clasificación de emetropía varía según autores, considerando muchos de ellos, dentro de este grupo a los sujetos con errores refractivos comprendidos entre +0.50 y -0.50 D,¹²⁶⁻¹³⁰ para otros la emetropía estaría entre -0.50 y +1.50 o +2.00 D.¹³¹ Otros autores^{136,137} consideran emetropía al error refractivo comprendido entre -0.50 y +1.50 o valores entre -0.50 y +1.00 D. Mutti¹³² refiere valores entre -0.75 y +1.00 D y Hirsch¹³³ entre -0.50 y +1.00 D.

En este trabajo se han considerado emétropes a todos los sujetos con errores refractivos comprendidos entre <-0.50 y <+1.00 D.

En este grupo de emétropes (grupo control), los sujetos se dividieron en tres grupos de estudio basados solamente en la edad, de 6 a 10 años, ya que es en esta etapa, según varios autores, cuando se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular.^{6,7} El siguiente grupo de edad sería el correspondiente a la preadolescencia, de 11 a 13 años y el grupo de adolescentes de 14 a 17 años, tal como se ha descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad. El número de sujetos correspondiente a cada grupo queda reflejado en la Tabla 4.

	6-10 años	11-13 años	14-17 años
Nº DE SUJETOS EMÉTROPES	42	35	22

Tabla 4.- Número de sujetos emétropes divididos por grupos de edad.

b. Amètropes

El error refractivo se analizó como el equivalente esférico (esfera mas la mitad del cilindro negativo) y se dividieron en función del grado de ametropía.

- **Miopes en función de la ametropía:** se clasificaron en tres grupos, bajos (de ≥ -0.50 a -3.00 D), medios (de -3.25 a -6.00 D) y altos (≥ -6.00 D)¹³⁴ (Tabla 5).

	≥ -0.50 a -3.00 D	-3.25 a -6.00 D	> -6.00 D
Nº DE SUJETOS MIOPESES	59	24	17

Tabla 5.- Número de sujetos miopes divididos por grupos de ametropía.

- **Miopes en función de la edad:** se dividieron en tres grupos de edad, de 6 a 10 años, ya que es en esta etapa, según varios autores, cuando se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular.^{6,7} El grupo de preadolescentes, de 11 a 13 años y el de adolescentes de 14 a 17 años, tal como se ha descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad. El número de sujetos correspondiente a cada grupo queda reflejado en la Tabla 6.

	6-10 años	11-13 años	14-17 años
Nº DE SUJETOS MIOPESES	18	46	36

Tabla 6.- Número de sujetos miopes divididos por grupos de edad.

- **Hipermétropes:** se clasificaron en función del grado de ametropía y se dividieron en: bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D), medios (de $+3.25$ a $+6.00$ D) y altos ($\geq +6.00$ D).^{135,136} El número de sujetos correspondiente a cada grupo queda reflejado en la Tabla 7.

	$\geq +1.00$ a $+3.00$ D	$+3.25$ a $+6.00$ D	$> +6.00$ D
Nº DE SUJETOS HIPERMETROPES	37	41	16

Tabla 7.- Número de sujetos hipermétropes divididos por grupos de ametropía.

Los sujetos hipermétropes también se dividieron en grupos de edad: de 6-10 años (n=64), de 11-13 años (n=20) y de 13-17 años (n=10). Se realizó el análisis estadístico al igual que en los demás grupos, pero no se mostraron los datos referentes a dicho análisis, ya que en ninguno de los grupos se encontraron resultados relevantes ni diferentes del total del grupo de hipermétropes.

Para la realización del estudio estadístico sólo se consideró el OD de cada individuo, ya que se encontró gran correlación entre ambos ojos en todos los parámetros evaluados.

4.4.- CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Menores de 18 años
- Caucásicos
- Agudeza Visual con corrección óptica, si la precisa, ≥ 0.8 .
- Ambos sexos
- Buena colaboración

4.5.- CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Edad: 18 años o mayor
- No caucásicos
- Historia de patología ocular previa
- Cirugía intraocular previa
- Agudeza visual menor de 0.8
- Usuario de lentes de contacto
- Medicación oftalmológica actual
- Mala colaboración
- Cilindro mayor de 2.00 D

4.6.- ANAMNESIS

En todos los pacientes se realizó una anamnesis detallada, recogiendo datos referentes a la filiación del paciente (nombre y apellidos, edad, sexo).

- Si han sido niños prematuros o nacidos a término
- Antecedentes médicos
- Antecedentes oftalmológicos

4.7.- EXAMEN OPTOMÉTRICO

- Agudeza Visual
- Motilidad ocular
- Examen objetivo mediante retinoscopía
- Refracción objetiva automatizada mediante autorrefractómetro (Topcon KR-8100P)
- Examen subjetivo

4.8.- EXPLORACIÓN OFTALMOLÓGICA

Se realizó bajo ciclopéjico (ciclopentolato al 1%), instilando una gota en cada ojo cada 15 minutos, hasta tres veces, esperando aproximadamente media hora después de la última gota, hasta paralizar la acomodación. Se exploró mediante biomicroscopía, tanto el segmento anterior como el posterior. Se valoró de nuevo la refracción bajo condiciones de ciclopejia.

4.9.- PROTOCOLO DE EXPLORACIÓN

La anamnesis, exploración oftalmológica y examen optométrico se realizaron el mismo día, posteriormente, entre 15 y 30 días después, se hicieron las demás pruebas para valorar la biomecánica corneal y los demás parámetros biométricos y anatómicos oculares. Todas las exploraciones se efectuaron el mismo día, dejando un tiempo de reposo entre cada una de ellas de al menos 15 minutos o más, con el fin de restablecer la película lagrimal.

Todas las pruebas fueron hechas por un único examinador (IBG), bajo las mismas condiciones, siempre en la misma franja horaria (entre las 3 y las 6 de la tarde), para reducir los efectos de las variaciones corneales durante el día.⁸⁸ No se utilizó ningún fármaco en la realización de las pruebas. Previamente a las exploraciones se les explicaba acerca de la realización de las mismas.

4.9.1.- Exploración con el Analizador de Respuesta Ocular (ORA)

El ORA es un neumotonómetro de aire con centrado automático del ojo. Antes del comienzo de la prueba se les dio las explicaciones oportunas acerca de la realización de la misma, para la que deberían estar sentados y apoyar la frente sobre el reposacabezas del dispositivo. Se les explicó que una sonda de no contacto se movería hacia el ojo y emitiría un chorro de aire.

En cada sujeto, se realizaron cuatro medidas de cada ojo, alternando un ojo con otro, para evitar el efecto del aprendizaje, obteniéndose la media de las

cuatro y descartando aquellas que no fuesen de calidad, siguiendo las instrucciones del fabricante (Figura 30).

Los parámetros que se analizaron en el estudio fueron los dados por el ORA (Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, New York. Software Version 1.10):

- Histéresis corneal (CH)
- Factor de resistencia corneal (CRF)
- Presión Intraocular corneo-compensada (PIOcc)
- Presión Intraocular equivalente al tonómetro Goldmann (PIOg)

El ORA también nos mide el ECC, mediante paquimetría ultrasónica, ya que el aparato lleva una sonda incorporada, pero es necesario la administración de un anestésico tópico, con lo que dicho parámetro en el presente trabajo, se evaluó mediante otra técnica de no contacto, la Tomografía de Segmento Anterior, Visante™ OCT. Siendo ambas técnicas de medida del espesor corneal central altamente correlacionadas.^{123,124}

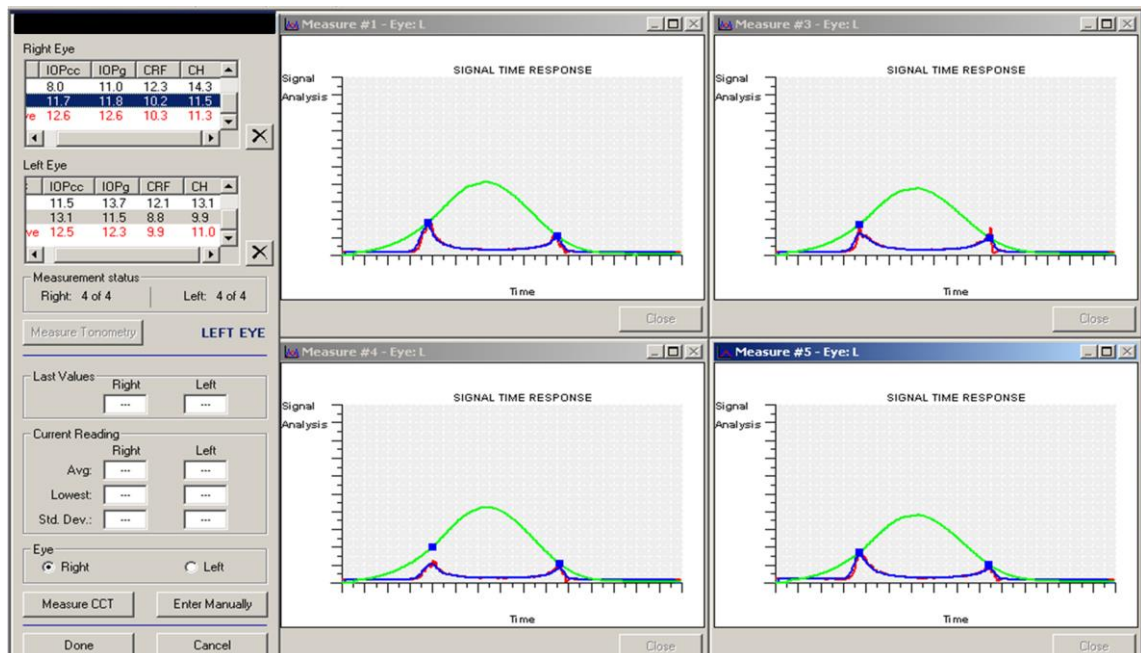


Figura 30.- Gráficos de las medidas tomadas con el ORA. En la izquierda de la imagen, aparecen los valores correspondientes a las medidas de cada ojo y el valor medio.

4.9.2.- Exploración con IOLMaster

En diferentes estudios^{74,75,137} se ha valorado la repetibilidad y fiabilidad de la interferometría óptica en la medida de los parámetros biométricos oculares. En el presente trabajo se evaluaron dichos parámetros mediante esta técnica de no contacto, IOLMaster® (Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, California. Software Version 5.2.1).

Se incluyeron en el estudio los siguientes parámetros:

- Medida de la Longitud Axial
- Medida de la Curvatura Corneal

El IOLMaster también nos proporciona la medida de la profundidad de la cámara anterior, sin embargo, para el estudio estadístico consideramos la que nos proporciona la OCT de segmento anterior, Visante™ OCT, debido a que ésta última nos facilita la medida real de la PCA, tomada desde la cara posterior de la córnea hasta la parte más convexa de la cara anterior del cristalino, además está comprobada la alta correlación entre ambas técnicas de medida.¹³⁸

Todas las medidas son automáticas y se tomaron en ambos ojos, ajustando previamente el aparato al ojo del paciente y explicando la realización de la prueba.

La medida de la longitud axial (Figura 31) se tomó como la media de cinco lecturas, considerándolas correctas si el valor de SNR (ratio de ruido de la señal), era mayor de 2.0, según indicaciones del fabricante.⁷⁶ Este valor nos indica la fiabilidad de las medidas y estas se consideran más correctas cuanto mayor sea este valor.

El IOLMaster toma tres medidas de la curvatura corneal, dando el valor medio, el cual es utilizado por el software del aparato para el cálculo de la Profundidad de la Cámara Anterior.

La Profundidad de la Cámara Anterior la mide como la distancia entre el epitelio corneal y la parte más convexa de la cara anterior del cristalino. El IOLMaster toma cinco medidas de la PCA de forma automática y el software del

aparato descarta automáticamente los valores extremos mediante un algoritmo personalizado.⁷⁵

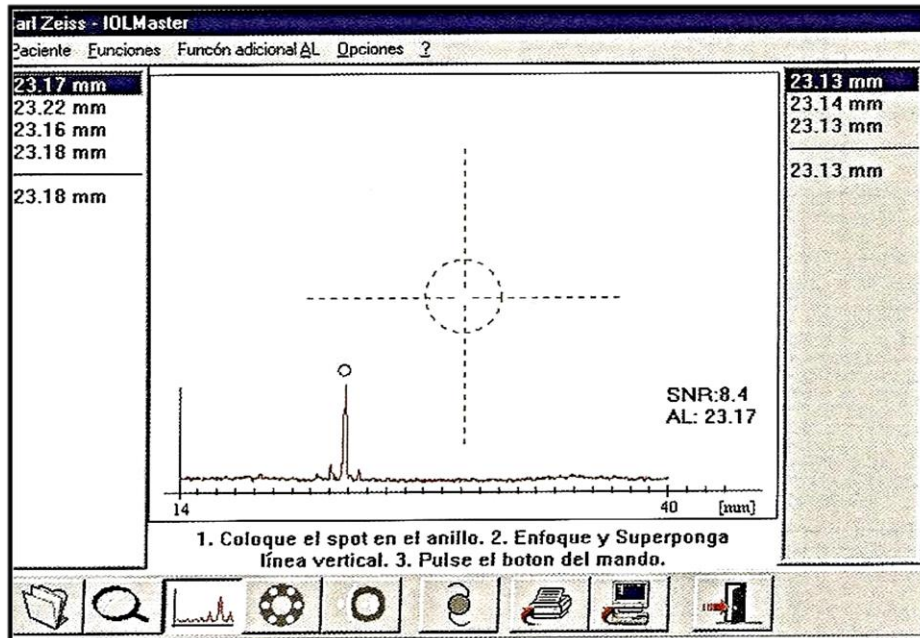


Figura 31.- Imagen de una lectura de Longitud Axial en la pantalla del IOLMaster.

4.9.3.- Exploración con OCT

4.9.3.1.- Exploración con OCT de segmento posterior

La exploración con OCT se efectuó con el Cirrus OCT™ (Carl Zeiss, Meditec, Inc. Software Versión 5.0.0.326). Se utilizaron como criterios de calidad de la exploración,^{139,140} un valor mínimo de intensidad de la señal, (que indica la calidad de la imagen obtenida) que no debe ser menor de 7 y cuyo valor máximo es 10, y además, la diferencia entre un ojo y otro no debe ser mayor de 2. El disco óptico, mácula y círculo de escaneo deben ser visibles en la imagen de fondo de ojo, adecuada visualización de la CFN y área macular sin alteraciones ni artefactos en su morfología.

Para la adquisición de imágenes se utilizó el protocolo “200x200 Cube Optic Disc”, ya descrito en Capítulo Introducción, punto 1.5.3.- Tomografía de Coherencia Óptica del segmento posterior, subpunto 1.5.3.1.- Adquisición y análisis de imágenes del espesor de la CFNR y 1.5.3.2.- Análisis de la topografía del nervio óptico por Cirrus HD-OCT

La hoja de resultados queda reflejada en la Figura 32.

Los parámetros de OCT registrados en la hoja de resultado son:

- Espesor medio de la CFNR
- Espesor medio de cada uno de los cuadrantes de la CFNR
 - Superior (46-135 grados)
 - Nasal (136-225 grados)
 - Inferior (226-315 grados)
 - Temporal (316-45 grados)
- Calidad de la señal de la exploración

El protocolo utiliza un código cromático para indicar los percentiles de distribución normal (Figura 33 a). Entre las personas de la misma edad en la población normal, los percentiles se aplican a cada medición de grosor de la CFN de la siguiente manera:

- Las áreas en rojo se consideran por debajo de los límites normales (menos del 1% de personas sin patología del nervio óptico presentan medidas de CFN menores).
- Las áreas en amarillo se consideran sospechosas de estar por debajo de los límites normales (menos del 5 % de personas sin patología del nervio óptico presentan medidas de CFN menores).
- Las áreas en verde se consideran normales.
- Las áreas en blanco se consideran por encima de los límites normales (menos del 5 % de personas sin patología del nervio óptico presentan medidas de CFN mayores).

En los pacientes evaluados en este trabajo, no aparece el código cromático (Figura 33 b), debido a que todos son menores de 18 años, no existiendo una base normativa para este grupo de edad.

En nuestro estudio se procedió al análisis estadístico del Espesor medio de la CFNR, debido a que todos eran sujetos normales y sanos.

Los parámetros de la Cabeza del Nervio Óptico se obtuvieron mediante el protocolo de análisis "Optic Nerve Head". Antes de aceptar estos valores, se comprobó de nuevo que el software hubiese identificado de forma correcta los límites del nervio óptico, modificándolos manualmente cuando fue necesario. El protocolo de análisis "Optic Nerve Head" busca el límite de la capa epitelio pigmentario de la retina/coriocapilar y coloca el margen del disco en sus extremos. Conecta los dos extremos del epitelio pigmentario/coriocapilar con una línea recta y dibuja una segunda línea paralela y 150 μm anterior a la primera. Las estructuras por debajo de esta línea se consideran la excavación del nervio óptico y las estructuras por encima, el anillo neuroretiniano.

En el análisis de la CNO, el aparato proporciona los valores de:

- 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)

Los valores recogidos para el estudio de los que proporciona el análisis de la CNO fueron:

- Área del anillo (Rim Area)
- Área del disco (Disc Area)
- Media de la relación C/D (Average C/D Ratio)

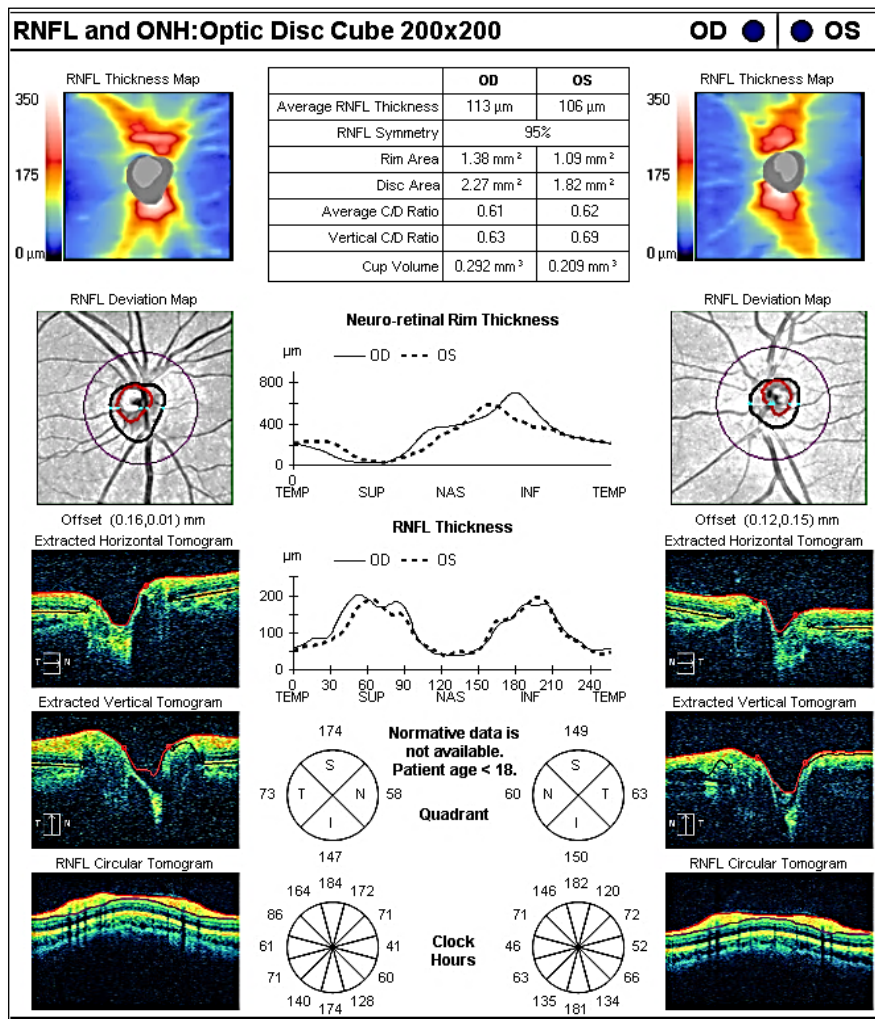


Figura 32.- Hoja de resultados con CirrusTM HD-OCT (Carl Zeiss, Meditec, Inc.)
 La imagen corresponde a una niña miope de 10 años, de los sujetos sometidos a estudio.

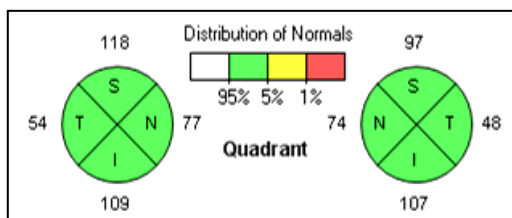


Figura 33 a.- Espesor medio de la CFNR por cuadrantes.

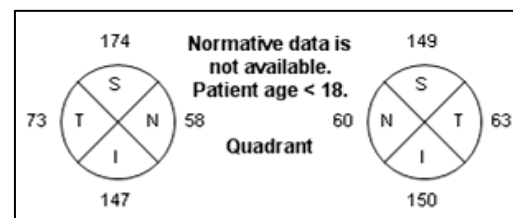


Figura 33 b.- Espesor medio de la CFNR por cuadrantes en el examen de un menor de 18 años.

4.9.3.2.- Exploración con OCT de Segmento Anterior

La medida de la profundidad de cámara anterior (PCA) se tomó con el Visante™ OCT (Carl Zeiss Meditec Inc, Dublin, CA Software Version 3.0.1.8) utilizando el protocolo de medida de la Profundidad de Cámara Anterior (Enhanced Anterior Segment Single, 6mm profundidad-16mm ancho con 256 escaneos-A por línea), que nos mide la profundidad de la cámara anterior desde el endotelio corneal hasta la parte más convexa de la cara anterior del cristalino, el grosor corneal y la distancia entre ángulos o diámetro de iris visible. (Figura 28, descrito en el Capítulo Introducción, punto 1.5.4.- Tomografía de Coherencia Óptica de Segmento Anterior).

Para la adquisición de tomografías, los sujetos deben mirar a una tarjeta de fijación interna y la imagen tiene que estar centrada en el centro de la pupila, en el momento en que el reflejo corneal se perciba como una línea blanca vertical a lo largo del centro de la córnea, se realizan las medidas. Las imágenes consideradas como aceptables fueron las que se veía una buena demarcación entre los límites de la cara anterior y posterior de la córnea y aquellas en las que no había artefactos debido al movimiento de los ojos o al parpadeo.^{124,125}

Los parámetros incluidos en el trabajo para su análisis fueron:

- Medida del Espesor Corneal Central (Pachymetry Map)
- Medida de la Profundidad de Cámara Anterior (Enhanced Anterior Segment Single)

La medida del Espesor Corneal Central se tomó con Visante™ OCT, debido a la alta reproducibilidad de esta técnica,¹²⁵ la correlación con la paquimetría ultrasónica,^{124,125} la rapidez y el no contacto, características fundamentales al tratarse de una población infantil.

4.10.- 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 realizado para todos los datos obtenidos y para cada uno de los grupos formados.

4.10.1.- Estadística descriptiva

La estadística descriptiva incluye el cálculo de la media, error estándar, desviación estándar y rango (máximo / mínimo). Los parámetros cuantitativos se expresan por el valor de la media \pm la desviación estándar en ocasiones seguida del rango.

Se realizó el cálculo del valor medio, desviación estándar y rango para cada una de las variables medidas.

4.10.2.- Estadística analítica

En primer lugar, se aplicó el análisis de Kolmogorov-Smirnov, para comprobar que los datos de la muestra seguían una distribución normal. Mediante dicho análisis se considera la hipótesis nula (H_0) por la que la distribución de la variable es normal, y por tanto la p debería ser mayor de 0.05 (por norma general el nivel es 0.05 o 0.01, en este trabajo se ha determinado 0.05). Si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula (H_0), aceptando la hipótesis alternativa (H_1), y se considera que la distribución no se ajusta a la normalidad.

Todos los parámetros evaluados siguieron una distribución normal, por lo que en todos los casos se aplicaron pruebas paramétricas.

4.10.2.1.- Correlación entre parámetros

Una vez que se demostró que las variables analizadas seguían una distribución normal, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson.

El análisis de correlación calcula la relación lineal existente entre dos variables, en lo que se refiere a la intensidad y sentido (positivo y negativo). Dos variables pueden estar perfectamente relacionadas, pero si la relación no es lineal, el coeficiente de correlación no es un estadístico adecuado para medir su asociación.

El coeficiente de Pearson para variables cuantitativas, es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente.

El cálculo del coeficiente de correlación de Pearson se ha utilizado para el análisis de la relación existente entre los diferentes parámetros medidos, considerando este valor estadísticamente significativo para un valor de p inferior a 0.05.

4.10.2.2.- Prueba T de student

La prueba t de Student se utiliza para la estimación de medias y proporciones en variables cuantitativas y para la comparación de medias y proporciones en distintas poblaciones.

Se aplicó la prueba t -student para muestras independientes para valorar la existencia de diferencias significativas entre ambos sexos en todos los parámetros evaluados, así como entre ambos ojos.

4.10.2.3.- ANOVA (análisis de varianza)

El análisis de varianza se utiliza para contrastar la hipótesis de que varias medias son iguales. Esta técnica es una extensión de la prueba t para dos muestras. Además de determinar que existen diferencias entre las medias, es

posible que se desee saber qué medias difieren. Existen dos tipos de contrastes para comparar medias: a priori y post hoc.

Los contrastes a priori se plantean antes de ejecutar el experimento y los contrastes post hoc se realizan después de haber llevado a cabo el experimento. También puede contrastar las tendencias existentes a través de las categorías.

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 del 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, aplicando la prueba de la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD Tukey).

4.10.2.4.- Análisis de regresión lineal

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables cuantitativas. Tanto en el caso de dos variables (regresión simple) como en el de más de dos variables (regresión múltiple), el análisis regresión lineal puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente o criterio (**Y**) y una o más variables llamadas independientes o predictoras (**X₁, X₂,.....X_n**), así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos.

Análisis de regresión lineal múltiple

Un modelo de regresión lineal múltiple se representa mediante la ecuación:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n$$

Donde “**Y**” es la variable dependiente y “**X**” es la variable independiente. Cada variable independiente **X_i** tiene un coeficiente de regresión o pendiente

propia B_i . Este coeficiente se interpretará como el cambio en la variable dependiente (“Y”), por unidad de cambio en cada variable independiente (X_1, X_2, X_n) a igualdad de nivel de las otras variables independientes. Además la ecuación incluye una constante (B_0).

Se realizó el análisis de regresión lineal múltiple, método pasos sucesivos (Stepwise) para examinar y cuantificar la relación entre las propiedades biomecánicas corneales (variables dependientes) y las variables independientes o explicativas (LA, PCA, Km, ECC, Rx y edad).

Se hizo el mismo análisis para los parámetros del segmento posterior y valorar la influencia de la biomecánica corneal en los parámetros del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas de la retina. Se tomaron como variables dependientes: espesor medio de la CFNR, Área del anillo, Área del disco y Media de la relación C/D y como variables independientes: CH, CRF, PIOg, PIOcc, LA, ECC, Rx y edad.

5.- RESULTADOS

5. RESULTADOS

En el presente trabajo se evaluaron 293 ojos de 293 sujetos, con edades comprendidas entre los 6 y 17 años, los cuales se dividieron en grupos, en función de la ametropía, tal y como se detalla en el Capítulo 4, Material y métodos, punto 4.- Diseño del estudio.

En este capítulo vamos a analizar los resultados obtenidos en cada uno de los grupos evaluados, a su vez, divididos en subgrupos según la edad y la ametropía.

En la Tabla 8 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, 9.2.1.- Relación de parámetros utilizados, unidades de medida y abreviaturas), 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.

5.1.- EMÉTROPESES

En el grupo de emétopes estudiados, se incluyeron 99 ojos de 99 niños (45 niños y 54 niñas) de los 101 iniciales, los excluidos fueron debido a la mala colaboración de los pacientes. Todos ellos cumplían los criterios de inclusión descritos en el Capítulo de material y métodos, punto 4.4.- Criterios de inclusión.

La media (\pm DE) de la CH y la CRF para el grupo de emétopes fue de 12.56 ± 1.68 y 12.63 ± 1.91 respectivamente (Tabla 9).

En la Tabla 9 quedan reflejados los valores medios, desviación estándar y rango de todas las medidas realizadas en el grupo de emétopes, con la finalidad de establecer una base de datos normalizada para el grupo de edad comprendido entre los 6-17 años.

Según el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S), obtenemos una distribución normal de todos los parámetros evaluados, así pues, se aplicaron pruebas paramétricas en el análisis estadístico de los datos.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos sexos en ninguno de los parámetros evaluados ($p > 0.05$ para todos los parámetros). Tampoco se encontraron diferencias estadísticamente significativas 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, sólo se incluyó el ojo derecho de cada sujeto.

	6-17 años (n=99)			
	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 CFNR (μm)	100.39	11.31	82.00	131.00
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

Tabla 9.- Valores promedio, desviación estándar y rango de todos los parámetros evaluados en emétopes (OD).

En la Tabla 10 se muestran los valores promedio y su desviación estándar de todos los parámetros que se utilizaron para el análisis estadístico, del total de sujetos, así como por grupos en función de la edad, de 6 a 10 años, ya que es en esta etapa, según varios autores, cuando se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular.^{6,7} El siguiente grupo de edad sería el correspondiente a la preadolescencia, de 11 a 13 años y el grupo de adolescentes de 14 a 17 años, tal como se ha descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad.

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre los tres grupos de edad.

	6-17 años (n=99)	6-10 años (n=42)	11-13 años (n=35)	14-17 años (n=22)	p-valor (ANOVA)
	media±DE	media±DE	media±DE	media±DE	
Edad (años)	11.28±2.97	8.58±1.15	11.60±0.88	15.55±1.58	<0.0001*
Longitud axial (mm)	23.12±0.79	22.95±0.76	23.26±0.90	23.20±0.63	0.20
PCA (mm)	3.13±0.24	3.15±0.28	3.12±0.24	3.12±0.21	0.88
Km (D)	43.63±1.57	43.79±1.22	43.31±2.11	43.80±1.13	0.34
PIOcc (mmHg)	14.71±3.22	15.13±3.11	14.89±3.56	13.72±2.78	0.21
PIOg (mmHg)	16.74±3.40	17.17±3.57	16.94±3.49	15.68±2.81	0.21
CRF (mmHg)	12.63±1.91	12.77±1.95	12.72±1.87	12.28±1.92	0.60
CH (mmHg)	12.56±1.68	12.55±1.57	12.59±1.77	12.54±1.79	0.94
Espesor corneal central (µm)	543.85±35.65	543.37±37.91	540.67±36.08	549.12±31.80	0.67
Espesor medio CFNR (µm)	100.39±11.31	100.37±10.54	98.91±12.11	102.50±11.48	0.47
Área del anillo (mm ²)	1.67±0.34	1.62±0.32	1.71±0.40	1.68±0.29	0.49
Area del disco (mm ²)	2.08±0.46	2.10±0.46	2.14±0.48	1.94±0.39	0.82
Media de la relación C/D	0.38±0.17	0.39±0.18	0.39±0.14	0.35±0.29	0.63

Tabla 10.- Valores promedio y desviación estándar del OD todos los parámetros que se incluyeron para el análisis estadístico. Valores del total de sujetos emétopes y por grupos de edad.

*significancia estadística (ANOVA)

5.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétropes

En emétropes, se obtuvo una fuerte correlación positiva entre la CH y el CRF (coeficiente de correlación de Pearson $r=0.84$) (Figura 34) y la relación estadísticamente significativa ($p<0.0001$). CH se correlacionó negativamente con PIOcc ($r=-0.41$, $p<0.0001$) y contrariamente CRF positivamente con PIOg ($r=0.66$, $p<0.0001$).

El ECC correlacionó significativamente con la mayoría de las medidas del ORA (PIOg, CH y CRF), excepto con la PIOcc.

No se obtuvieron correlaciones significativas de las propiedades biomecánicas corneales con la LA (Figura 35), la PCA o la edad.

Sin embargo, se encontró una débil correlación positiva estadísticamente significativa del ECC con la LA ($r=0.24$, $p=0.02$), es decir, que longitudes axiales más largas se corresponden con corneas más gruesas.

Los resultados estadísticos del segmento anterior están reflejados en la Tabla 11 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.2.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétropes).

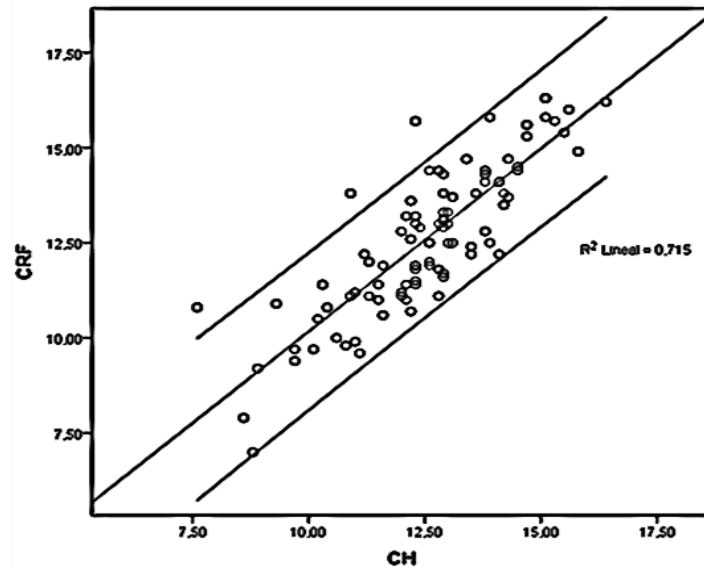


Figura 34.- Correlación CH (mmHg) - CRF (mmHg)

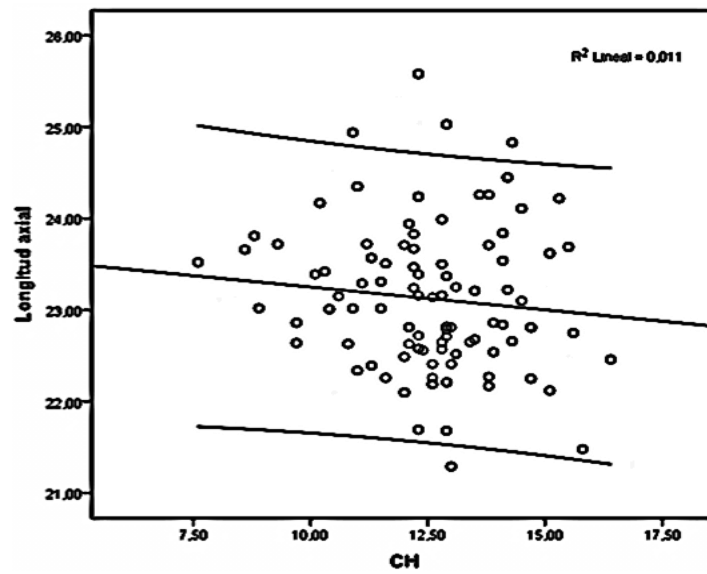


Figura 35.- Correlación CH (mmHg) - LA (mm)

5.1.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétopes divididos por grupos de edad

Se realizó el mismo análisis estadístico dividiendo a los sujetos emétopes por grupos en función de la edad, de 6 a 10 años, ya que es en esta etapa, según varios autores, cuando se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular.^{6,7} El siguiente grupo de edad sería el correspondiente a la preadolescencia, de 11 a 13 años y el grupo de adolescentes de 14 a 17 años, tal como se ha descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad.

En el grupo de niños emétopes más pequeños se obtuvo una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.85$, $p<0.0001$). No se encontraron relaciones significativas entre las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF) y la LA, sin embargo, en este grupo la PIO (PIOg y PIOcc), aumentó con el incremento de la LA, siendo las correlaciones positivas ($r=0.33$, $p=0.03$ y $r=0.34$, $p=0.03$ respectivamente). Igual que en el total del grupo de emétopes, el CRF correlacionó positivamente con la PIOg ($r=0.74$, $p<0.0001$). La edad no influyó en las propiedades biomecánicas, ni en las medidas de la PIO.

En niños emétopes de 11 a 13 años CH y CRF también correlacionaron significativamente ($r=0.82$, $p<0.0001$). Igual que en el grupo anterior, no se encontraron relaciones significativas entre las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF) y la LA, ni entre ésta y la PIO (PIOg y PIOcc). Igual que en el grupo anterior la edad ni influyó ni en las propiedades biomecánicas ni en las medidas de la PIO.

En niños emétopes de 14 a 17 años, igual que en los demás grupos, CH y CRF correlacionaron significativamente ($r=0.9$, $p<0.0001$), pero no se encontraron relaciones significativas entre las medidas del ORA (CH, CRF, PIOg y PIOcc) y la LA, ni entre las medidas del ORA y la edad.

5.1.2.- Comparación de la biomecánica corneal por grupos de edad en emétopes

Se dividió a los sujetos en tres grupos de edad, de 6-10 (grupo en el que se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular^{6,7}), preadolescentes de 11 a 13 años y adolescentes de 14 a 17 años (descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad) y se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia de la edad en las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF).

La comparación entre grupos se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey. En emétopes, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos de edad y las propiedades biomecánicas corneales CH ($p=0.94$) (Figura 36) y CRF ($p=0.60$) (Figura 37).

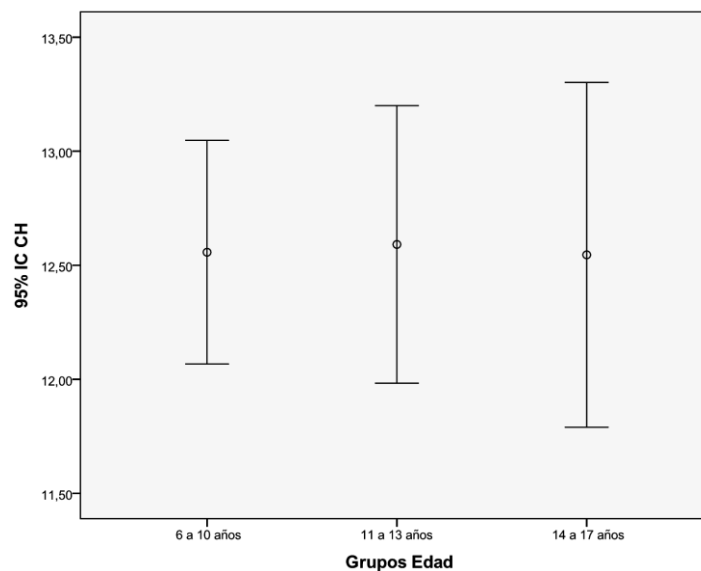


Figura 36.- Comparación de la CH (mmHg) entre los grupos de edad

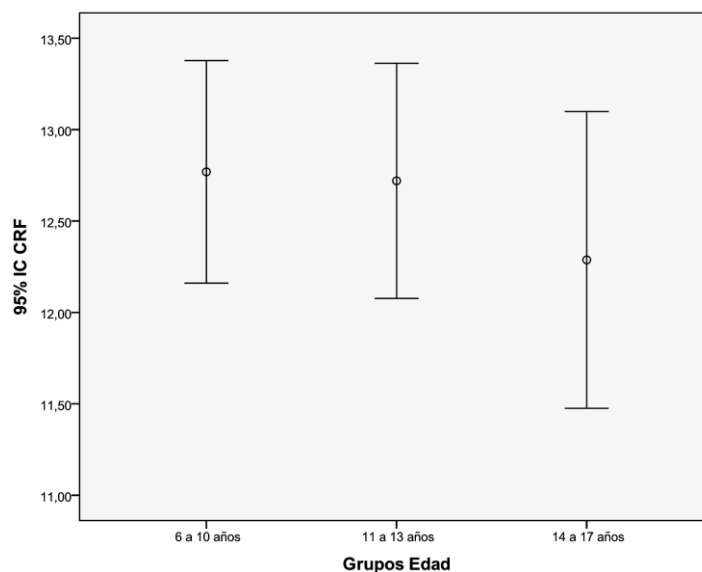


Figura 37.- Comparación del CRF (mmHg) entre los grupos de edad

5.1.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes

Se realizó el análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), para valorar la posible influencia de los parámetros biométricos oculares en las propiedades biomecánicas corneales. Primeramente se tomó como variable dependiente la histéresis corneal (CH) y como variables independientes, longitud axial (LA), edad, curvatura corneal media (Km), profundidad de cámara anterior (PCA) y espesor corneal central (ECC).

Se obtuvo que las variables ECC y Km fueron pronosticadoras de la CH, las cuales consiguen explicar un 27.5% la variabilidad observada en CH.

El modelo mostró que cuando las demás variables pronosticadoras se mantuvieron constantes, el ECC contribuye a explicar en un 18.8% la variabilidad en la CH que se incrementó en un 8.7% con la inclusión de la Km en el modelo (Tabla 12, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.3.- Tablas del

análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para una disminución de 100µm en el ECC, la CH disminuirá en 2.4 mmHg y por cada 1.00 D de disminución en la potencia dióptrica corneal media, la CH disminuirá en 0.33 mmHg. (Tabla 13, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.3.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes)

Este mismo modelo de regresión lineal múltiple se construyó por grupos de edad, se dividió a los sujetos en tres grupos de edad, tal y como se ha descrito anteriormente, en grupos de 6 a 10, preadolescentes de 11 a 13 y adolescentes de 14 a 17 años.

En el grupo de 6 a 10 años, para la CH resultó ser influyente el ECC, el cual influyó en un 21% ($p=0.003$) resultando que cuando el ECC disminuya 100 µm, se producirá una disminución de 1.90 mmHg en el CH.

En el grupo de 11-13 años, ninguna de las variables fue influyente en las medidas de la CH.

En el siguiente grupo, de 14-17 años, también fue el ECC la variable más influyente, en un 31.1% ($p=0.006$), con lo que, cuando el ECC disminuya en 100 µm, la CH disminuirá en 3.10 mmHg.

Se hizo el mismo modelo de regresión múltiple que para la CH, pero como variable dependiente se tomó la CRF y las mismas variables independientes.

ECC y Km fueron pronosticadoras para la CRF, las cuales consiguen explicar un 29.5% la variabilidad observada en CRF. Igualmente que con la CH, los resultados indican que el ECC ($p<0.001$) y la Km ($p=0.017$) fueron asociadas significativamente con el CRF. El modelo explicó que el ECC, representó el 25.1% de la variabilidad en el CRF que se incrementó en un 4.5% con la inclusión de la Km (Tabla 14, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.3.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes). Los resultados indican que si las demás variables permanecen constantes, por cada 100 µm de incremento en el ECC, el CRF aumentará en

3.00 mmHg y para un aumento de 1.00 D en la potencia dióptrica corneal media, la CRF se incrementará en 0.26 mmHg. (Tabla 15, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.3.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes)

Se dividió a los sujetos por grupos en función de la edad, para la variable CRF, en el grupo de 6 a 10 años, resultó ser influyente el ECC, en un 30.7% ($p < 0.0001$) resultando que cuando el ECC disminuya 100 μm , se producirá una disminución de 2.90 mmHg en el CH.

En el grupo de 11-13 años, las variables ECC en un 18.7% ($p = 0.012$) y Km en un 10.4% ($p = 0.044$) fueron influyentes en el CRF. Según los resultados, tenemos que cuando el ECC disminuya en 100 μm , el CRF disminuirá en 3.20 mmHg y para una disminución de 1.00 D en Km, el CRF disminuirá en 0.33 mmHg.

En el siguiente grupo, de 14-17 años, el ECC fue la variable más influyente, en un 31% ($p = 0.006$), con lo que, cuando el ECC disminuya en 100 μm , el CRF disminuirá en 3.40 mmHg.

5.1.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes.

En la Tabla 16 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.4.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes), se muestran las correlaciones del espesor medio de la capa de fibras nerviosas (CFNR) de la retina, el Área del anillo y la Media de la Relación C/D con las propiedades biomecánicas corneales y parámetros biométricos oculares en sujetos emétopes.

En este grupo de sujetos, se encontró una correlación inversa entre el espesor medio de la capa de fibras nerviosas de la retina y la LA ($r=-0.21$, $p=0.04$) (Figura 38) y entre el área del anillo y la LA ($r=-0.36$, $p<0.0001$). También se encontró correlación entre la Media de la Relación C/D y la LA, positiva y estadísticamente significativa ($r=0.31$, $p=0.002$).

No se encontraron correlaciones significativas entre las propiedades biomecánicas (CH y CRF) y el espesor medio de la capa de fibras nerviosas de la retina (Figura 39), ni tampoco hubo correlación entre CH y CRF, con el Área del anillo, ni con la Media de la relación C/D. Solamente el CRF, correlacionó positivamente con el Área del disco. Así mismo, se encontraron correlaciones negativas entre la PIOcc y la PIOg y el espesor medio de la CFNR ($r=-0.24$, $p=0.01$ y $r=-0.24$, $p=0.01$ respectivamente).

Los demás resultados estadísticos del segmento posterior están reflejados en la Tabla 16 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.4.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes).

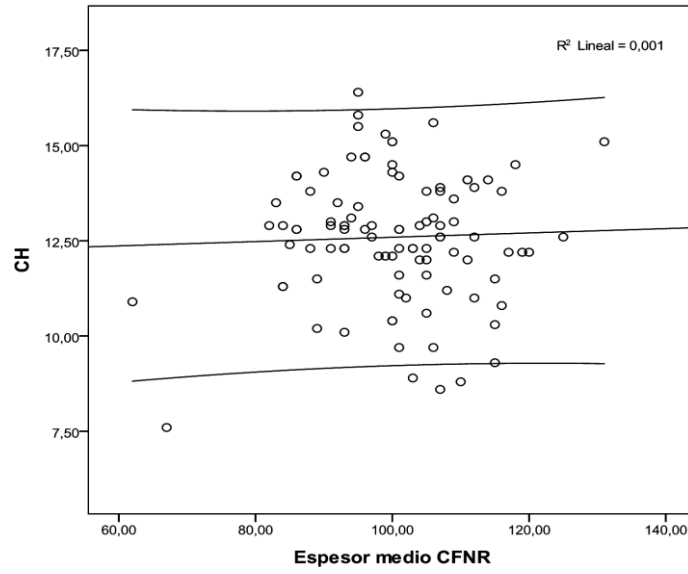


Figura 38.- Correlación CFNR (μm) - CH (mmHg)

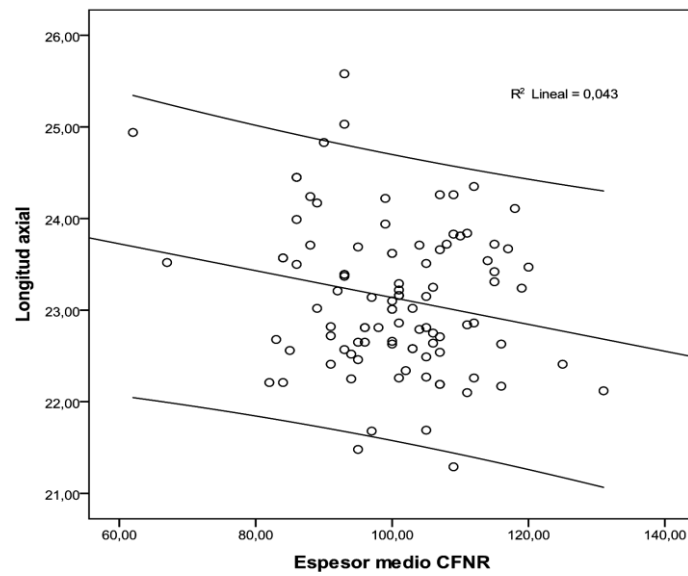


Figura 39.- Correlación CFNR (μm) - LA (mm)

5.1.4.1.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes divididos por grupos de edad.

Se realizó el mismo análisis estadístico para el segmento posterior, dividiendo a los niños emétopes por grupos de edad: de 6-10, de 11-13 y de 14-17 años (descrito anteriormente y según lo explicado en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad).

En el grupo de niños emétopes más pequeños no se encontraron correlaciones significativas entre las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF) y el espesor medio de la CFNR, ni entre los demás anatomía del nervio óptico. En este grupo el espesor de la CFNR decrece con el aumento de la PIO, siendo las correlaciones negativas entre la PIOg y el espesor de la CFNR ($r=-0.49$, $p=0.001$) y también entre la PIOcc y el espesor de la CFNR ($r=-0.55$, $p<0.0001$). El espesor de la CFNR decrece con el aumento de la LA ($r=-0.40$, $p=0.01$) y también el Área del anillo disminuye con el incremento de la LA ($r=-0.40$, $p=0.01$).

En el grupo de 11-13 años, no se encontraron correlaciones significativas entre el espesor medio de la CFNR y los parámetros del segmento anterior o las medidas del ORA, ni tampoco entre estos y los demás parámetros evaluados del segmento posterior.

Únicamente se encontró aumento Media de la relación C/D con el incremento de la LA ($r=0.4$, $p=0.01$), y disminución del Área del anillo en longitudes axiales mayores ($r=-0.5$, $p=0.003$)

En el grupo de niños emétopes más mayores (14-17 años), ni el espesor medio de la CFNR, ni los demás anatomía del nervio óptico, correlacionaron con las medidas del ORA (CH, CRF, PIOg y PIOcc), tampoco se encontraron correlaciones significativas entre la LA y los parámetros del segmento posterior, ni entre estos y la edad.

5.1.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos de edad en emétopes

Se dividió a los sujetos en tres grupos de edad, de 6-10, de 11-13 y de 14-17 años y se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia de la edad en los parámetros del segmento posterior.

La comparación entre grupos se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey. En el segmento posterior, tampoco se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos de edad en sujetos emétopes en ninguno de los parámetros evaluados, espesor medio de la CFNR ($p=0.47$) (Figura 40), Área del anillo ($p=0.49$) (Figura 41), Área del disco ($p=0.82$) (Figura 42) y Media de la relación C/D ($p=0.63$) (Figura 43).

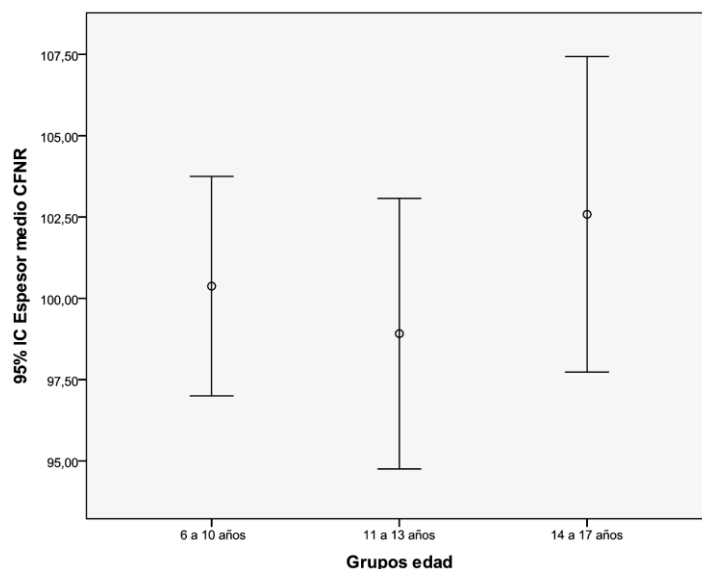


Figura 40.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre los grupos de edad en emétopes

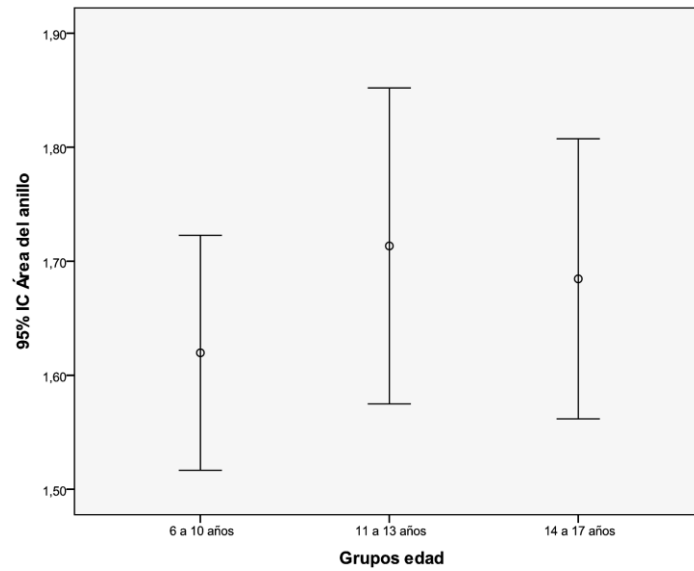


Figura 41.- Comparación del Área del anillo (mm²) entre los grupos de edad en emétopes

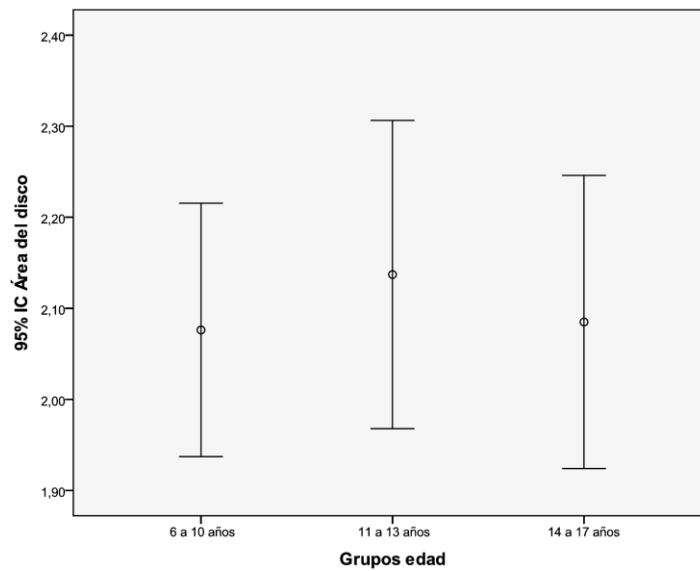


Figura 42.- Comparación del Área del disco (mm²) entre los grupos de edad en emétopes

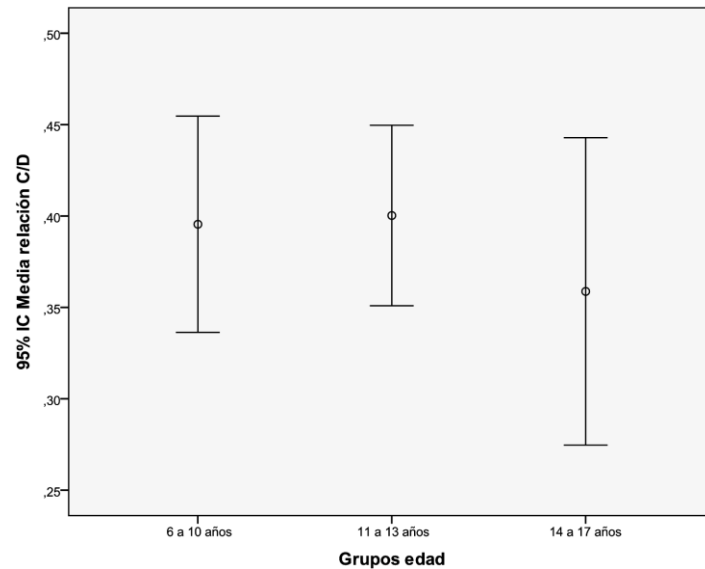


Figura 43.- Comparación de la Media de la relación C/D entre los grupos de edad en emétopes

5.1.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes

Se construyó el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), que para el segmento anterior, para valorar la posible influencia de la biomecánica corneal en el segmento posterior.

Como variable dependiente se tomó el espesor medio de la CFNR y como independientes: CH, CRF, PIOg, PIOcc, LA, ECC, y edad.

La variable PIOg fue pronosticadora para el espesor medio de la CFNR, la cual consigue explicar en un 5.6% la variabilidad observada el espesor medio de la CFNR (Tabla 17, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2 Tablas, subpunto 9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes). Así pues, según estos resultados cuando la PIOg aumente 1.00 mmHg, el espesor medio de la CFNR disminuirá 0.80 μm . (Tabla 18, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes).

Este mismo modelo de regresión lineal múltiple se construyó por grupos de edades en emétopes y únicamente en el grupo de 6 a 10 años, resultó ser influyente para el espesor medio de la CFNR, la PIOcc, la cual influyó en un 30.6% ($p < 0.0001$) resultando que cuando la PIOcc aumenta 1.00 mmHg en este grupo de edad, el espesor medio de la CFNR, disminuye aproximadamente 2.00 μm .

En el resto de grupos evaluados (11-13 y 14-17 años), ninguna de las variables fue influyente en el espesor medio de la CFNR.

Igualmente se construyó el mismo modelo de regresión lineal múltiple para la variable Área del anillo, con las mismas variables independientes que para el espesor medio de la CFNR, para evaluar que variables influyen en el Área del anillo, como resultado se obtuvo que la LA influyó en un 13.8% en el Área del anillo ($p < 0.0001$) (Tabla 19, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes), así pues cuando la LA aumente en 1.00 mm, el Área del anillo disminuirá 0.16 mm^2 (Tabla 20, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes).

Siguiendo este mismo modelo por grupos de edades, en el grupo de 6-10 años, para el Área del anillo, las variables LA en un 16.6% ($p = 0.01$) y la edad en un 9% ($p = 0.04$) fueron influyentes. Según los resultados, cuando se produzca un incremento de la LA de 1.00 mm, el Área del anillo, disminuirá 0.18 mm^2 , la edad fue menos influyente, así que en este grupo, por cada año más de edad, el Área del anillo, aumentará 0.08 mm^2 .

En el grupo de 11-13 años, fue variable pronosticadora la LA, la cual influyó en un 26.9% ($p = 0.002$), así que en este grupo, cuando aumente la LA 1.00 mm, se producirá una disminución del Área del anillo de 0.23 mm^2 .

En el grupo de 11-14 años, ninguna variable fue influyente en el Área del anillo, con lo que en función de los resultados obtenidos, se observa que la LA

fue influyente en el Área del anillo, en los grupos de edad de 6 a 10 y de 11 a 13 años.

Tomando como variable dependiente el Área del disco y como independientes las mismas que anteriormente, se construyó el mismo modelo de regresión lineal múltiple y se obtuvo como resultando que ninguna de las variables fue influyente en el Área del disco en niños emétopes.

Continuando con el mismo análisis por grupos de edad, en los grupos de 6-10 y de 11-13 años, ninguna variable fue influyente en el Área del disco.

En el grupo de 14-17 años, la PIOg en un 21% ($p=0.025$) fue influyente en el Área del disco, de forma que cuando la PIOg aumente 1.00 mmHg, se producirá un incremento de 0.06 mm² en el Área del disco.

Para la variable Media de la relación C/D, también se hizo el mismo análisis, con las mismas variables independientes que anteriormente y poder valorar la influencia de éstas variables sobre la Media de la relación C/D, resultando que la LA fue la única variable influyente en la Media de la relación C/D, en un 9.2% ($p=0.003$) (Tabla 21, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes), lo que resulta que cuando se produzca un incremento de 1mm en la LA, la Media de la relación C/D, aumentará en 0.06 (Tabla 22, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes).

Para la Media de la relación C/D, en el grupo de niños más pequeños (6-10 años), la LA fue influyente en un 11% ($p=0.039$), con lo que cuando la LA aumente 1.00 mm, la Media de la relación C/D, aumentará 0.08.

En el grupo de 11-13 años la variable influyente fue la LA en un 17% ($p=0.015$) resultando que para un aumento de 1.00 mm en la LA, la Media de la relación C/D aumentará 0.06.

Como anteriormente en el grupo de niños de 14-17 años, ninguna de las variables fue influyente en la Media de la relación C/D.

5.2.- MIOPESES

En el grupo de sujetos miopes, se incluyeron 100 ojos derechos de 100 sujetos (36 niños y 64 niñas).

La media (\pm DE) de la CH y la CRF para el grupo de miopes fue de 11.55 ± 1.45 (mmHg) y 11.93 ± 1.85 (mmHg) respectivamente. El resto de medidas realizadas en el grupo de miopes, están recogidas en la Tabla 23.

En la Tabla 23 se muestran los valores promedio y su desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos miopes, así como por grupos ametropía.

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre los tres grupos de ametropía.

	≥ -0.50 a $-6.00D$ (n=100)	≥ -0.50 a $-3.00D$ (n=59)	-3.25 a $-6.00D$ (n=24)	$> -6.00D$ (n=17)	p -valor (ANOVA)
	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	
Edad (años)	12.11 \pm 2.76	11.76 \pm 2.57	13.74 \pm 2.60	11.01 \pm 2.81	0.002*
Rx (D)	-3.32 \pm 2.32	-1.64 \pm 0.77	-4.56 \pm 0.78	-7.34 \pm 0.71	<0.0001*
Longitud axial (mm)	24.51 \pm 1.11	23.91 \pm 0.84	25.38 \pm 1.04	25.37 \pm 0.46	<0.0001*
PCA (mm)	3.36 \pm 0.22	3.31 \pm 0.24	3.52 \pm 0.13	3.31 \pm 0.15	<0.0001*
Km (D)	44.03 \pm 1.17	43.79 \pm 1.21	44.14 \pm 1.21	44.71 \pm 0.50	0.14
PIOcc (mmHg)	15.75 \pm 3.52	15.18 \pm 2.95	15.95 \pm 3.95	17.40 \pm 4.28	0.06
PIOg (mmHg)	16.79 \pm 3.67	16.33 \pm 3.04	17.05 \pm 3.96	17.99 \pm 4.97	0.24
CRF (mmHg)	11.93 \pm 1.85	11.91 \pm 1.76	11.94 \pm 1.64	11.97 \pm 2.44	0.93
CH (mmHg)	11.55 \pm 1.45	11.68 \pm 1.45	11.51 \pm 1.34	11.17 \pm 1.61	0.43
Espesor corneal central (μ m)	543.02 \pm 45.37	535.76 \pm 40.48	536.25 \pm 35.70	577.76 \pm 58.50	0.002*
Espesor medio CFNR (μ m)	95.20 \pm 10.04	97.76 \pm 9.89	94.62 \pm 9.05	87.12 \pm 7.56	<0.0001*
Área del anillo (mm ²)	1.58 \pm 0.28	1.63 \pm 0.30	1.51 \pm 0.25	1.49 \pm 1.76	0.07
Área del disco (mm ²)	1.85 \pm 0.34	1.91 \pm 0.33	1.76 \pm 0.32	1.76 \pm 0.37	0.21
Media de la relación C/D	0.32 \pm 0.19	0.32 \pm 0.21	0.30 \pm 0.18	0.36 \pm 0.08	0.70

Tabla 23.- Valores promedio y desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos miopes. Valores del total de sujetos miopes y por grupos de ametropía.

*significancia estadística (ANOVA)

La Tabla 24 muestra los sujetos miopes divididos por grupos de edad, de 6 a 10 años (etapa en la que, según varios autores, se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular).^{6,7} El siguiente grupo de edad sería el correspondiente a la preadolescencia, de 11 a 13 años y el grupo de adolescentes de 14 a 17 años (descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad).

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre los tres grupos de edad.

	6-10 años n=18)	11-13 años (n=46)	14-17 años (n=36)	p -valor (ANOVA)
	media±DE	media±DE	media±DE	
Edad (años)	8.01±1.38	11.39±0.89	15.07±1.16	<0.0001*
Rx (D)	-3.18±3.04	-3.05±2.26	-3.72±1.98	0.43
Longitud axial (mm)	23.78±1.26	24.53±0.98	24.84±1.04	0.003*
PCA (mm)	3.17±0.23	3.38±0.21	3.42±0.18	<0.0001*
Km (mm)	43.87±1.22	44.20±1.01	43.89±1.31	0.42
PIOcc (mmHg)	17.12±3.55	16.07±3.60	14.65±3.14	0.03*
PIOg (mmHg)	17.76±3.86	17.63±3.81	15.22±2.85	0.005*
CRF (mmHg)	11.82±2.05	12.56±1.82	11.19±1.50	0.003*
CH (mmHg)	11.26±1.48	11.88±1.45	11.27±1.38	0.11
Espesor corneal central (µm)	556.22±61.53	557.06±45.32	518.47±19.37	<0.0001*
Espesor medio CFNR (µm)	96.39±7.86	94.97±10.40	94.88±10.72	0.85
Área del anillo (mm²)	1.62±0.19	1.59±0.27	1.55±0.32	0.70
Area del disco (mm²)	1.80±0.34	1.84±0.35	1.88±0.32	0.70
Media de la relación C/D	0.29±0.26	0.29±0.17	0.36±0.16	0.21

Tabla 24.- Valores promedio y desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos miopes por grupos de edad.

*significancia estadística (ANOVA)

5.2.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes

Entre el grupo de miopes, también se encontró una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.76$, $p<0.0001$) (Figura 44). Así mismo, el ECC correlacionó positivamente con todas las medidas del ORA (CH, CRF, PIOg y PIOcc).

La CH correlacionó negativamente con la PIOcc ($r=-0.39$, $p=0.005$). La correlación entre CRF y PIOg fue positiva ($r=0.67$, $p<0.0001$).

No se encontró correlación entre el error refractivo y las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF), ni tampoco entre el error refractivo y las medidas de la PIO (PIOcc y PIOg). Entre el error refractivo y LA, la correlación fue fuerte y positiva ($r=0.66$, $p<0.0001$) y entre el ECC y el error refractivo, la correlación fue más débil y positiva ($r=0.27$, $p=0.03$).

No se obtuvieron correlaciones significativas de las propiedades biomecánicas corneales con la LA (Figura 45), la PCA o la edad. Sin embargo, se encontró una débil correlación positiva estadísticamente significativa del ECC con la LA ($r=0.23$, $p=0.02$), es decir, que longitudes axiales más largas se corresponden con corneas más gruesas, igual que sucede en el grupo de emétropes.

Los resultados estadísticos del segmento anterior en sujetos miopes, están reflejados en la Tabla 25 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.6.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes).

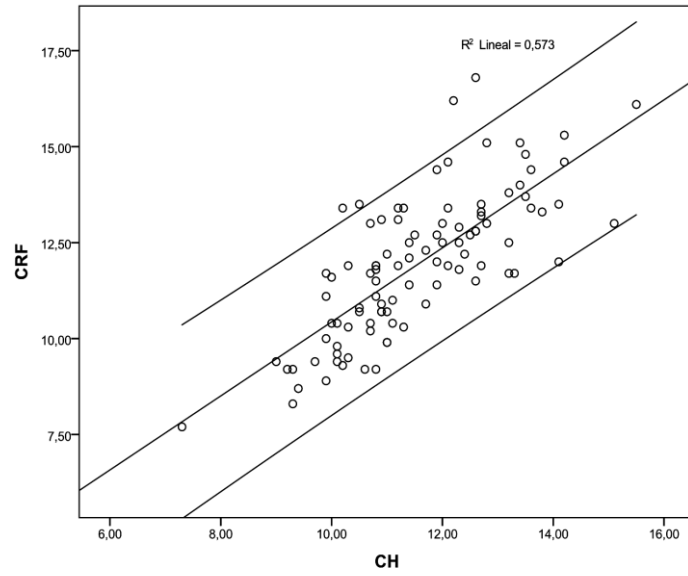


Figura 44.- Correlación CH (mmHg) - CRF (mmHg)

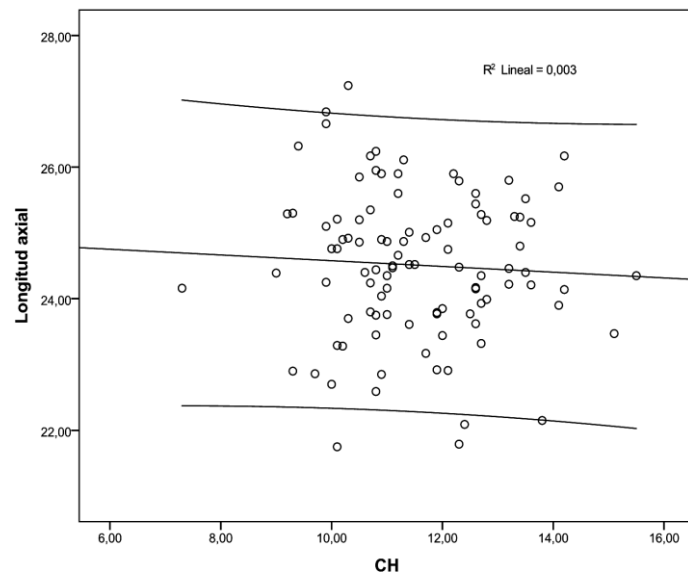


Figura 45.- Correlación CH (mmHg) - LA (mm)

5.2.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías

Se realizó el mismo análisis estadístico dividiendo a los sujetos miopes por grupos: miopes bajos (de ≥ -0.50 a -3.00 D), medios (de -3.25 a -6.00 D) y altos (≥ -6.00 D). El número de sujetos correspondiente a cada subgrupo, está especificado en la Tabla 23.

En el grupo de miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00 D), igual que para el total del grupo de miopes, también se obtuvo una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.65$, $p<0.0001$). En este grupo de miopes bajos, el ECC correlacionó positivamente con todas las medidas del ORA (CH, CRF y PIOg) excepto con la PIOcc. En este grupo hay que resaltar la correlación negativa entre la CH y Rx ($r=-0.26$, $p=0.04$), y positiva entre la edad y Rx ($r=0.40$, $p=0.002$). En el resto de parámetros evaluados se encontraron correlaciones similares en el segmento anterior al total del grupo de miopes. (Tabla 26, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.7.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías).

En el grupo de miopes medios (de -3.25 a -6.00 D), también se encontró fuerte correlación positiva entre la CH y CRF ($r=0.70$, $p<0.0001$). El ECC no correlacionó con la CH, siendo positiva la correlación entre este y las demás medidas del ORA (CRF, PIOg y PIOcc). No se encontró correlación entre el error refractivo y las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF), ni tampoco entre el error refractivo y las medidas de la PIO (PIOcc y PIOg).

También se encontró en este grupo de miopes medios, una correlación positiva entre la edad y el Rx ($r=0.41$, $p=0.04$), no siendo así en el total del grupo de miopes. En este grupo se encontró disminución del CRF con el aumento de la edad ($r=-0.66$, $p<0.0001$), no encontrando esta relación con la CH. (Tabla 27, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.7.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías).

En cuanto a los miopes altos (>-6.00 D), se encontraron las mismas correlaciones que en los grupos anteriores en cuanto a la CH y CRF. El ECC correlacionó positivamente con las medidas del ORA, excepto con la CH.

Cabe resaltar la correlación negativa y estadísticamente significativa entre la CH y la LA ($r=-0.60$, $p=0.01$) en este grupo de miopes altos, esta correlación no se verificó entre la CH y Rx. No se encontró correlación entre el Rx y la LA, posiblemente debido al corto rango de LA (25.37 ± 0.46) y al rango corto de error refractivo (Rx = -7.34 ± 0.71) en este grupo de sujetos y al tamaño de la muestra ($n=17$). Esta correlación entre LA y Rx, se verificó en todos los demás grupos de sujetos miopes. (Tabla 28, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.7.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías).

5.2.1.2.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos en grupos de edad

Se realizó el mismo análisis estadístico dividiendo a los sujetos miopes por grupos de edad, de 6 a 10 años (etapa en la que, según varios autores, se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular),^{6,7} preadolescentes, de 11 a 13 años y el grupo de adolescentes de 14 a 17 años (descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad). El número de sujetos correspondiente a cada subgrupo, está especificado en la Tabla 24.

En el grupo de niños miopes más pequeños se obtuvo una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.81$, $p<0.0001$). No se encontraron relaciones significativas entre las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF) y la LA o el error refractivo, sin embargo se observa una correlación positiva y significativa entre la PIO (PIOg y PIOcc) y la LA ($r=0.68$, $p=0.002$ y $r=0.77$, $p<0.0001$ respectivamente). La PIO también aumentó con el incremento del error refractivo, siendo las correlaciones significativas entre la PIOg y Rx ($r=0.50$, $p=0.03$) y entre la PIOcc y Rx ($r=0.77$, $p<0.0001$). El ECC aumentó con el aumento de la LA ($r=0.61$, $p=0.007$) y también aumenta a medida que aumenta el

error refractivo en este grupo de edad ($r=0.72$, $p=0.001$). (Tabla 29, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.8.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de edad).

En niños miopes de 11 a 13 años CH y CRF también correlacionaron significativamente ($r=0.71$, $p<0.0001$). Igual que en el grupo anterior, no se encontraron relaciones significativas entre las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF) y la LA o el error refractivo e igualmente, se encuentra una correlación positiva y significativa entre la PIO (PIOg y PIOcc) y la LA ($r=0.31$, $p=0.03$ y $r=0.33$, $p=0.02$ respectivamente) y contrariamente no se encontró relación en este grupo entre la PIO (PIOg y PIOcc) y el Rx. (Tabla 30, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.8.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de edad).

En niños miopes de 14 a 17 años, igual que en los demás grupos, CH y CRF correlacionaron significativamente ($r=0.78$, $p<0.0001$), pero no se encontraron relaciones significativas entre las medidas del ORA (CH, CRF, PIOg y PIOcc) y la LA o el Rx. (Tabla 31, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.8.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de edad).

5.2.2.- Comparación de la biomecánica corneal por grupos en miopes

En sujetos miopes, se realizó la comparación entre grupos, tanto en función de la ametropía como de la edad. Para ello se dividió a los sujetos en función de la ametropía en tres grupos, de ≥ -0.50 a $-3.00D$, de -3.25 a $-6.00 D$ y de $> -6.00D$.

Posteriormente se realizó el mismo análisis, pero dividiendo a los sujetos por grupos de edad, de 6-10,^{6,7} preadolescentes de 11-13 y adolescentes de 14-17 años (descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad).

Con esto se pretende evaluar la posibles diferencias de las propiedades biomecánicas corneales, tanto en función de la ametropía como en función de la edad.

5.2.2.1.- Comparación en función de la ametropía

Se dividió a los sujetos en tres grupos de ametropías, de ≥ -0.50 a -3.00 D, de -3.25 a -6.00 D y de > -6.00 D y se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia del grado de ametropía en las medidas del ORA.

La comparación entre grupos se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, usando el test HSD Tukey. Entre los distintos grupos de miopes no se encontró ninguna diferencia significativa ni en la CH ($p=0.43$) (Figura 46) ni en el CRF ($p=0.93$) (Figura 47).

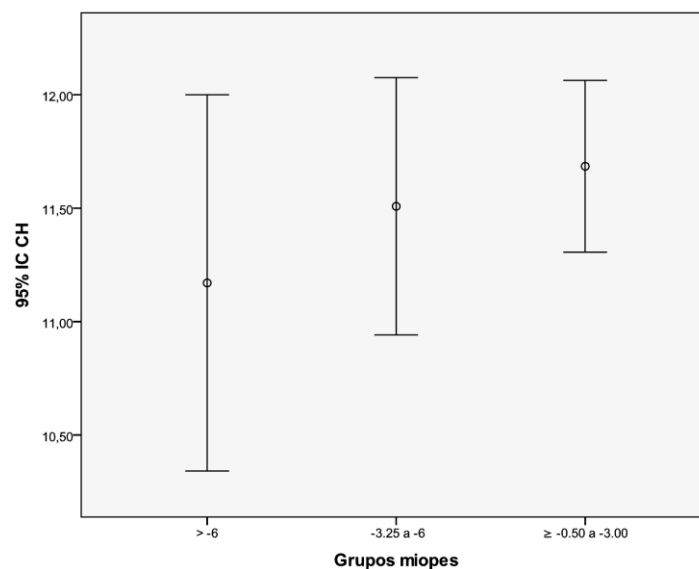


Figura 46.- Comparación de la CH (mmHg) entre los grupos de miopes

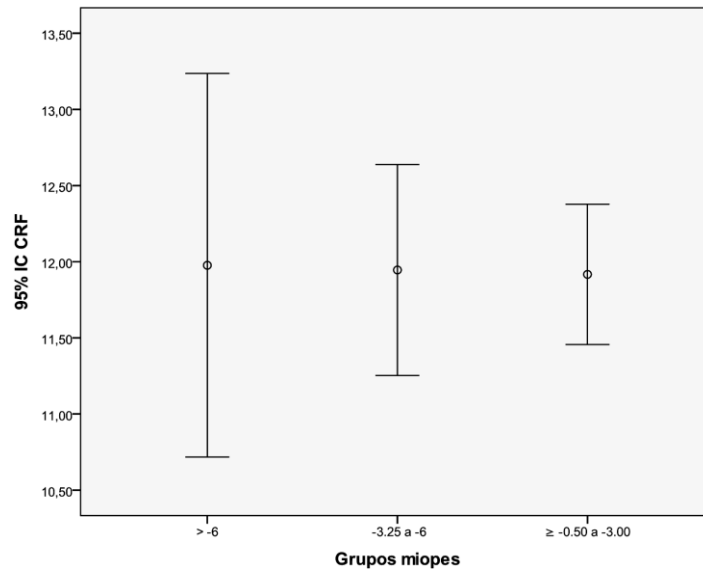


Figura 47.- Comparación del CRF (mmHg) entre los grupos de miopes

5.2.2.2.- Comparación en función de la edad

Se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar si la edad podía influir en la biomecánica corneal.

La comparación entre grupos se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

En los niños miopes, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos de edad en la CH ($p=0.11$) (Figura 48), sin embargo en el CRF sí que se encuentran diferencias significativas entre los grupos de 11-13 años y de 14-17 años, con una diferencia de medias entre ambos de 1.36 mmHg ($p=0.002$), siendo menor en el grupo de mayor edad (Figura 49).

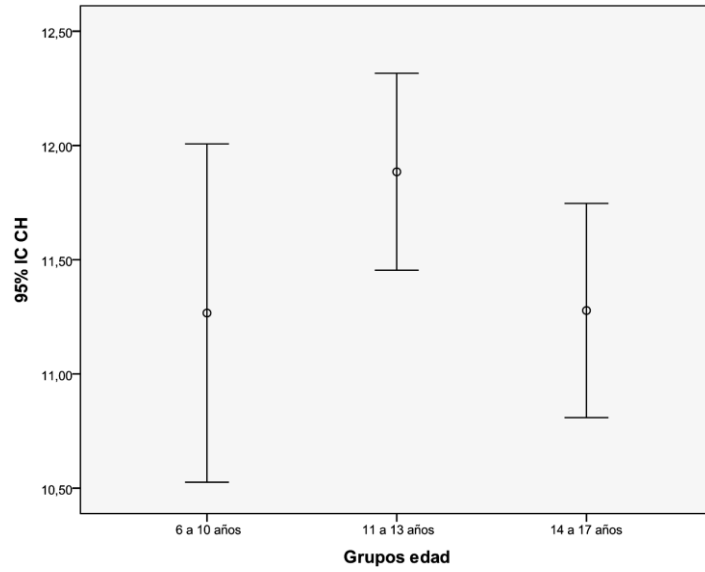


Figura 48.- Comparación de la CH (mmHg) entre los grupos de edad en miopes

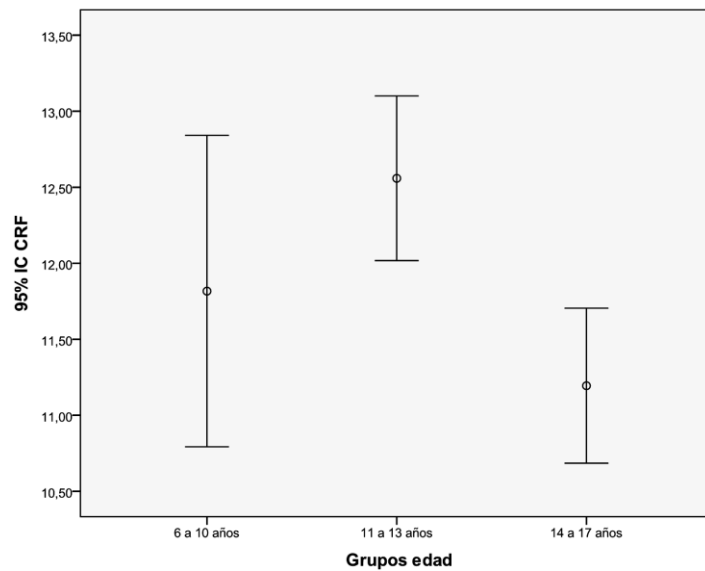


Figura 49.- Comparación del CRF (mmHg) entre los grupos de edad en miopes

5.2.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes

Se realizó el análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), igual que en los emétopes, tomando como variable dependiente la histéresis corneal (CH) y como variables independientes, longitud axial (LA), edad, curvatura corneal media (Km), profundidad de cámara anterior (PCA), espesor corneal central (ECC) y error refractivo (Rx). Hay que resaltar que las variables LA y Rx no se introdujeron juntas debido a la alta colinealidad entre ellas ($r=0.65$).

Se encontró que la variables ECC fue pronosticadora de la CH en este grupo de sujetos miopes, la cual consigue explicar un 8.9% la variabilidad observada en CH (Tabla 32, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.9.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes), con lo cual, los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para un incremento de 100 μ m en el ECC, la CH aumentará en 1.00 mmHg (Tabla 33, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.9.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes).

Siguiendo el mismo modelo para los grupos de ametropías, tomando como variable dependiente la CH y como independientes las mismas que para el total del grupo, se obtiene como resultado que el grupo de miopes bajos, la única variable pronosticadora del modelo fue el ECC, la cual consigue explicar en un 20.8% la variabilidad en la CH, con lo que por una disminución de 100 μ m en el ECC, la CH disminuirá 1.60 mmHg en este grupo de sujetos.

En el grupo de miopes medios, los modelos no mostraron asociación significativa de la CH y las variables pronosticadoras.

Sin embargo, en el grupo de miopes altos, lo que encontramos es una fuerte influencia de la LA sobre la CH ($p=0.01$) (Tabla 34, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.9.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes), ya que ésta fue la única variable

pronosticadora y consigue explicar en un 34.9% la variabilidad en la CH, con lo que según el resultado de regresión lineal múltiple para la CH en este grupo, tenemos que por cada 1.00 mm de incremento en la LA, la CH disminuirá en 2.05 mmHg (Tabla 35, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.9.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes).

En el grupo de miopes altos (>-6.00 D), se repitió el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), con la CH como variable dependiente y las mismas variables independientes que en el modelo anterior, excepto la LA que fue sustituida por el error refractivo, debido a que en este grupo no correlacionaron y con la finalidad de valorar si tenían igual influencia la LA que el RX en la CH. Como resultado se obtuvo que ninguna de las variables fueron influyentes en la CH.

Así pues, en el segmento anterior, para los grupos de ametropías, tiene mayor influencia la LA, que el error refractivo (Rx), sobre todo para el grupo de miopes altos (> -6.00 D).

Se realizó el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), en los distintos grupos de edad en niños miopes. Se tomó como variable dependiente la histéresis corneal (CH) y como variables independientes, longitud axial (LA), edad, curvatura corneal media (Km), profundidad de cámara anterior (PCA), espesor corneal central (ECC) y error refractivo (Rx). Hay que resaltar que las variables LA y Rx no se introdujeron juntas debido a la alta colinealidad entre ellas ($r=0.71$). Ambas variables tampoco se introdujeron juntas en los demás grupos de edad debido a la alta colinealidad ($r=0.76$), para el grupo de 11-13 años y ($r=0.66$) para el de 14-17 años.)

En el grupo de de 6-10 años y en el de 14-17 años, ninguna variable fue influyente en la CH, sin embargo en el grupo de 11-13 años, el ECC influyó en un 13.8% ($p=0.011$) en las medidas de la CH, así que, para una disminución de 100 μm en el ECC, la CH disminuirá 1.20 mmHg.

Se construyó el mismo modelo de regresión lineal múltiple para el CRF, en el cual se obtuvo que el ECC explica en un 34.7% la variabilidad observada en el CRF (Tabla 36, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.9.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes). Así pues, los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para un incremento de 100 μm en el ECC, la CRF aumentará en 2.40 mmHg (Tabla 37, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.9.- Tablas del análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes).

En los grupos de miopes, para la dependiente variable CRF, en el grupo de miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00 D) encontramos que sólo el ECC fue una variable pronosticadora, la cual contribuye en un 36.3% en la variabilidad del CRF, indicando que para cada 100 μm de disminución en el ECC, el CRF disminuirá 2.60 mmHg, resultado similar al que se obtiene en el total de sujetos miopes.

En el grupo de miopes medios, la edad se asoció significativamente con el CRF ($p < 0.0001$), contribuyendo en un 44.4% en la variabilidad del CRF, con lo que por cada 1 año más de edad, el CRF disminuye en 0.42 mmHg.

Finalmente en el grupo de miopes altos, para el CRF, el ECC ($p = 0.003$) y la edad ($p = 0.025$), contribuyeron significativamente en el CRF. El ECC representó 46.2% de la variabilidad en el CRF, disminuyendo la medida en 3.80 mmHg por cada 100 μm de disminución en el ECC. La edad explicó el 16.8% de la variabilidad en el CRF y por cada año más de edad, el CRF disminuye en 0.41 mmHg.

En función de la edad, siguiendo con el mismo modelo de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), pero tomando como variable dependiente el CRF y las mismas variables independientes que para la CH, encontramos en el grupo de niños más pequeños (6-10 años) que el ECC fue predictor significativo para el CRF en un 26.4% ($p = 0.03$) y según los resultados, cuando se produzca una disminución de 100 μm en el ECC, el CRF disminuirá 1.70 mmHg.

En el grupo de 11-13 años, también fue influyente el ECC, en un 40.3% ($p<0.0001$), cuando se produzca una disminución de 100 μm en el ECC, el CRF disminuirá 2.60 mmHg en este grupo de edad.

Para los niños de 14-17 años, también fue influyente el ECC en un 15.2% ($p=0.02$), así que cuando el ECC se reduzca 100 μm , el CRF disminuirá 3 mmHg.

5.2.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes.

En la Tabla 38 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.10.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes) se muestran las correlaciones de los anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina con las propiedades biomecánicas corneales y parámetros biométricos oculares en miopes.

Se encontraron correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre la CH y el espesor medio de la CFNR ($r=0.24$, $p=0.01$) (Figura 50).

Así mismo, se encontraron correlaciones negativas y significativas entre la CH y la media de la relación C/D ($r=-0.34$, $p<0.0001$), y entre el CRF y la media de la relación C/D ($r=-0.27$, $p=0.005$).

No se encontraron correlaciones significativas entre la PIOg y la PIOcc con los parámetros evaluados, únicamente la PIOcc correlacionó negativamente con el Área del anillo.

El espesor medio de la CFNR decrece con el aumento de la LA, encontrándose una correlación negativa entre ambos ($r=-0.26$, $p=0.009$) (Figura 51). También se encontraron correlaciones negativas y significativas entre el equivalente esférico y el espesor medio de la CFNR ($r=-0.37$, $p<0.0001$) y entre el Rx y el área del anillo $r=-0.22$, $p=0.02$). En cuanto a la influencia de la edad, se encontró que la Media de la relación C/D, aumenta con la edad en este grupo de miopes, siendo positiva la correlación entre ambos parámetros ($r=0.24$, $p=0.01$).

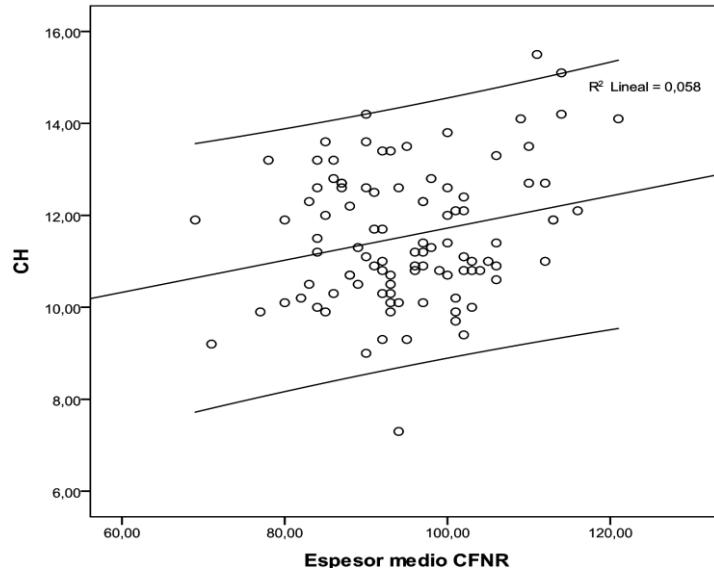


Figura 50.- Correlación CFNR (μm) - CH (mmHg)

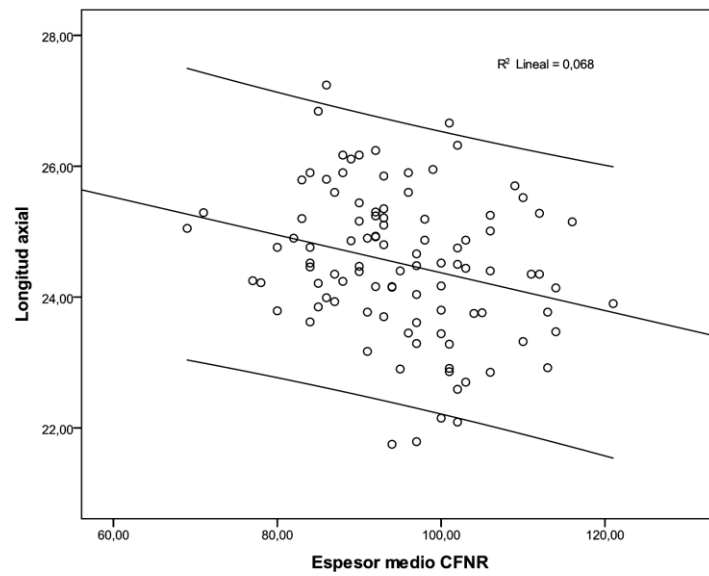


Figura 51.- Correlación CFNR (μm) - LA (mm)

5.2.4.1.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropías

Al realizar el mismo estudio estadístico para el polo posterior, por grupos de ametropías, en primer lugar para el grupo de miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00 D), no se encontraron correlaciones entre la CH o la CRF con el espesor medio de la CFNR.

Entre las propiedades biomecánicas corneales y los anatomía del nervio óptico, se encontraron correlaciones negativas y significativas entre la CH y la media de la relación C/D ($r=-0.40$, $p=0.002$), y entre el CRF y el área del disco y la media de la relación C/D ($r=-0.30$, $p=0.02$ y $r=-0.27$, $p=0.03$ respectivamente).

No se encontró correlación entre la LA o el Rx con el espesor medio de la CFNR, ni con los anatomía del nervio óptico. (Tabla 39, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.11.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropías).

En el grupo de miopes medios (-3.25 a -6.00 D), igualmente ni la LA, ni el RX correlacionaron con el espesor medio de la CFNR. Tampoco se encontraron correlaciones entre las medidas del ORA (CH, CRF, PIOcc y PIOg) y el espesor medio de la CFNR. Fue positiva y significativa la relación entre la CH y el área del anillo ($r=0.48$, $p=0.002$) y negativa entre el CRF y la Media de la relación C/D ($r=-0.52$, $p=0.009$) en este grupo. (Tabla 40, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.11.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropías)

En cuanto al grupo de miopes altos (>-6.00 D), destaca la fuerte correlación positiva y significativa entre el Rx y la Media de la relación C/D ($r=0.64$, $p=0.006$) y entre el Rx y el área del disco ($r=0.53$, $p=0.02$). Sin embargo, para este grupo de miopes altos, la edad influyó negativamente en el espesor medio de la CFNR, encontrándose relaciones negativas y estadísticamente significativas ($r=-0.54$, $p=0.02$), siendo también negativa la correlación entre la edad y el Área del disco y el Área del anillo ($r=-0.53$, $p=0.02$ y $r=-0.57$, $p=0.02$ respectivamente) Así pues,

para este grupo de miopes, tanto el espesor de la CFNR como el Área del anillo y el Área del disco, disminuyen con la edad. (Tabla 41, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.11.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropías).

5.2.4.2.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de edad.

Se realizó el mismo análisis estadístico para el segmento posterior, dividiendo a los sujetos miopes por grupos de edad, de 6-10,^{6,7} preadolescentes de 11-13 y adolescentes de 14-17 años (descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad).

En el grupo de niños miopes más pequeños cabe resaltar la correlación positiva y estadísticamente significativas entre la CH y el espesor medio de la CFNR ($r=0.5$, $p=0.04$) y negativa entre la PIOcc y el espesor medio de la CFNR ($r=-0.6$, $p=0.009$). Así mismo, se encontró una correlación negativa entre la CH y la Media de la relación C/D ($r=-0.57$, $p=0.01$), con lo que a medida que aumenta la relación C/D, la CH disminuye en este grupo de edad.

No se encontraron correlaciones significativas entre la PIOg y el CRF con los parámetros evaluados en este grupo. En cuanto a la LA, no se encontraron correlaciones significativas con los parámetros evaluados, sin embargo en este grupo, el error refractivo correlacionó negativa y significativamente con el espesor medio de la CFNR ($r=-0.73$, $p=0.001$).y con el Área del disco ($r=-0.50$, $p=0.003$). (Tabla 42, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.12.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de edad).

En el grupo de 11-13 años, no se encontraron correlaciones significativas entre el espesor medio de la CFNR y los parámetros del segmento anterior o las medidas del ORA, ni tampoco entre estos y el Área del anillo. Sin embargo se encontró disminución del Área del disco con el incremento de la miopía ($r=-0.32$,

$p=0.02$) y mayor Media de la relación C/D en corneas más delgadas ($r=-0.36$, $p=0.014$). (Tabla 43, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.12.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de edad).

En el grupo de niños miopes más mayores (14-17 años), el espesor medio de la CFNR decrece con el aumento del error refractivo, encontrándose una correlación negativa y significativa entre ambos ($r=-0.50$, $p=0.003$) y también fue negativa entre el Área del anillo y el Área del disco con el Rx ($r=-0.40$, $p=0.015$ y $r=-0.50$, $p=0.002$ respectivamente), no encontrándose correlación entre la LA y los parámetros del segmento posterior.

Cabe resaltar en este grupo de edad que el Área del anillo decrece con el aumento de la PIO, tanto para la PIOg ($r=-0.50$, $p=0.002$), como para la PIOcc ($r=-0.46$, $p=0.006$), las correlaciones fueron negativas y estadísticamente significativas. Igualmente se encontraron relaciones positivas y significativas entre la PIOg y PIOcc y Media de la relación C/D ($r=0.46$, $p=0.005$ y $r=0.54$, $p=0.001$ respectivamente) (Tabla 44, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.12.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de edad).

5.2.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos en miopes

Se dividió a los sujetos miopes en los mismos grupos que para el segmento anterior, tanto en grupos ametropías, como de edad (de 6 a 10 años, etapa en la que, según varios autores, se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular,⁶ preadolescentes, de 11 a 13 años y adolescentes de 14 a 17 años (descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad).

5.2.5.1.- Comparación en función de la ametropía

De la misma forma que en el segmento anterior y dividiendo a los sujetos en tres grupos de ametropías, (≥ -0.50 a -3.00 D, de -3.25 a -6.00 D y de > -6.00 D), se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia del grado de ametropía en los parámetros del segmento posterior.

La comparación entre grupos, igual que en los demás grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

Se encontraron diferencias significativas entre el grupo de > -6.00 D y el de miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00 D), con una diferencia entre medias de $10.64 \mu\text{m}$ ($p < 0.0001$), también se encontraron diferencias significativas entre el grupo de miopes medios (-3.25 a -6.00 D) y el de miopes altos (diferencia de medias de $7.50 \mu\text{m}$, $p = 0.03$) refiriendo pérdida de espesor medio de CFNR con el incremento de la miopía (Figura 52).

Sin embargo, el grado de ametropía no influyó en el Área del anillo ($p = 0.07$), en el Área del disco ($p = 0.21$) ni en la Media de la relación C/D ($p = 0.70$), ya que al comparar estos tres grupos, mediante el análisis ANOVA y el test HSD Tukey, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos de miopes en ninguno de los parámetros evaluados (Figuras 53, 54 y 55).

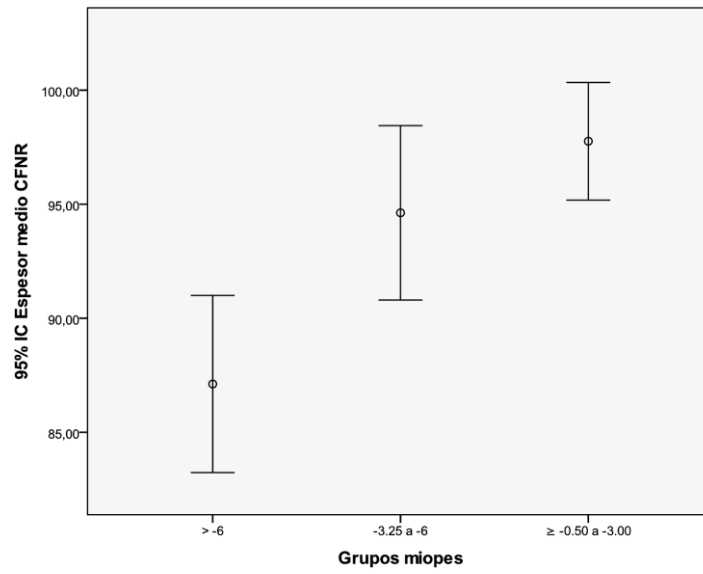


Figura 52.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre los grupos de miopes

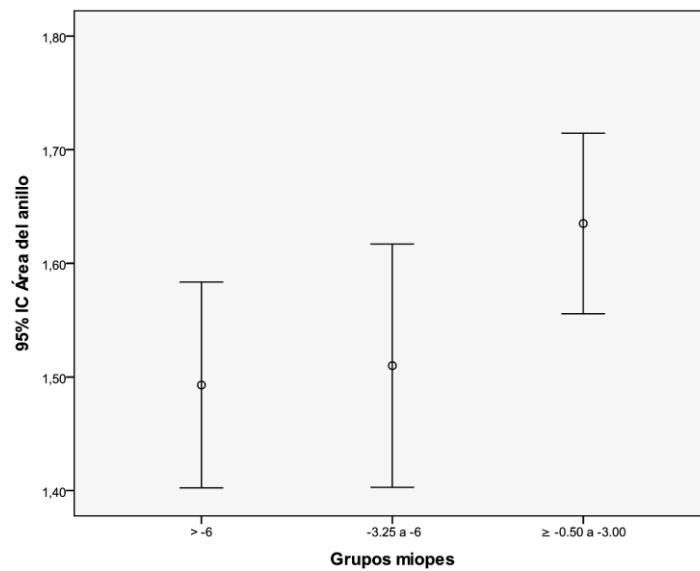


Figura 53.- Comparación del Área del anillo (mm^2) entre los grupos de miopes

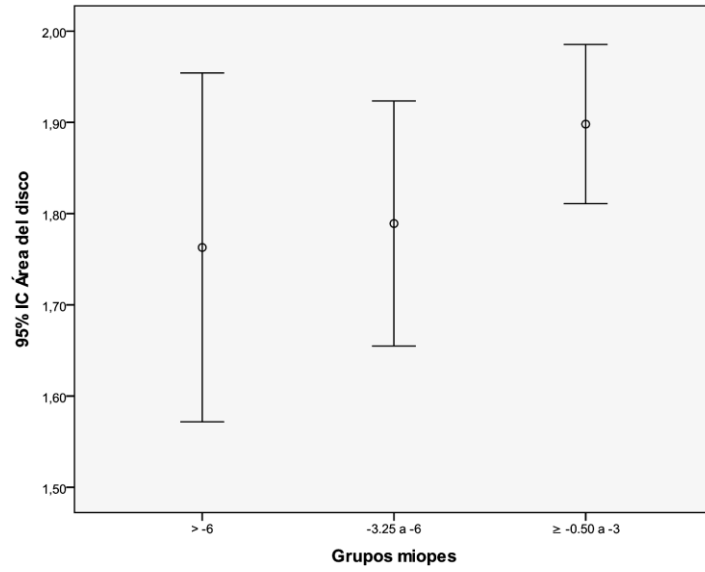


Figura 54.- Comparación del Área del disco (mm²) entre los grupos de miopes

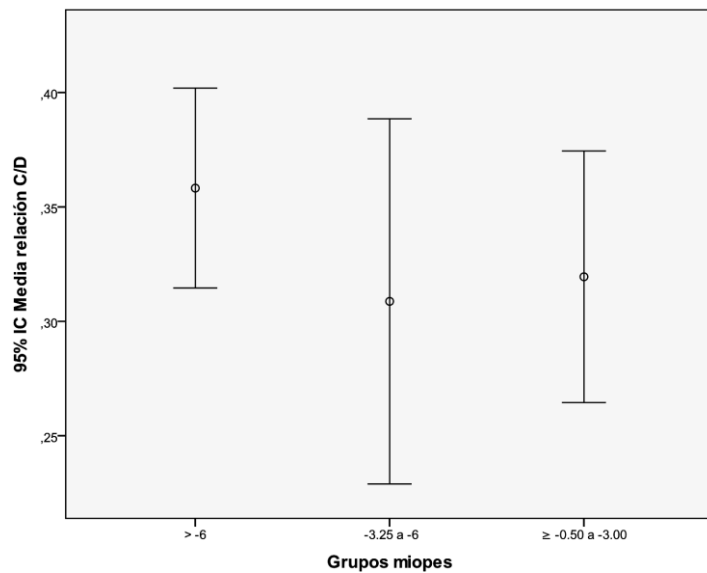


Figura 55.- Comparación de la Media de la relación C/D entre los grupos de miopes

5.2.5.2.- Comparación en función de la edad

De la misma forma que en el segmento anterior, se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia de la edad en los parámetros del segmento posterior.

La comparación entre grupos, igual que en los demás grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

No se encontraron diferencias significativas entre los distintos grupos de edad en niños miopes en ninguno de los parámetros evaluados, espesor medio de la CFNR ($p=0.85$) (Figura 56), Área del anillo ($p=0.70$) (Figura 57), Área del disco ($p=0.70$) (Figura 58) y Media de la relación C/D ($p=0.21$) (Figura 59), con lo que la edad no fue influyente en los parámetros del segmento posterior.

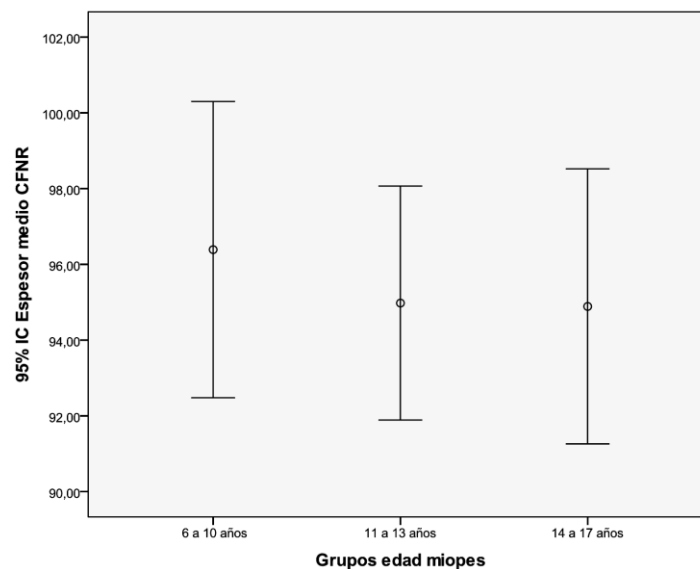


Figura 56.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre los grupos de edad en miopes

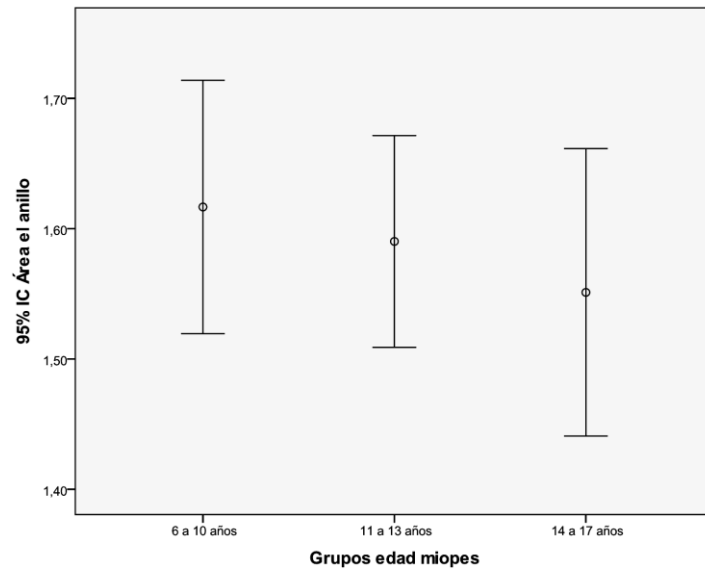


Figura 57.- Comparación del Área del anillo (mm²) entre los grupos de edad en miopes

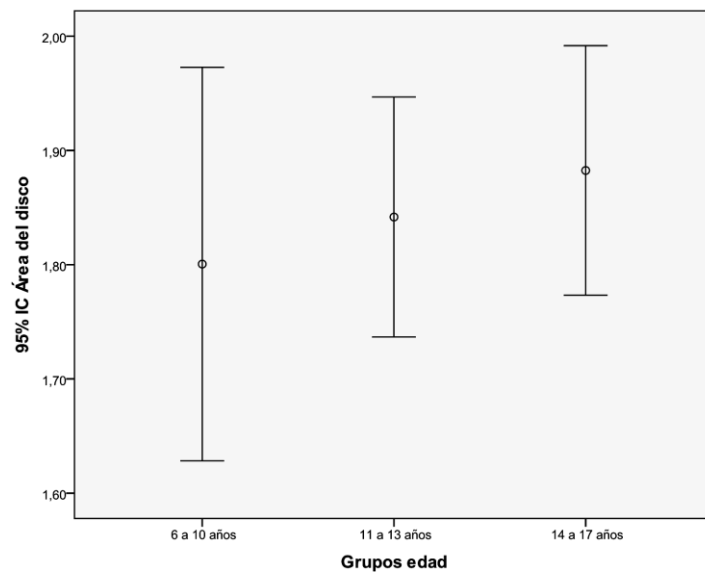


Figura 58.- Comparación del Área del disco (mm²) entre los grupos de edad en miopes

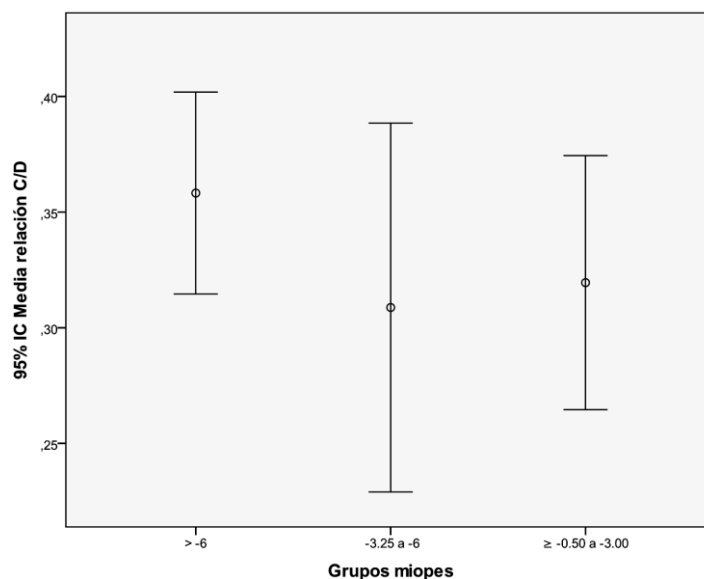


Figura 59.- Comparación de la Media de la relación C/D entre los grupos de edad en miopes

5.2.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes

Se construyó el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), que para el segmento anterior, para valorar la posible influencia de la biomecánica corneal en el segmento posterior.

Como variable dependiente se tomó el espesor medio de la CFNR y como independientes: CH, CRF, PIOg, PIOcc, ECC, LA, error refractivo (Rx) y edad. Igualmente no se introdujeron juntas la LA y el Rx, debido a la alta colinealidad ($r=0.65$).

Se encontró que la LA y la CH fueron las variables pronosticadoras del modelo y consiguen explicar un 12% de la variabilidad observada en el espesor medio de la CFNR. Por lo tanto, la LA influye en un 6.8% en el espesor medio de la CFNR y la CH en un 5.2% (Tabla 45, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento

posterior en miopes). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para un incremento de 1.00 mm en la LA, el espesor medio de la CFNR disminuirá 2.23 μm y cuando la CH disminuya 1.00 mmHg, el espesor medio de la CFNR disminuirá 1.57 μm (Tabla 46, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes).

Como en el segmento anterior, también se hizo el mismo análisis para el segmento posterior, dividiendo a los sujetos por grupos de ametropías.

Tanto para el grupo de miopes bajos, como para el de miopes medios, ninguna de las variables independientes fue influyente en el espesor medio de la CFNR.

Sin embargo en el grupo de miopes altos, las variables edad en un 29.4% ($p=0.02$) y la LA en un 18.3% ($p=0.04$) fueron influyentes en las medidas del espesor medio de la CFNR, con lo que cada año más de edad en este grupo, el espesor medio de la CFNR, disminuirá en 1.50 μm y cada 1.00 mm de incremento en la LA, el espesor medio de la CFNR disminuirá en 7.50 μm .

Siguiendo con el mismo modelo, se dividió a los sujetos por grupos de edad y se realizó el mismo análisis para la variable espesor medio de la CFNR y como independientes: CH, CRF, PIOg, PIOcc, ECC, LA, error refractivo (Rx) y edad. Igualmente, las variables LA y Rx no se introdujeron juntas debido a la alta colinealidad entre ellas ($r=0.71$) para el grupo de 6-10 años. Tampoco se introdujeron juntas en los demás grupos de edad debido a la alta colinealidad ($r=0.76$), para el grupo de 11-13 años y ($r=0.66$) para el de 14-17 años.)

La variable PIOcc fue pronosticadora para el espesor medio de la CFNR en el grupo de niños más pequeños (6-10 años), la cual consiguen explicar en un 35.7% ($p=0.009$) la variabilidad observada el espesor medio de la CFNR. Así pues, según estos resultados cuando se produzca un incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, el espesor medio de la CFNR disminuirá 1.32 μm .

Para los demás grupos de edad evaluados, ninguna de las variables fue influyente en las medidas del espesor medio de la CFNR.

Igualmente se construyó el mismo modelo para la variable Área del anillo, encontrando que la única variable pronosticadora del modelo fue la PIOcc, la cual consigue explicar tan solo un 5.5% de la variabilidad observada en Área del anillo (Tabla 47, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que cuando se produzca un incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, el Área del anillo disminuirá en 0.02 mm² (Tabla 48, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes).

En el análisis de regresión lineal múltiple para la variable Área del anillo, en el grupo de miopes bajos, se obtiene que la PIOg y el ECC contribuyen en un 19% en las medidas. La PIOg, contribuyó en un 12.3% ($p=0.007$), que se incrementó en un 6.7% ($p=0.036$) con la inclusión de la ECC al modelo. Según los resultados tenemos que para un aumento de 1.00 mmHg en la PIOg, el Área del anillo disminuirá 0.05 mm² y cuando el ECC disminuya 100 μm , el Área del anillo disminuirá 0.20 mm².

En el grupo de miopes medios, la única variable significativa fue la CH, que contribuyó en un 22.8% en las medidas ($p=0.018$). Los resultados indican que cuando la CH disminuya en 1 mmHg, el Área del anillo disminuirá en 0.10 mm².

Para el grupo de miopes altos, la variable más influyente fue la edad, en un 32.5% ($p=0.017$), así en este grupo, por cada año más de edad, el Área del anillo disminuirá aproximadamente 0.04 mm².

Siguiendo el análisis en los grupos de edad, para los niños más pequeños (6-10 años) y para el grupo de 11-13 años, ninguna de las variables fue influyente.

En el grupo de niños mayores (14-17 años), fueron influyente en el Área del anillo, la PIOg en un 25.3% ($p=0.002$). Según los resultados se obtiene que cuando la PIOg aumente 1.00 mmHg, el Área del anillo disminuirá 0.06 mm².

Siguiendo el mismo modelo de regresión lineal múltiple para la variable Área del disco, obtenemos como resultado que ninguna de las variables fue influyente en las medidas del Área del disco.

Al realizar el análisis en miopes y dividir a los niños por grupos en función de la ametropía, encontramos que ninguna de las variables influyó significativamente en las medidas del Área del disco, tanto en el grupo de miopes bajos, como en el de miopes medios (-3.25 a -6.00 D).

Sin embargo, en el grupo de >-6.00 D, la variable edad en un 29% ($p=0.03$) fue influyente en el Área del disco con lo que para 1 año más de edad en este grupo de miopes altos, el Área del disco, disminuirá 0.07 mm^2 .

Al dividir a los niños miopes en grupos de edad, encontramos que ninguna de las variables fue influyente para el Área del disco, en ninguno de los grupos evaluados.

Se construyó el mismo modelo para Media de la relación C/D como variable dependiente y las mismas que anteriormente como variables independientes (CH, CRF, PIOg, PIOcc, ECC, LA, error refractivo (Rx) y edad).

Para la Media de la relación C/D, se encontró que la CH fue variable pronosticadora del modelo, la cual consigue explicar un 11.7% de la variabilidad observada en la Media de la relación C/D. (Tabla 49, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para una disminución de 1.00 mmHg en la CH, la Media de la relación C/D aumentará alrededor de 0.05 (Tabla 50, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes).

En el grupo de miopes bajos, la única variable influyente en la Media de la relación C/D fue la CH, en un 15.6% ($p=0.002$), así que cuando la CH disminuya 1.00 mmHg, la Media de la relación C/D, aumentará 0.06.

En el grupo de miopes medios, para la Media de la relación C/D, las variables edad en un 32.6% ($p=0.004$) y la PIOcc en un 13.5% ($p=0.03$) fueron influyentes, con lo que para 1 año más de edad en este grupo de sujetos, la Media de la relación C/D, aumentará 0.06 unidades y cuando se produzca un incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, la Media de la relación C/D aumentará 0.02 unidades.

Ninguna de las variables influyó significativamente en las medidas de la Media de la relación C/D en el grupo de miopes altos.

En cuanto a los grupos de edad, para la variable Media de la relación C/D, en el grupo de niños más pequeños, la CH fue la única variable influyente en la Media de la relación C/D, en un 32.8% ($p=0.013$) lo que resulta que cuando se produzca una disminución de 1.00 mmHg en la CH, la Media de la relación C/D aumentará 0.10.

En el grupo de 11-13 años, fue influyente el ECC en un 13% ($p=0.014$), resultando que cuando el ECC disminuya en 100 μm , la Media de la relación C/D aumentará 0.10.

Para el grupo de 14-17 años, fueron influyentes en las medidas de la Media de la relación C/D, la PIOcc en un 29.8% ($p=0.001$) y la edad en un 9.4% ($p=0.030$), con lo que cuando la PIOcc aumente 1.00 mmHg, la Media de la relación C/D aumentará 0.03 y cada año más de edad, la Media de la relación C/D aumentará 0.04.

5.3.- HIPERMÉTROPES

En el grupo de sujetos hipermetropes, se incluyeron 94 ojos de 94 sujetos (54 niños y 40 niñas).

En la Tabla 51 se muestran los valores promedio y su desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos hipermetropes, así como por grupos de ametropía.

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre los tres grupos de ametropía.

	$\geq +1.00$ a $>+6.00D$ (n=94)	$\geq +1.00$ a $+3.00D$ (n=37)	$+3.25$ a $+6.00D$ (n=41)	$> +6.00D$ (n=16)	p -valor (ANOVA)
	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	
Edad (años)	9.08 \pm 2.57	9.69 \pm 2.59	8.87 \pm 2.85	8.16 \pm 1.14	0.11
Rx (D)	+3.99 \pm 1.82	+2.20 \pm 0.50	+4.45 \pm 0.83	+6.95 \pm 0.55	<0.0001*
Longitud axial (mm)	21.64 \pm 0.89	22.40 \pm 0.75	21.28 \pm 0.59	20.79 \pm 0.37	<0.0001*
PCA (mm)	2.86 \pm 0.31	2.98 \pm 0.28	2.78 \pm 0.29	2.79 \pm 0.34	0.008*
Km (D)	43.41 \pm 1.47	43.44 \pm 1.61	43.58 \pm 1.42	42.90 \pm 1.23	0.30
PIOcc (mmHg)	15.11 \pm 3.47	15.80 \pm 3.65	14.80 \pm 3.53	14.31 \pm 2.71	0.34
PIOg (mmHg)	16.73 \pm 3.43	17.23 \pm 3.39	16.14 \pm 3.54	17.07 \pm 3.17	0.34
CRF (mmHg)	12.32 \pm 1.89	12.20 \pm 1.80	12.02 \pm 1.93	13.39 \pm 1.67	0.04*
CH (mmHg)	12.25 \pm 1.84	11.92 \pm 1.99	12.13 \pm 1.68	13.31 \pm 1.58	0.03*
Espesor corneal central (μ m)	541.11 \pm 28.45	532.56 \pm 27.88	544.39 \pm 28.98	552.50 \pm 23.80	0.04*
Espesor medio CFNR (μ m)	103.02 \pm 10.91	99.32 \pm 11.30	106.75 \pm 10.19	102.00 \pm 9.07	0.009*
Area del anillo (mm ²)	1.77 \pm 0.39	1.66 \pm 0.35	1.84 \pm 0.42	1.85 \pm 0.38	0.08
Area del disco (mm ²)	2.13 \pm 0.39	1.92 \pm 0.35	2.25 \pm 0.40	2.29 \pm 0.27	<0.0001*
Media de la relación C/D	0.30 \pm 0.18	0.31 \pm 0.18	0.32 \pm 0.19	0.24 \pm 0.13	0.31

Tabla 51.- Valores promedio y desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos hipermetropes. Valores del total de sujetos hipermetropes y por grupos de ametropía.

*significancia estadística (ANOVA)

En la Tabla 52 se muestran los valores promedio y su desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos hipermétropes divididos en grupos de edad (de 6 a 10 años, etapa en la que, según varios autores, se producen los cambios más importantes en el desarrollo ocular,⁶ preadolescentes, de 11 a 13 años y adolescentes de 14 a 17 años, descrito en el Capítulo 1, Introducción, punto 1.3.- Desarrollo del sistema visual con la edad).

En los grupos de edad en sujetos hipermétropes, no se muestran los datos del análisis estadístico ya que en ninguno de los grupos se encontraron resultados relevantes ni diferentes del total del grupo de hipermétropes.

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre los tres grupos de ametropía.

	6-10 años (n=64)	11-13 años (n=20)	14-17 años (n=10)	p -valor (ANOVA)
	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	
Edad (años)	7.61 \pm 1.27	10.91 \pm 0.68	14.36 \pm 1.45	<0.0001*
Rx (D)	+4.34 \pm 1.87	+3.25 \pm 1.39	+3.11 \pm 1.61	0.01*
Longitud axial (mm)	21.43 \pm 0.81	22.04 \pm 1.03	22.17 \pm 0.63	0.003*
PCA (mm)	2.80 \pm 0.28	2.96 \pm 0.36	3.05 \pm 0.23	0.01*
Km (D)	43.31 \pm 1.32	43.49 \pm 1.86	43.91 \pm 1.64	0.47
PIOcc (mmHg)	14.76 \pm 3.39	16.58 \pm 4.14	14.42 \pm 1.21	0.10
PIOg (mmHg)	16.58 \pm 3.62	18.10 \pm 3.03	14.89 \pm 1.52	0.43
CRF (mmHg)	12.47 \pm 1.81	12.51 \pm 2.15	11.04 \pm 1.17	0.73
CH (mmHg)	12.46 \pm 1.66	11.95 \pm 2.50	11.47 \pm 1.16	0.20
Espesor corneal central (μ m)	547.42 \pm 24.81	538.50 \pm 25.80	506.00 \pm 31.34	<0.0001*
Espesor medio CFNR (μ m)	103.72 \pm 10.98	101.15 \pm 9.48	102.30 \pm 13.59	0.64
Área del anillo (mm ²)	1.75 \pm 0.39	1.86 \pm 0.39	1.70 \pm 0.41	0.51
Área del disco (mm ²)	2.12 \pm 0.40	2.11 \pm 0.44	2.23 \pm 0.29	0.70
Media de la relación C/D	0.30 \pm 0.17	0.27 \pm 0.17	0.40 \pm 0.20	0.17

Tabla 52.- Valores promedio y desviación estándar de todos los parámetros evaluados en sujetos hipermétropes por grupos de edad.

*significancia estadística (ANOVA)

5.3.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes.

Al igual que en los demás grupos, entre el grupo de sujetos hipermétropes, también se encontró una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.84$, $p<0.0001$). (Figura 60) En este grupo de el ECC correlacionó positivamente con todas la medidas del ORA excepto con la PIOcc.

La CH no correlacionó con las medidas de la PIO (PIOcc y PIOg) y CRF correlacionó positivamente con la PIOg ($r=0.67$, $p<0.0001$).

Se encontró correlación positiva entre el error refractivo y la CH ($r=0.20$, $p=0.04$), con lo que la CH aumenta con el aumento de la hipermetropía.

Se encontraron correlaciones negativas y significativas entre la LA y las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF), lo que significa que en ojos más cortos, tanto la CH (Figura 61) como el CRF, aumentan.

Así mismo, se encontró una correlación negativa entre error refractivo y LA ($r=-0.68$, $p<0.0001$), y muy débil y positiva entre éste y el ECC ($r=0.21$, $p=0.04$).

Los demás resultados estadísticos se encuentran reflejados en la Tabla 51. (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.14.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes).

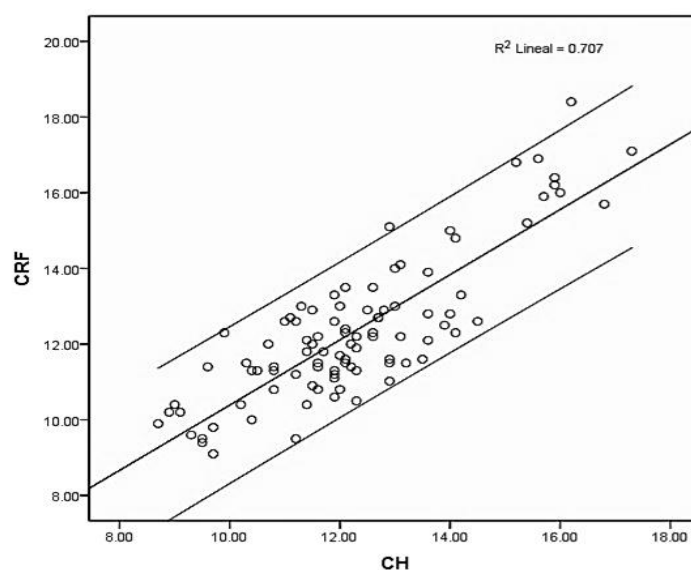


Figura 60.- Correlación CH (mmHg) - CRF (mmHg)

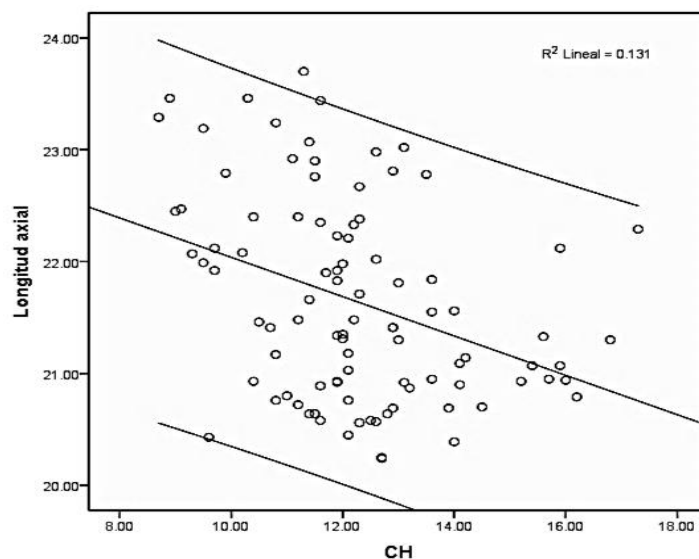


Figura 61.- Correlación CH (mmHg) - LA (mm)

5.3.1.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes divididos por grupos de ametropías

Se realizó el mismo análisis estadístico dividiendo a los sujetos hipermétropes por grupos: bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D), medios (de $+3.25$ a $+6.00$ D), altos ($\geq +6.00$ D).

Para el grupo de hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D), igual que para el resto de grupos evaluados, también se obtuvo una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.85$, $p<0.0001$). El ECC correlacionó positivamente con la CRF y la PIOg ($r=0.43$, $p=0.008$ y $r=0.38$, $p=0.021$), no correlacionando ni con la CH ni con la PIOcc. No se encontró correlación entre el error refractivo y las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF), ni tampoco entre el error refractivo y las medidas de la PIO (PIOcc y PIOg).

En este grupo, a medida que aumenta la LA, disminuye la CH, ya que la correlación entre ambas fue negativa y significativa ($r=-0.40$, $p=0.01$), no encontrándose correlación entre la LA y las demás medidas del ORA, ni tampoco entre el Rx y las medidas del ORA.

En el resto de parámetros evaluados se encontraron correlaciones similares en el segmento anterior a las encontradas en el total de hipermétropes. (Tabla 52, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.15.- Resultados estadísticos del segmento anterior en hipermétropes divididos por grupos de ametropías)

En el grupo de hipermétropes medios (de +3.25 a +6.00 D), también se encontró fuerte correlación positiva entre la CH y CRF ($r=0.82$, $p<0.0001$). El ECC correlacionó con las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF), pero no con las medidas de la PIO (PIOg y PIOcc). En este grupo también disminuye la CH, a medida que aumenta la LA, ya que la correlación entre ambas también fue negativa y significativa ($r=-0.35$, $p=0.02$). No se encontró correlación entre el error refractivo y las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF), ni entre el error refractivo y las medidas de la PIO (PIOcc y PIOg) (Tabla 53, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.15.- Resultados estadísticos del segmento anterior en hipermétropes divididos por grupos de ametropías).

Para el grupo de hipermétropes altos ($\geq+6.00$ D), se encontraron las mismas correlaciones que en los grupos anteriores en cuanto a la CH y CRF ($r=0.85$, $p<0.0001$), sin embargo el ECC correlacionó fuerte y significativamente con la CH y CRF ($r=0.77$, $p<0.0001$ y $r=0.84$, $p<0.0001$ respectivamente), no encontrando relación entre las medidas de la PIO (PIOg y PIOcc) y el ECC en este grupo. Ni la LA ni el Rx correlacionaron con las medidas del ORA. Curiosamente, igual que en los demás grupos de hipermétropes, tampoco se encontró correlación entre la LA y el Rx.

El resto de correlaciones fueron similares a las encontradas en el total de sujetos hipermétropes (Tabla 54, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.15.- Resultados estadísticos del segmento anterior en hipermétropes divididos por grupos de ametropías).

5.3.2.- Comparación de las propiedades biomecánicas corneales por grupos de ametropías en hipermétropes

Como se hizo en el grupo de miopes, en los hipermétropes, se dividieron a los sujetos en tres grupos de ametropías, de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D, de $+3.25$ a $+6.00$ D y de $>+6.00$ D y se realizó el mismo análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia del grado de ametropía en las medidas del ORA.

La comparación entre grupos, igual que en los demás grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

En este grupo, se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la CH entre el grupo de hipermétropes bajos y el de $>+6.00$ D, ($p=0.03$) cuya diferencia entre medias es de 1.40 mmHg, siendo mayor la CH con el incremento del error refractivo. (Figura 62). Sin embargo, en cuanto al CRF, las diferencias encontradas estadísticamente significativas es entre los grupos de $+3.25$ a $+6.00$ y $>+6.00$ D, ($p=0.036$), con una diferencia entre medias de 1.37 mmHg, siendo mayor el CRF con el aumento del error refractivo. (Figura 63).

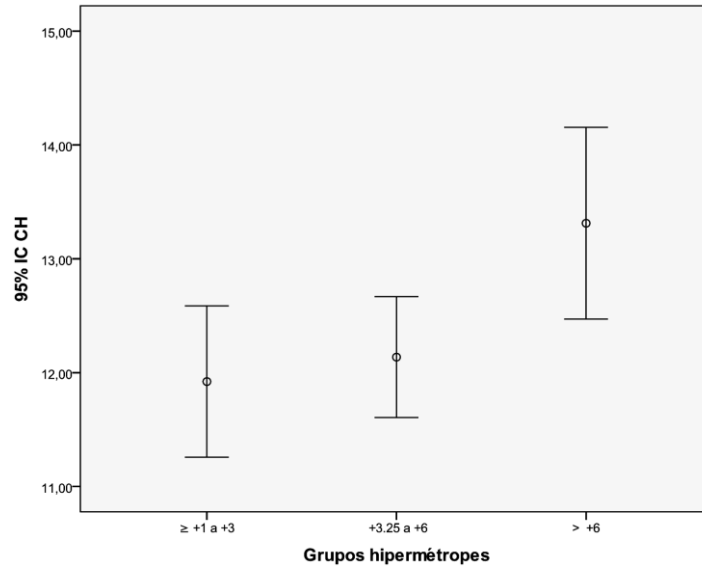


Figura 62.- Comparación de la CH (mmHg) entre los grupos de hipermetropes

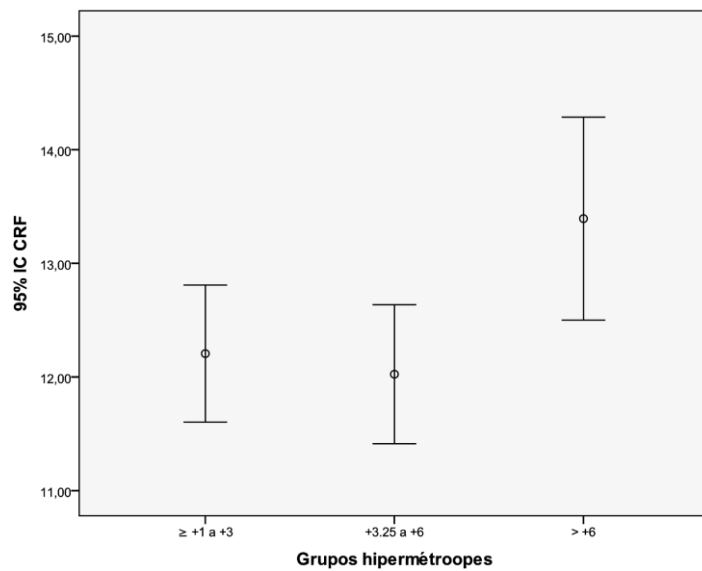


Figura 63.- Comparación de la CRF (mmHg) entre los grupos de hipermetropes

5.3.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes

Se realizó el análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), igual que anteriormente, tanto en emétropes como en miopes. Se tomó como variable dependiente la histéresis corneal (CH) y como variables independientes, longitud axial (LA), edad, curvatura corneal media (Km), profundidad de cámara anterior (PCA) edad, espesor corneal central (ECC) y error refractivo (Rx). Hay que resaltar que las variables LA y Rx no se introdujeron juntas debido a la alta colinealidad entre ellas ($r=-0.68$).

Se encontró que las variables ECC, Km y LA, fueron pronosticadoras de la CH en este grupo de sujetos hipermétropes, las cuales consiguen explicar un 32.5% la variabilidad observada en CH. (Tabla 55, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.16.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes). El modelo mostró que cuando las demás variables pronosticadoras se mantuvieron constantes, el ECC contribuye a explicar en un 14.3% la variabilidad en la CH que se incrementó en un 15.3% con la inclusión de la Km en el modelo y en un 3% al incluir la LA. Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para un incremento de 100 μm en el ECC, la CH aumentará en 2.40 mmHg, por cada 1.00 D de incremento en la potencia dióptrica corneal media, la CH aumentará en 0.40 mmHg y cada 1.00 mm de incremento en la LA, la CH disminuirá 0.39 mmHg. (Tabla 56, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.16.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes)

Se hizo el mismo análisis para los sujetos hipermétropes, dividiéndolos por grupos de ametropías, como se hizo con el grupo de miopes.

Siguiendo el mismo modelo para los grupos de ametropías, tomando como variable dependiente la CH y como independientes las mismas que para el total del grupo, se obtiene como resultado que en el grupo de hipermétropes bajos, las variables influyentes en la medida de la CH fueron la Km en un 16.7% ($p=0.012$)

y el ECC en un 9.5% ($p=0.012$). Según el resultado por cada 1.00 D de incremento en la Km, la CH aumentará en 0.60 mmHg y cada 100 μm de incremento en el ECC, la CH aumentará 2.30 mmHg.

Para el grupo de hipermétropes medios, la Km y el ECC fueron variables pronosticadoras, influyendo en un 17.5% ($p=0.006$) y en un 15.1% ($p=0.006$) respectivamente en las medidas de la CH, resultando que por 1 D de incremento en la Km, la CH aumentará en 0.50 mmHg y cada 100 μm de incremento en el ECC, la CH aumentará 2.30 mmHg.

Para los hipermétropes de $>+6.00$ D, el ECC influyó considerablemente en la medida de la CH, explicando un 59.6% ($p<0.0001$) de la variabilidad, resultando que por cada 100 μm de incremento en el ECC, la CH aumentará 5.10 mmHg.

Se realizó el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), tomando como variable dependiente CRF y las mismas variables independientes que para la CH. Hay que resaltar que las variables LA y Rx no se introdujeron juntas debido a la alta colinealidad entre ellas ($r=-0.68$).

En cuanto a la CRF, las variables ECC y Km, fueron pronosticadoras del modelo, las cuales consiguen explicar un 27.2% la variabilidad observada en CRF (Tabla 57, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.16.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes).

El modelo mostró que cuando las demás variables pronosticadoras se mantuvieron constantes, el ECC contribuye a explicar en un 23.6% la variabilidad en CRF que se incrementó en un 5.2% con la inclusión de la Km en el modelo. Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para un incremento de 100 μm en el ECC, el CRF aumentará en 3.40 mmHg, por cada 1.00 D de incremento en la potencia dióptrica corneal media, CRF aumentará en 0.29 mmHg (Tabla 58, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.16.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes).

En el grupo de hipermétropes bajos, para la CRF, la variable predictiva fue únicamente el ECC, el cual influye en un 18.2% ($p=0.008$) en las medidas de la CRF, así que cada 100 μm de incremento en el ECC, el CRF aumentará en 2.80 mmHg.

Para el CRF, en el grupo de hipermétropes medios, también fue variable predictiva el ECC, influyendo en un 18.3% ($p=0.005$), con lo que cuando el ECC aumente 100 μm , el CRF aumentará en 2.90 mmHg.

Fue mucho más influyente el ECC en el caso de los hipermétropes altos, ya que contribuyó en un 70.1% ($p<0.0001$) y cada 100 μm de incremento en el ECC, el CRF aumentará en 5.90 mmHg.

5.3.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes.

En la Tabla 59 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.17.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes) se muestran las correlaciones de los anatomía del nervio óptico evaluados y capa de fibras nerviosas de la retina con las propiedades biomecánicas corneales y parámetros biométricos oculares en hipermétropes.

No se encontraron correlaciones significativas entre las medidas del ORA (CH, CRF, PIOg y PIOcc) y el espesor medio de la CFNR (Tabla 59, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.17.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes) (Figura 64).

En cuanto a los demás parámetros evaluados, la PIOcc correlacionó negativamente con el área del anillo ($r=-0.37$, $p<0.0001$) y positivamente con la media de la relación C/D ($r=0.29$, $p=0.004$). Se encontró correlación positiva entre la PIOg y el área del anillo y del disco (Tabla 59, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.17.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes).

Igual que en el grupo de miopes, en los hipermétropes, el espesor medio de la CFNR decrece con el aumento de la LA (Figura 65), encontrándose una correlación negativa entre ambos. Se encontró correlación positiva y estadísticamente significativas entre el Rx y el Área del disco ($r=0.42$, $p<0.0001$), con lo que a medida que aumenta la hipermetropía, el Área el disco aumenta.

Del mismo modo que en el grupo de emétopes, ninguno de los parámetros de la cabeza del nervio óptico varió con la edad, ni tampoco varió con la edad el espesor medio de la CFNR.

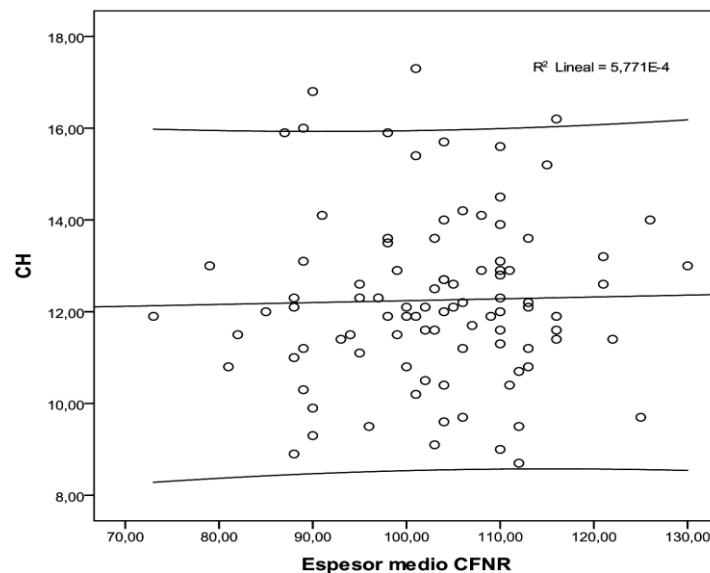


Figura 64.- Correlación espesor CFNR (μm) - CH (mmHg)

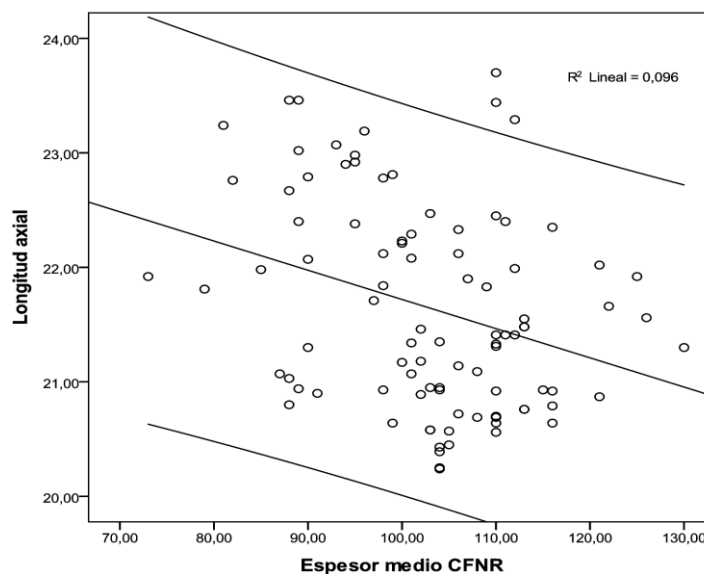


Figura 65.- Correlación espesor CFNR (μm) - LA (mm)

5.3.4.1.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías

En cuanto a los resultados para el polo posterior por grupos de ametropías, para el grupo de hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D), no se encontraron correlaciones entre la CH o la CRF con el espesor medio de la CFNR. Se encontró correlación negativa entre la LA y el espesor medio de la CFNR ($r=-0.31$, $p=0.02$), no encontrándose dicha correlación entre el Rx y el espesor medio de la CFNR. Cabe resaltar la correlación positiva de la CH y el Área del anillo ($r=0.38$, $p=0.02$). La CRF no correlacionó con ninguno de los parámetros evaluados y en cuanto a las medidas de la PIO, tampoco se encontraron correlaciones significativas con ninguno de los parámetros evaluados.

La edad influyó en el espesor medio de la CFNR, ya que correlacionó negativamente con este ($r=-0.36$, $p=0.03$), o sea que para este grupo, el espesor medio de la CFNR decrece con la edad, así mismo la Media de la Relación C/D

aumentó con la edad, ya que se encontró una correlación positiva entre ambos ($r=0.33$, $p=0.04$). Sin embargo, entre el ECC y la Media de la Relación C/D se encontró una correlación negativa ($r=-0.46$, $p=0.004$) (Tabla 60, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.18.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías).

En el siguiente grupo de hipermétropes (+3.25 a +6.00 D), no se encontraron correlaciones entre el espesor medio de la CFNR y ninguna de la medidas del ORA. En este grupo el Área del anillo correlacionó negativamente con la PIOcc ($r=-0.33$, $p=0.03$), con la PIOg ($r=-0.42$, $p=0.006$) y con el CRF ($r=-0.33$, $p=0.03$).

El Área del disco aumenta con el incremento de la hipermetropía en este grupo, siendo la correlación positiva y estadísticamente significativa entre ambos ($r=0.4$, $p=0.02$). La LA no correlacionó con ninguno de los parámetros evaluados. (Tabla 61, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.18.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías)

En el grupo de hipermétropes de $>+6.00$ D, de las medidas del ORA, se encontraron correlaciones negativas entre la CH y la Media de la Relación C/D ($r=-0.50$, $p=0.04$) y positivas entre la PIOcc y la Media de la Relación C/D ($r=0.63$, $p=0.008$) y entre la PIOcc y el Área del anillo ($r=-0.60$, $p=0.01$).

En este grupo, la LA correlacionó positivamente con el Área del anillo ($r=0.64$, $p=0.008$) (Tabla 62, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.18.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías).

5.3.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos de ametropías en hipermétropes

Siguiendo con los grupos de ametropías, en este caso para los hipermétropes, ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D, de $+3.25$ a $+6.00$ D y de $> +6.00$ D), se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia del grado de ametropía en los parámetros del segmento posterior.

La comparación entre grupos, igualmente, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se realizó el análisis post hoc, utilizando el test HSD Tukey.

Comparando el espesor medio de la CFNR entre los tres grupos, se encontraron diferencias significativas entre el grupo de hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D) y el de hipermétropes medios, con una diferencia entre medias de $7.43 \mu\text{m}$ ($p=0.007$), refiriendo que el espesor medio de CFNR aumenta con el incremento del error refractivo en hipermétropes (Figura 66).

El grado de ametropía no influyó en el Área del anillo ($p=0.08$) (Figura 67), ni en la Media de la relación C/D ($p=0.31$) (Figura 69), ya que al comparar estos tres grupos, mediante el análisis ANOVA y el test HSD Tukey, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos grupos de hipermétropes en ninguno de estos parámetros. El Área del disco aumenta con el incremento de la hipermetropía (Figura 68), ya que entre el grupo de hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D) y el de hipermétropes medios se encontraron diferencias significativas, siendo esta diferencia de 0.33 mm^2 , también fueron estadísticamente significativas las diferencias entre el grupo de hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D) y el grupo de $> +6.00$ D, con una diferencia de medias de 0.37 mm^2 ($p=0.0001$), siendo el Área del disco mayor cuanto mayor es la hipermetropía.

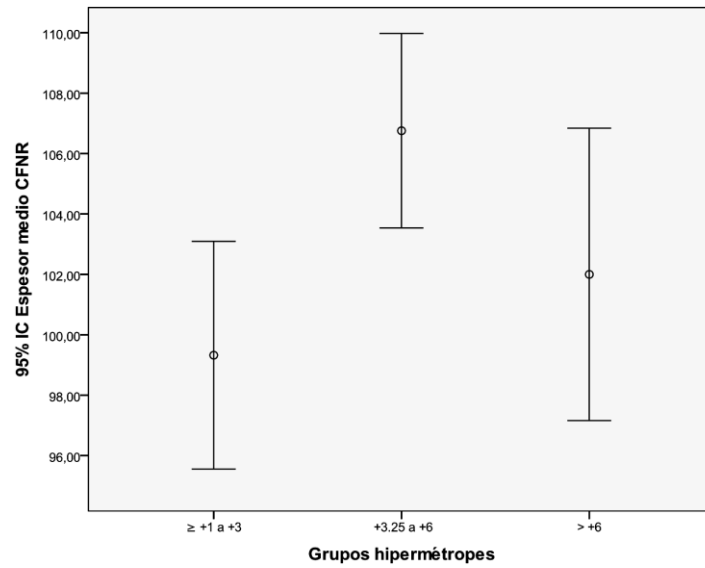


Figura 66.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre los grupos de ametropía en hipermétropes

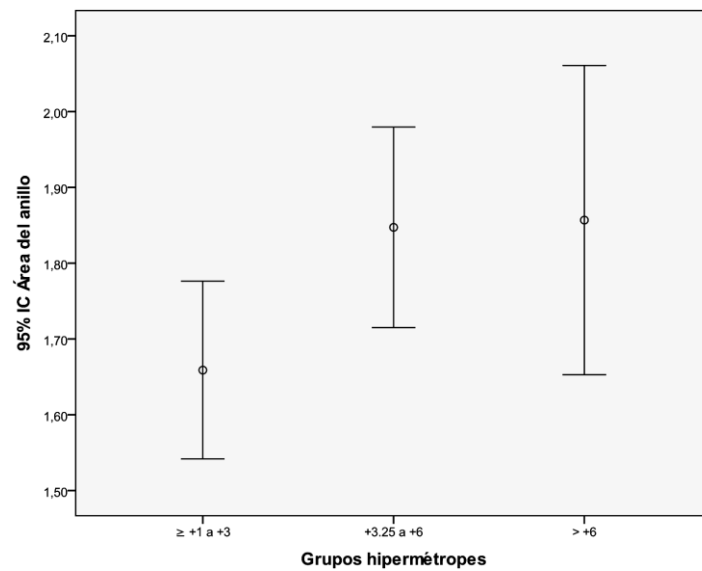


Figura 67.- Comparación del Área del anillo (mm^2) entre los grupos de ametropía en hipermétropes

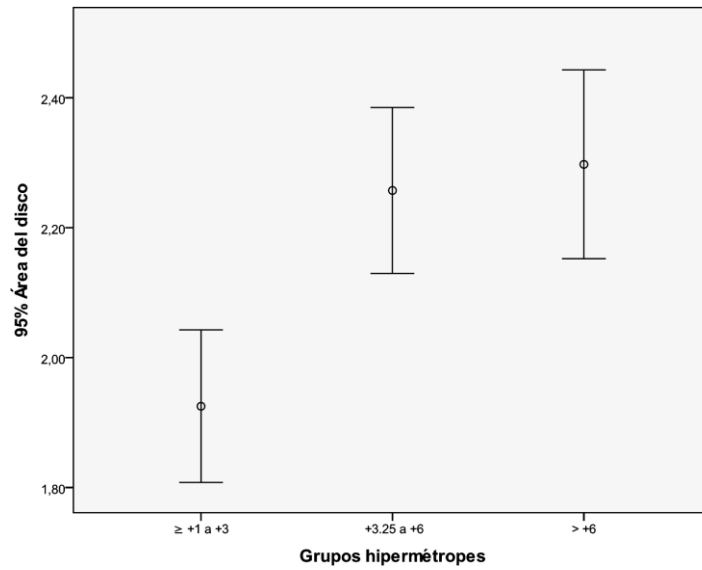


Figura 68.- Comparación del Área del disco (mm²) entre los grupos de ametropía en hipermétropes

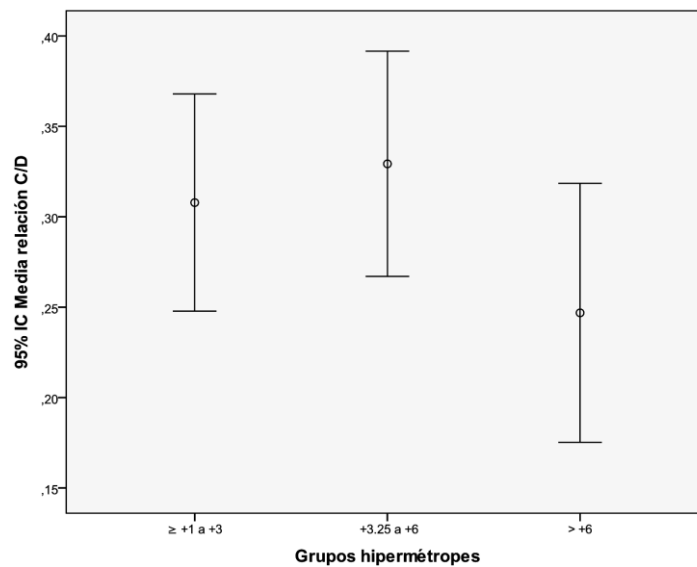


Figura 69.- Comparación de la Media de la relación C/D entre los grupos de ametropía en hipermétropes

5.3.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes

Igual que se hizo en los otros grupos de sujetos, se construyó el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), que para el segmento anterior, relacionando la biomecánica corneal con los anatomía del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas de la retina.

Como variable dependiente se tomó el espesor medio de la CFNR y como independientes: CH, CRF, PIOg, PIOcc, ECC, LA, error refractivo (Rx) y edad. Igualmente no se introdujeron juntas la LA y el Rx, debido a la alta colinealidad ($r=-0.68$).

Sólo la variable LA fue influyente en el espesor medio de la CFNR, la cual consigue explicar en un 9.6% la variabilidad observada en el espesor medio de la CFNR ($p=0.002$) (Tabla 63, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes). Así pues, según estos resultados por cada milímetro de incremento en la LA, el espesor medio de la CFNR disminuirá alrededor de 4.00 μm (Tabla 64, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes).

Siguiendo el mismo modelo de análisis en los grupos de hipermétropes, tenemos que para el espesor medio de la CFNR, en los hipermétropes bajos, la LA fue la única variable predictiva, la cual influye en un 14.7% ($p=0.019$), así que, cuando la LA aumente 1.00 mm el espesor medio de la CFNR disminuirá 5.76 μm .

En el grupo de hipermétropes medios, ninguna variable fue influyente en las medidas del espesor medio de la CFNR.

En cuanto a los hipermétropes altos, la variable más influyente fue la edad, en un 33.4% ($p=0.019$), aumentando el espesor medio de la CFNR en 4.60 μm por cada año más de edad.

Se hizo el mismo análisis con el Área del anillo, tomando como variables independientes las mismas que para el espesor medio de la CFNR, encontrando la variable más influyente fue la PIOcc, la cual consigue explicar en un 13.8% la variabilidad observada en el Área del anillo ($p < 0.0001$) (Tabla 65, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que cuando la PIOcc aumente 1.00 mmHg, el Área del anillo disminuirá 0.04 mm² (Tabla 66, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes).

Siguiendo con el mismo análisis, en los hipermétropes bajos, la única variable influyente en las medidas del Área del anillo fue la CH, en un 14.3% ($p = 0.021$), resultando que para una disminución de 1.00 mmHg en la CH, el Área del anillo disminuirá 0.07 mm².

En cuanto a los hipermétropes medios, las variables PIOg y LA influyeron en un 27.6% en las medidas del Área del anillo. La PIOg influyó en un 17.9% ($p = 0.006$) y la LA en un 9.7% ($p = 0.03$), indicando que para un aumento de 1 mmHg en la PIOg, el Área del anillo disminuirá 0.06 mm² y cuando la LA aumente 1.00 mm, el Área del anillo se incrementará 0.22 mm².

En cuanto a los hipermétropes altos, fue muy influyente la LA, en un 41% ($p = 0.008$) y la PIOcc en un 20.8% ($p = 0.02$), así que, para un incremento de 1.00 mm en la LA, en este grupo de sujetos, el Área del anillo aumentará 0.54 mm² y cuando se produzca un incremento de 1 mmHg en la PIOg, el Área del anillo disminuirá 0.06 mm².

Con el Área del disco se hizo el mismo análisis, con las mismas variables independientes que para los parámetros anteriores del polo posterior, resultando que la LA en un 6.9% ($p = 0.01$), fue la variable más influyente (Tabla 67, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que cuando la LA aumente

1.00 mm, el Área del disco disminuirá 0.12 mm² (Tabla 68, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes).

Al realizar el análisis de regresión lineal múltiple de la variable Área del disco por grupos de ametropías en niños hipermétropes, se obtuvo como resultado que ninguna de las variables independientes influyó significativamente en el Área del disco, en ninguno de los grupos evaluados.

Siguiendo como en casos anteriores, tomando como variable dependiente la Media de la relación C/D y como independientes las mismas que anteriormente, se obtuvo que la PIOcc, en un 8.9% ($p=0.004$) y el ECC en un 4.7% ($p=0.028$), fueron variables influyentes (Tabla 69, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes). Según estos resultados por cada incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, la Media de la relación C/D, aumentará 0.015 y cada 100 μm de disminución en el ECC, la Media de la relación C/D aumentará 0.1 (Tabla 70, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermétropes).

En los hipermétropes bajos, se obtuvo que el ECC, en un 20.6% ($p=0.005$) y la PIOcc en un 9.6% ($p=0.038$), fueron variables influyentes para este grupo, resultando que por cada 100 μm de disminución en el ECC, la Media de la relación C/D aumentará en 0.3 y por cada incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, la Media de la relación C/D aumentará 0.02.

En el siguiente grupo (hipermétropes medios), ninguna variable fue influyente en las medidas de la variable Media de la Relación C/D.

En los hipermétropes altos, la variable influyente fue la PIOcc, en un 40.4% ($p=0.008$), resultando que cuando la PIOcc aumente 1.00 mmHg, la Media de la relación C/D aumentará 0.03.

5.4.- POBLACIÓN INFANTIL Y JUVENIL EVALUADA

En el total de evaluados, se incluyeron 293 ojos de 293 sujetos (135 niños y 158 niñas). En la Tabla 71 se muestran los valores promedio, desviación estándar y rango (máximo y mínimo) de todos los parámetros evaluados en el total de sujetos (emétopes, miopes e hipermétropes).

	6-17 años (n=293)			
	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 CFNR (μm)	99.46	11.21	82.00	131.00
Espesor superior CFNR (μm)	123.63	22.76	90.00	180.00
Espesor nasal CFNR (μm)	70.19	15.06	58.00	115.00
Espesor inferior CFNR (μm)	125.74	23.00	98.00	158.00
Espesor temporal 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

Tabla 71.- Valores promedio, desviación estándar y rango correspondientes al OD de todos los parámetros evaluados en el total de sujetos

En la tabla 72 se muestran los valores promedio y desviación estándar de todos los parámetros evaluados que se incluyeron para el análisis estadístico en el total de sujetos y divididos por grupos de edad.

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre los tres grupos de edad en el total de sujetos evaluados.

	6-17 años (n=293)	6 -10 años (n=122)	11 - 13 años (n=101)	14 - 17 años (n=70)	p -valor (ANOVA)
	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	media \pm DE	
Edad (años)	10.84 \pm 3.05	7.99 \pm 1.31	11.37 \pm 0.87	15.13 \pm 1.39	<0.0001*
Rx (D)	+0.14 \pm 3.41	+1.78 \pm 3.34	-0.74 \pm 2.92	-1.46 \pm 2.96	<0.0001*
Longitud axial (mm)	23.12 \pm 1.49	22.29 \pm 1.27	23.60 \pm 1.35	23.90 \pm 1.34	<0.0001*
PCA (mm)	3.12 \pm 0.33	2.97 \pm 0.32	3.21 \pm 0.30	3.26 \pm 0.25	<0.0001*
Km (D)	43.70 \pm 1.43	43.56 \pm 1.29	43.76 \pm 1.64	43.87 \pm 1.29	0.31
PIOcc (mmHg)	15.19 \pm 3.42	15.23 \pm 3.39	15.76 \pm 3.72	14.30 \pm 2.82	0.02*
PIOg (mmHg)	16.75 \pm 3.49	16.95 \pm 3.63	17.48 \pm 3.55	15.33 \pm 2.67	<0.0001*
CRF (mmHg)	12.30 \pm 1.89	12.48 \pm 1.92	12.60 \pm 1.89	11.54 \pm 1.69	0.001*
CH (mmHg)	12.12 \pm 1.71	12.32 \pm 1.65	12.14 \pm 1.82	11.74 \pm 1.60	0.07
Espesor corneal central (μ m)	542.68 \pm 37.20	547.39 \pm 36.51	547.78 \pm 39.62	527.20 \pm 30.46	<0.0001*
Espesor medio CFNR (μ m)	99.46 \pm 11.21	101.54 \pm 10.69	97.56 \pm 11.04	98.58 \pm 11.88	0.02*
Área del anillo (mm ²)	1.67 \pm 0.35	1.69 \pm 0.35	1.68 \pm 0.36	1.62 \pm 0.33	0.33
Área del disco (mm ²)	2.02 \pm 0.41	2.06 \pm 0.41	1.99 \pm 0.44	2.00 \pm 0.36	0.45
Media de la relación C/D	0.34 \pm 0.18	0.33 \pm 0.19	0.33 \pm 0.17	0.37 \pm 0.18	0.30

Tabla 72.- Valores promedio y desviación estándar del OD de todos los parámetros evaluados que se incluyeron para el análisis estadístico en el total de sujetos y divididos por grupos de edad.

*significancia estadística (ANOVA)

5.4.1.- Biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil

Igualmente que en todos los grupos evaluados, al valorar el total de sujetos, también se encontró una fuerte correlación positiva entre la CH y la CRF ($r=0.82$, $p<0.0001$) (Figura 70). El ECC correlacionó positivamente con todas las medidas del ORA (CH, CRF, PIOg y PIOcc), siendo más fuerte la correlación entre PIOg y CRF (Tabla 73, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.20.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil).

La CH correlacionó negativamente con la PIOcc ($r=-0.46$, $p<0.0001$) y la CRF positivamente con la PIOg ($r=0.62$, $p<0.0001$).

Según los resultados, encontramos una correlación estadísticamente significativa entre el error refractivo y la CH ($r=0.20$, $p=0.0001$) y negativa y significativa entre la LA y la CH ($r=-0.23$, $p<0.0001$) (Figura 71), con lo que encontraremos valores menores de CH en ojos más largos.

No se encontró correlación entre el error refractivo o la LA con el CRF.

En cuanto a las medidas de la PIO (PIOcc y PIOg), se encontró una débil correlación de la PIOcc con la LA ($r=0.19$, $p=0.001$) y con el error refractivo ($r=0.14$, $p=0.02$), no encontrándose tales correlaciones en la PIOg.

La correlación entre el error refractivo y LA fue muy fuerte ($r=-0.86$, $p<0.0001$).

Las demás correlaciones quedan reflejadas en la Tabla 73 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.20.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil).

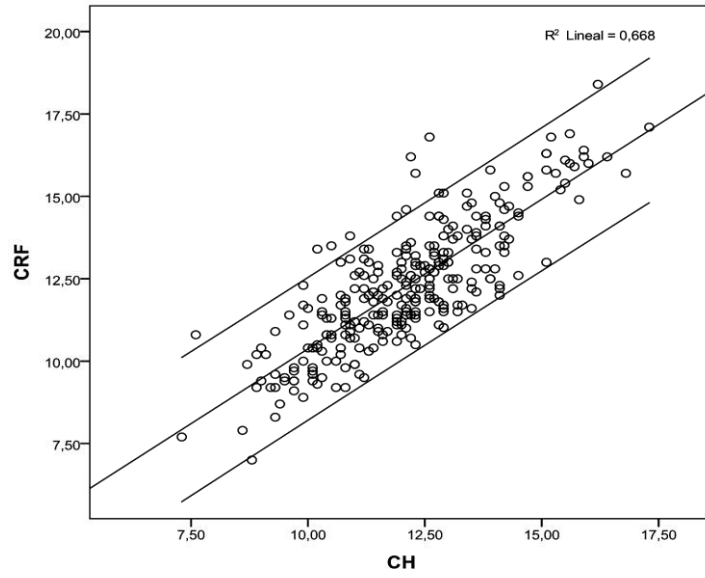


Figura 70.- Correlación CH (mmHg) - CRF (mmHg)

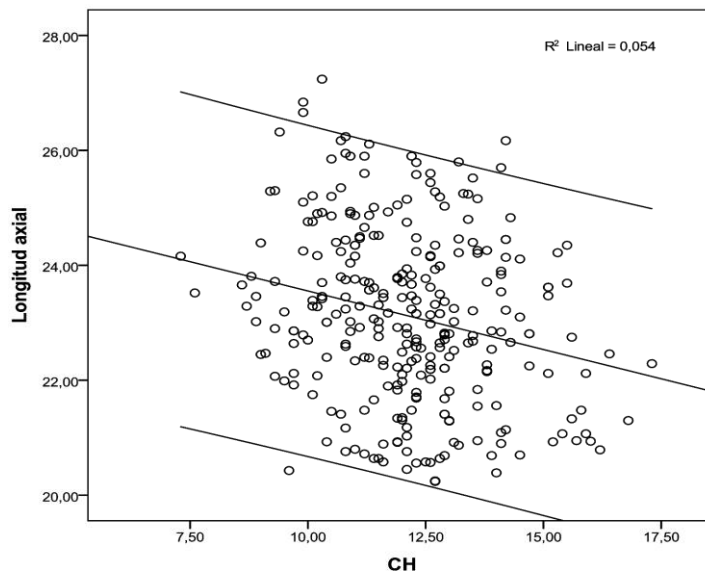


Figura 71.- Correlación CH (mmHg) - LA (mm)

5.4.2.- Comparación de las medidas del ORA por grupos en la población infantil y juvenil

El total de sujetos evaluados (emétropes, miopes e hipermétropes), se dividieron por grupos en función de la ametropía con el objetivo de evaluar si el error refractivo puede influir en la biomecánica corneal y las medidas de la PIO (PIOg y PIOcc). Se dividió a los sujetos en los siguientes grupos, miopes (de ≥ -0.50 a -3.00 D, de -3.25 a -6.00 D y de > -6.00 D), emétropes (grupo control) e hipermétropes (de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D, de $+3.25$ a $+6.00$ D y de $> +6.00$ D). Los valores medios \pm DE correspondientes a cada grupo están representados en las Tablas 9 (emétropes), 23 (miopes) y 51 (hipermétropes) de este mismo capítulo.

También se hizo la comparación de las medidas del ORA en función de la edad, dividiendo a los sujetos en tres grupos de edad (de 6 a 10,^{6,7} preadolescentes de 11 a 13 y adolescentes de 14 a 17 años). Los valores medios \pm DE correspondientes a cada grupo están representados en la Tabla 72.

5.4.2.1.- Comparación en función de la ametropía

Se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), pero en este caso entre todos los sujetos evaluados, divididos por grupos de ametropías, miopes (de ≥ -0.50 a -3.00 D, de -3.25 a -6.00 D y de > -6.00 D), emétropes (grupo control) e hipermétropes (de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D, de $+3.25$ a $+6.00$ D y de $> +6.00$ D) para determinar la posible influencia del grado de ametropía en las medidas del ORA.

La comparación entre grupos, igual que en los demás grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

En los grupos de ametropías, encontramos diferencias significativas en la CH principalmente entre los grupos de > -6.00 y $> +6.00$ D, cuya diferencia entre medias fue de 2.14 mmHg ($p=0.004$), siendo menor el valor de CH en el grupo de miopes. También se encontraron diferencias significativas entre el grupo control (emétropes) y el de > -6.00 D con una diferencia entre medias de 1.40 ($p= 0.02$) y entre emétropes y miopes bajos, con una diferencia de medias de 0.90 ($p= 0.02$).

Asimismo se encontraron diferencias significativas entre los grupos de miopes bajos y medios, comparado con el grupo de hipermétropes altos (>+6.00 D), con una diferencia entre medias de 1.80 ($p= 0.01$) y 1.63 ($p= 0.009$) respectivamente. Así pues se observa disminución de la CH con el incremento de la miopía. (Figura 72)

No se encontraron diferencias significativas en el CRF ($p=0.07$) ni en la PIOg ($p=0.51$) entre los distintos grupos de ametropías evaluados (Figuras 73, 74 respectivamente). Sin embargo, en la PIOcc se encuentran diferencias significativas entre el grupos de miopes altos (>-6.00 D) y el de emétopes, con una diferencia entre medias de 2.70 mmHg ($p=0.04$), siendo mayor la PIOcc en el grupo de miopes. (Figura 75)

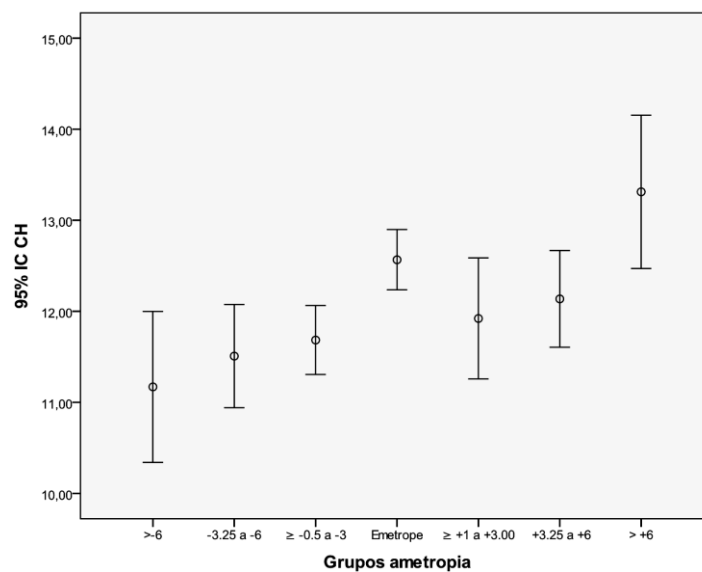


Figura 72.- Comparación de la CH (mmHg) entre los grupos de ametropías del total de sujetos

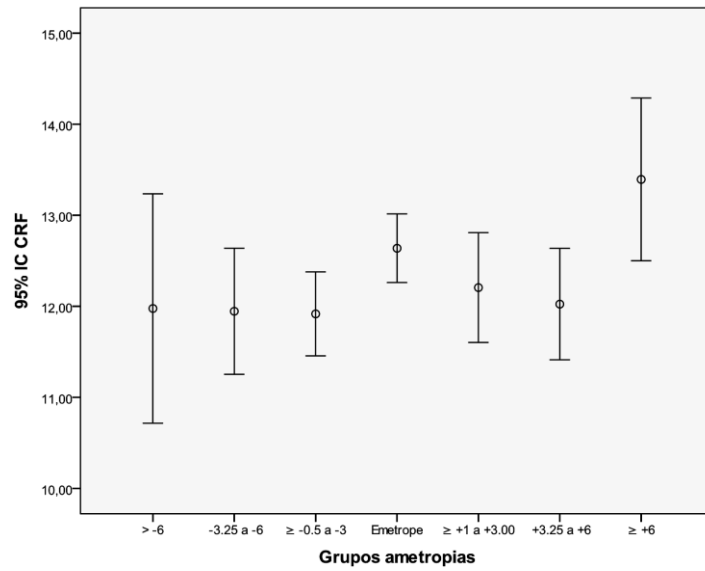


Figura 73.- Comparación del CRF (mmHg) entre los grupos de ametropías del total de sujetos

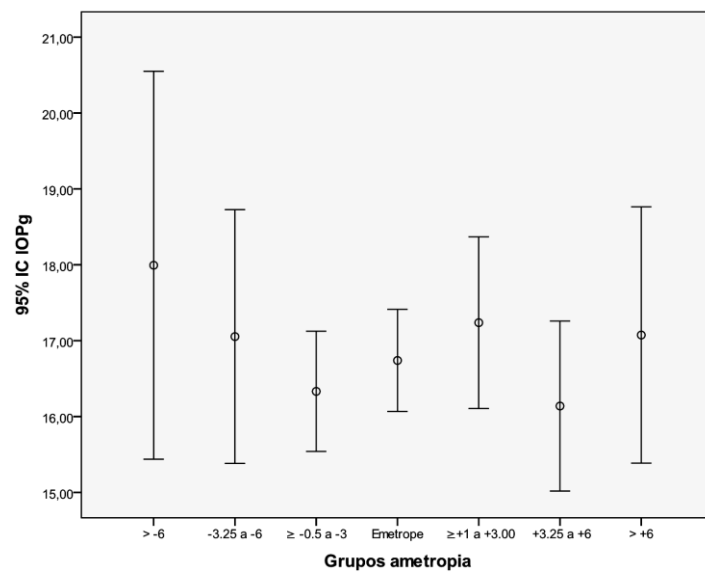


Figura 74.- Comparación de la PIOg (mmHg) entre los grupos de ametropías del total de sujetos

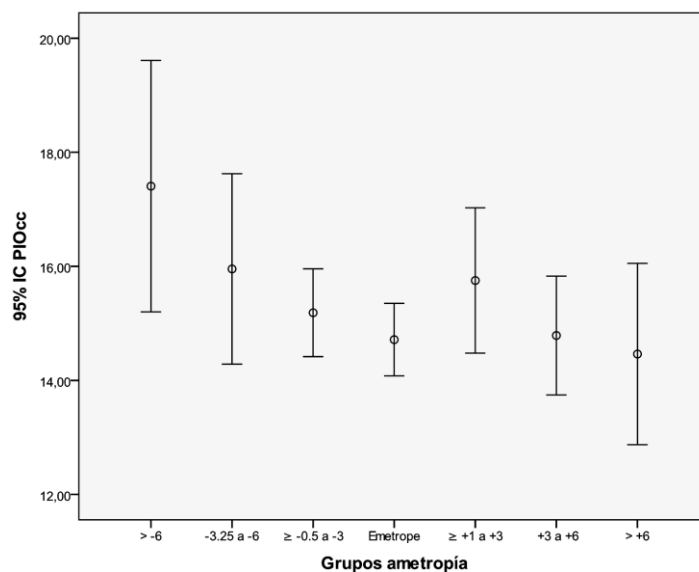


Figura 75.- Comparación de la PIOcc (mmHg) entre los grupos de ametropías del total de sujetos

5.4.2.2.- Comparación en función de la edad

La comparación entre estos tres grupos, igual que en los demás grupos evaluados, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre ellos se realizó el análisis post hoc, utilizando el test HSD Tukey.

No se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos de edad en el total de sujetos evaluados en la CH ($p=0.07$), aunque vemos una tendencia a disminuir con la edad ya que la diferencia entre medias entre el grupo de niños más pequeños y el de 14-17 años fue de 0.60 mmHg ($p=0.05$), siendo el valor de CH menor en el grupo de niños mayores (Figura 76).

Sin embargo en el CRF, sí que se encuentran diferencias significativas entre los grupos de menor (6-10 años) y mayor edad (14-17 años), con una diferencia de medias entre ambos de 1.06 mmHg ($p=0.001$), siendo menor en el grupo de mayor edad (Figura 77), los mismo ocurre con la PIOg, ya que se

encuentran diferencias significativas entre los grupos de menor y mayor edad, siendo estas de 2.15 mmHg ($p=0.007$) (figura 78), asimismo la PIOg fue menor en el grupo de mayor edad y lo mismo con la PIOcc, que también se encontraron diferencias significativas entre los grupos de menor y mayor edad, con una diferencia entre medias de 1.46 mmHg ($p=0.016$). (Figura 79)

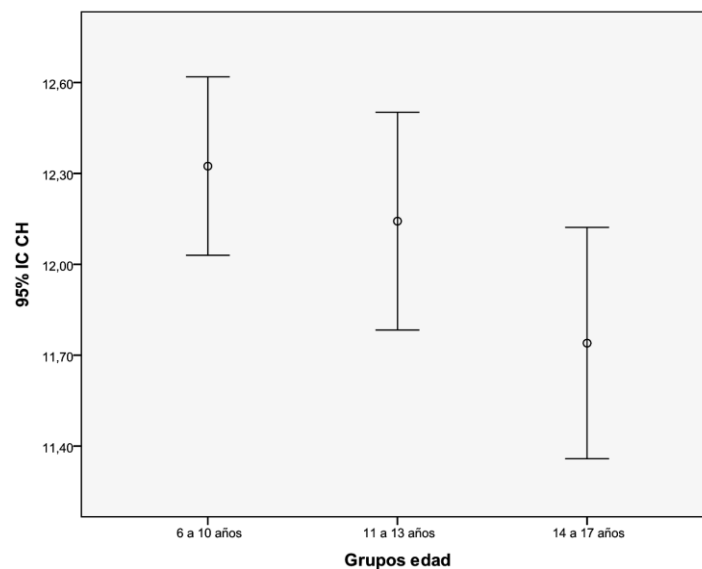


Figura 76.- Comparación de la CH (mmHg) entre los grupos de edad del total de sujetos

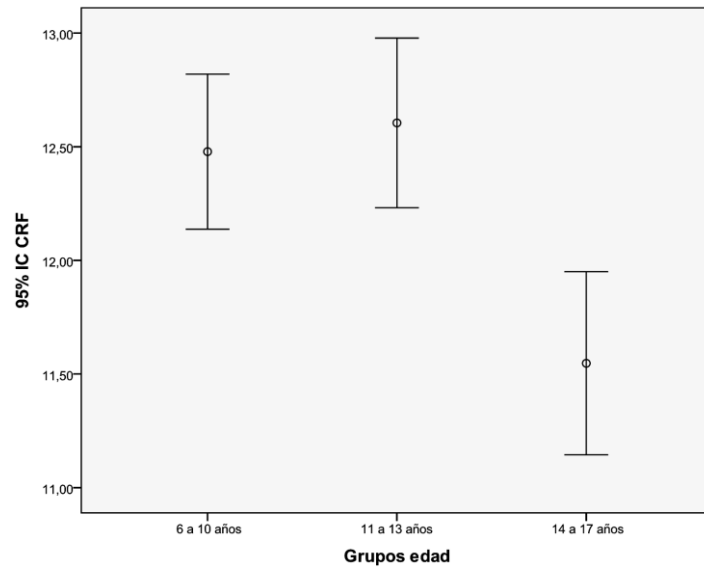


Figura 77.- Comparación del CRF (mmHg) entre los grupos de edad del total de sujetos

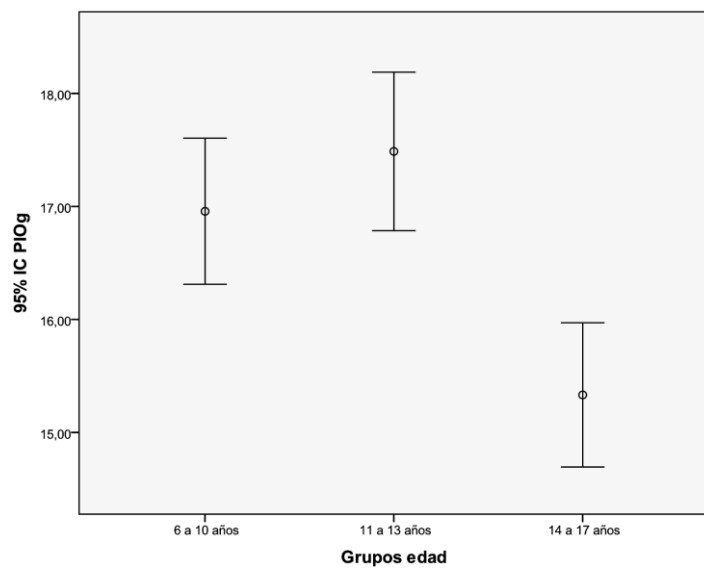


Figura 78.- Comparación de la PIOg (mmHg) entre los grupos de edad del total de sujetos

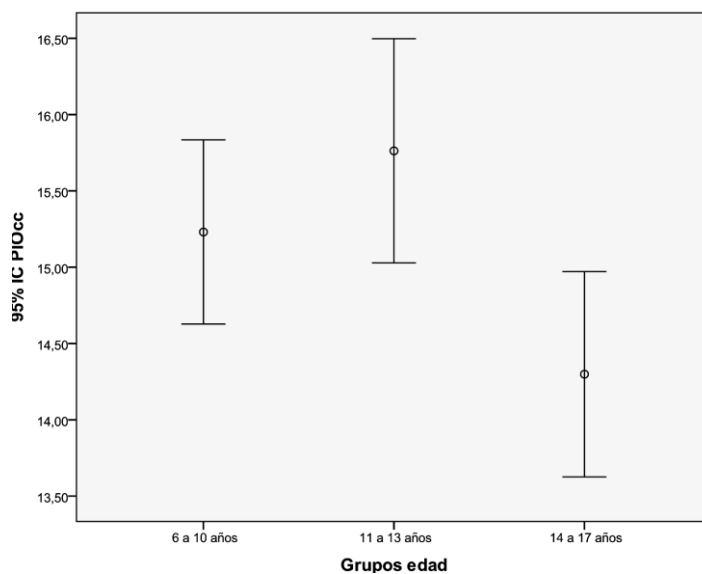


Figura 79.- Comparación de la PIOcc (mmHg) entre los grupos de edad del total de sujetos

5.4.3.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil

Siguiendo el mismo modelo que para el resto de grupo de ametropías, en el total de sujetos evaluados, se construyó el mismo modelo de análisis de regresión lineal múltiple (método de regresión por pasos), tomando como variable dependiente la CH y como variables independientes, longitud axial (LA), error refractivo (Rx), curvatura corneal media (Km), espesor corneal central (ECC) profundidad de cámara anterior (PCA) y edad. Las variables LA y Rx no se analizaron juntos debido a la alta colinealidad entre ellas ($r=0.86$).

ECC, LA y Km fueron las variables pronosticadoras del modelo y consiguen explicar un 22.5% de la variabilidad observada en CH. Así pues, cuando las demás variables pronosticadoras se mantienen constantes, el ECC contribuye a explicar en un 11.6% la variabilidad en la CH, que se incrementa en un 7.1% cuando se introduce la LA y en un 3.8% cuando se añade Km al modelo (Tabla 74, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.21.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que para un incremento de 100 μm en el ECC, la CH aumentará en 1.80 mmHg, cada 1.00 mm de aumento en la LA, habrá una disminución de la CH de 0.30 mmHg y cada 1.00 D de incremento en la Km, la CH se incrementará en 0.24 mmHg (Tabla 75, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.21.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil).

Se hizo el mismo modelo de regresión múltiple que para la CH, con la CRF como variable dependiente y las mismas variables independientes que con la CH.

Los resultados indican que el ECC ($p < 0.001$), la LA ($p = 0.011$) y la Km ($p = 0.024$) fueron asociadas significativamente con el CRF. El modelo explicó que el ECC, representó el 26.7% de la variabilidad en el CRF que se incrementó en un 1.9% con la inclusión de la LA y en un 1.3%, al incluir la Km (Tabla 76, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.21.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil). Los resultados indican que por cada 100 μm de incremento en el ECC, el CRF aumentará en 2.80 mmHg y cada 1.00 mm de aumento en la LA, el CRF se reducirá en 0.16 mmHg y por cada 1.00 D de incremento en la Km, la CRF se incrementará en 0.15 mmHg. (Tabla 77, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.21.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil).

5.4.4.- Biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en la población infantil y juvenil

En la Tabla 78 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.22.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en la población infantil y juvenil) se muestran las correlaciones de los anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina con las propiedades biomecánicas corneales y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil.

Se encontraron correlaciones positivas y estadísticamente significativas entre la CH y el espesor medio de la CFNR ($r=0.14$, $p=0.01$), (Figura 80) Aunque débilmente, la CH correlacionó negativamente con la media de la relación C/D ($r=-0.13$, $p=0.02$), y positivamente con el área del anillo ($r=0.19$, $p=0.001$) y el Área del disco ($r=0.15$, $p=0.01$)

El CRF no correlacionó con ninguno de los parámetros evaluados. En cuanto a la presión intraocular, tanto la PIOg como la PIOcc, correlacionaron negativamente con el espesor medio de la CFNR y el Área del anillo.

El espesor medio de la CFNR decrece con el aumento de la LA, encontrándose una correlación negativa entre ambos ($r=-0.37$, $p<0.0001$) (Figura 80). También se encontraron correlaciones significativas entre el equivalente esférico (Rx) y el espesor medio de la CFNR, Área del anillo y Área del disco.

Las demás correlaciones quedan reflejadas en la Tabla 78 (Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.22.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en la población infantil y juvenil).

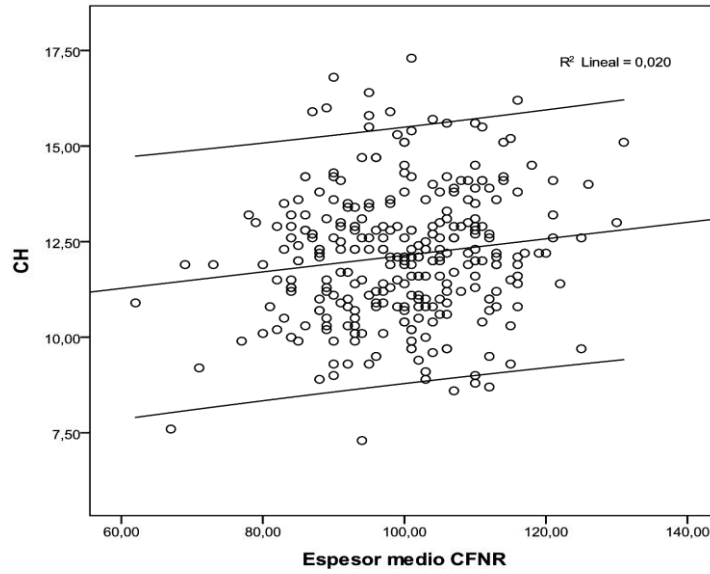


Figura 80.- Correlación espesor CFNR (μ m) - CH (mmHg)

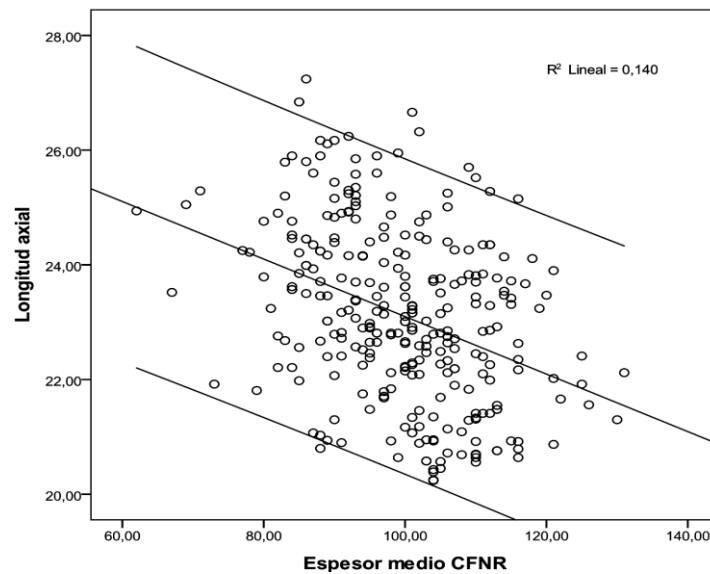


Figura 81.- Correlación espesor CFNR (μ m) - LA (mm)

5.4.5.- Comparación de las medidas de los parámetros del segmento posterior por grupos en la población infantil y juvenil

Se dividió al total de sujetos evaluados, tanto en grupos de edad (de 6 a 10,^{6,7} preadolescentes de 11 a 13 y adolescentes de 14 a 17 años) como de ametropías, miopes (de ≥ -0.50 a -3.00 D, de -3.25 a -6.00 D y de > -6.00 D), emétopes (grupo control) e hipermétropes (de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D, de $+3.25$ a $+6.00$ D y de $> +6.00$ D), igual que en el segmento anterior.

5.4.5.1.- Comparación en función de la ametropía

Siguiendo el mismo análisis que en el segmento anterior, se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), dividiendo a los sujetos por grupos de ametropías, miopes (de ≥ -0.50 a -3.00 D, de -3.25 a -6.00 D y de > -6.00 D), emétopes (grupo control) e hipermétropes (de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D, de $+3.25$ a $+6.00$ D y de $> +6.00$ D) para determinar la posible influencia del grado de ametropía en los parámetros del segmento posterior.

La comparación entre grupos, igual que en los demás grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre grupos se utilizó el post hoc análisis, aplicando el test HSD Tukey.

Al comparar el espesor medio de la CFNR entre grupos de ametropías y tomando el grupo de emétopes como grupo control, se encontraron diferencias significativas entre el grupo de > -6.00 D y el de emétopes, con una diferencia entre medias de $13.64 \mu\text{m}$ ($p < 0.0001$), siendo menor el espesor de la CFNR en los miopes, sin embargo, entre el grupo de $> +6.00$ D y los emétopes, también se encontraron diferencias significativas, pero menos relevantes, ya que la diferencia entre medias fue de $6.36 \mu\text{m}$ ($p = 0.02$), siendo mayor el espesor en los hipermétropes altos. Aunque cabe resaltar que las diferencias más grandes las encontramos entre los grupos extremos de ametropía, entre los grupos de > -6.00 D y $> +6.00$ D, refiriendo una diferencia de medias de $19.64 \mu\text{m}$ ($p < 0.0001$). Comparando el grupo de miopes altos (> -6.00 D) con el resto de grupos, se

encuentran diferencias estadísticamente significativas entre este grupo y todos los evaluados, excepto en el de miopes medios (-3.25 a -6.00 D), con lo que con el aumento de la miopía, se produce una reducción del espesor medio de la CFNR (Figura 82).

El grado de ametropía también influyó en el Área del anillo, aunque comparando los emétopes con los distintos grupos evaluados no se encontraron diferencias significativas, si que se encuentran entre el grupo de miopes altos (>-6.00 D) y el de hipermétropes medios (diferencia de medias de 0.35 mm², $p=0.006$) y entre los miopes altos (>-6.00 D) e hipermétropes altos (>+6.00 D) cuya diferencia de medias fue de 0.36 mm² ($p=0.03$), con lo que encontramos una disminución del Área del anillo con el incremento de la miopía (Figura 83).

El Área del disco también disminuye con el aumento de la miopía, ya que al comparar entre los distintos grupos, encontramos diferencias significativas entre el grupo control de emétopes y todos los grupos de miopes, siendo estas diferencias de 0.20 mm² ($p=0.02$) para el grupo de ≥ -0.50 a -3.00 D, de 0.31 mm² ($p=0.008$) para el grupo de -3.25 a -6.00 D y de 0.34 mm² ($p=0.02$) para el grupo de >-6.00 D. Entre el grupo de emétopes y los grupos de hipermétropes no se encontraron diferencias significativas. También se encuentran diferencias significativas entre los grupos de miopes altos (>-6.00 D) y el de hipermétropes de +3.25 a +6.00 D (diferencia de medias de 0.50 mm², $p<0.0001$) y entre los miopes altos e hipermétropes altos (> +6.00 D), con una diferencia de medias de 0.53 mm² ($p=0.002$).

Contrariamente a las variables anteriores, referente a la Media de la relación C/D, el grado de ametropía no influyó en esta variable, ya que no se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos evaluados ($p=0.09$) (Figura 85).

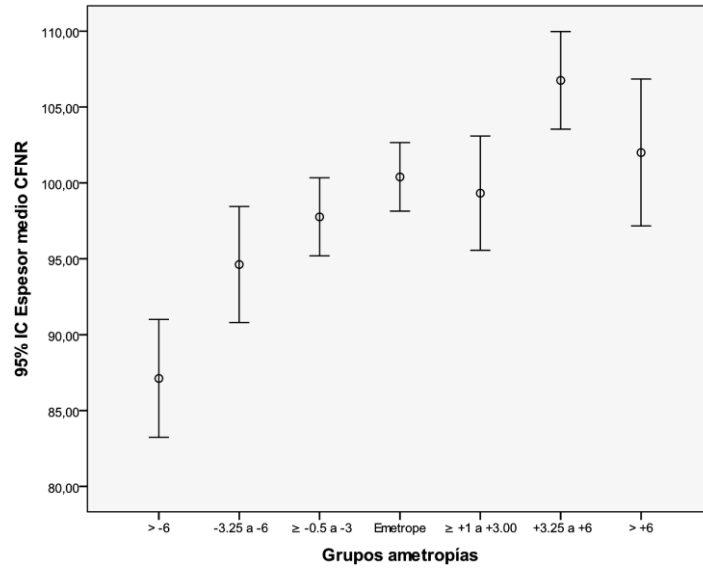


Figura 82.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre los grupos de ametropía del total de sujetos

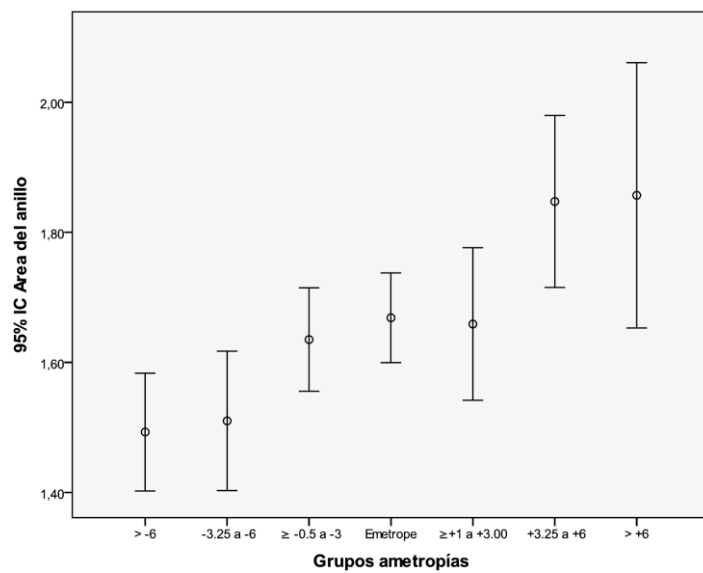


Figura 83.- Comparación del Área del anillo (mm^2) entre los grupos de ametropía del total de sujetos

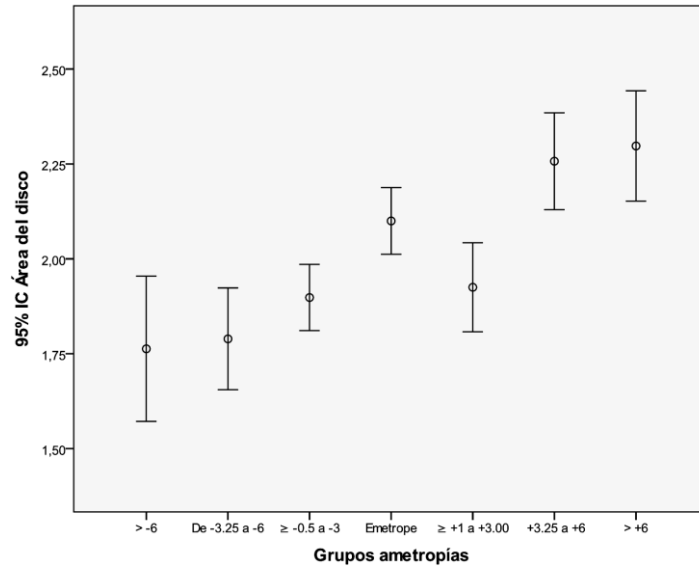


Figura 84.- Comparación del Área del disco (mm²) entre los grupos de ametropía del total de sujetos

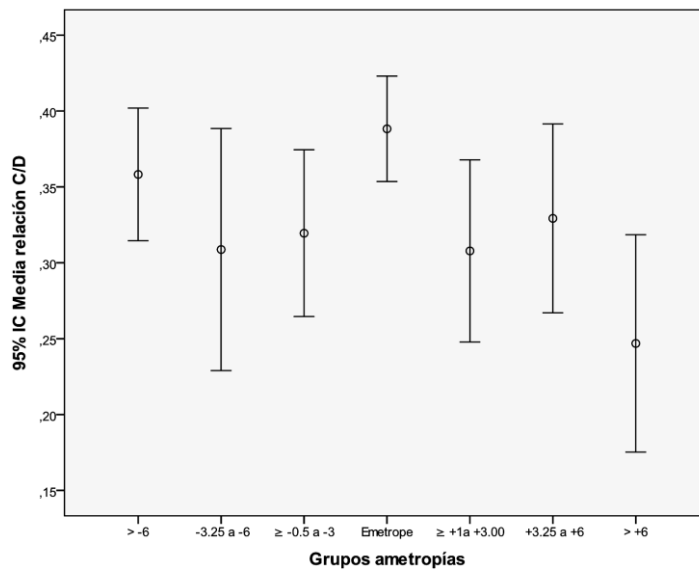


Figura 85.- Comparación la Media relación C/D entre los grupos de ametropía del total de sujetos

5.4.5.2.- Comparación en función de la edad

En función de los grupos de edad (Tabla 56), de la misma forma que en el segmento anterior, se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia de la edad en los parámetros del segmento posterior.

La comparación entre los tres grupos, igual que en los demás grupos evaluados, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre ellos se realizó el análisis post hoc, utilizando el test HSD Tukey.

Se encontraron diferencias significativas entre el grupo de niños más pequeños (6-10 años) y el de 11-13 años, con una diferencia entre medias de $4.00 \mu\text{m}$ ($p=0.02$), siendo el espesor medio de CFNR menor en el grupo de niños más mayores, aunque cabe resaltar que esta disminución clínicamente no es relevante. (Figura 86).

La edad no influyó en el Área del anillo ($p=0.33$), en el Área del disco ($p=0.45$), ni en la Media de la relación C/D ($p=0.30$), ya que al comparar estos tres grupos, mediante el ANOVA y el test HSD Tukey, no se encontró ninguna diferencia significativa entre los distintos grupos de edad en ninguno de los parámetros evaluados (Figuras 87,88 y 89 respectivamente).

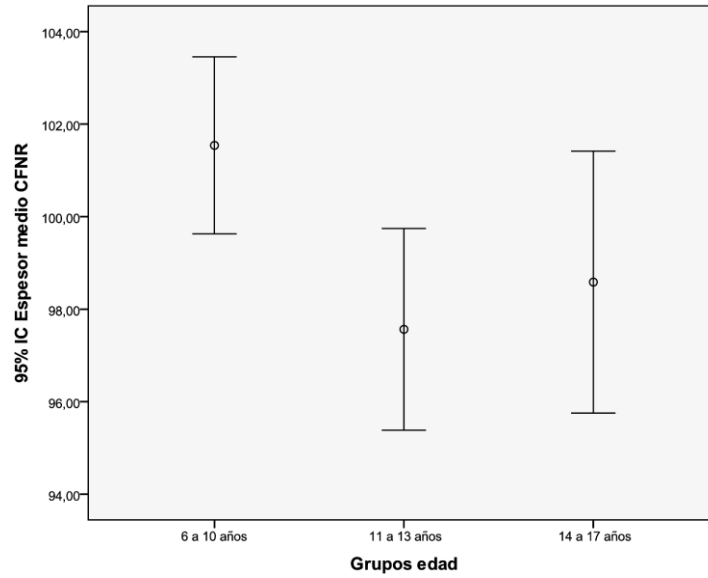


Figura 86.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre los grupos de edad del total de sujetos

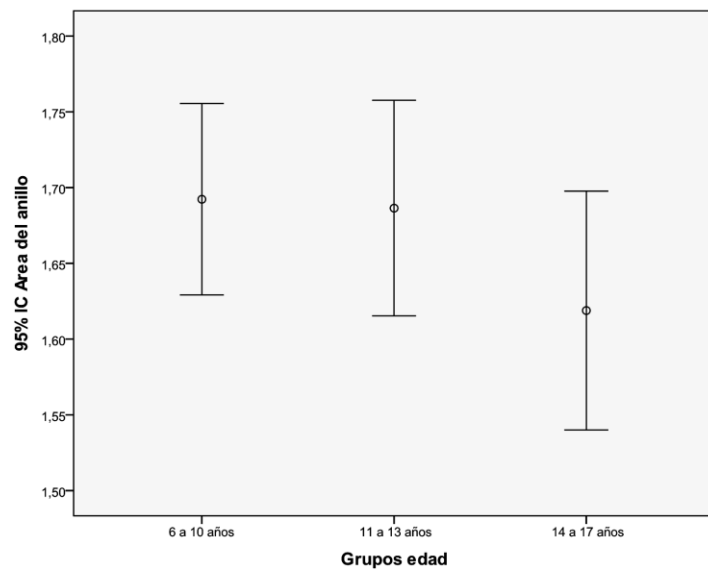


Figura 87.- Comparación del Área del anillo (mm^2) entre los grupos de edad del total de sujetos

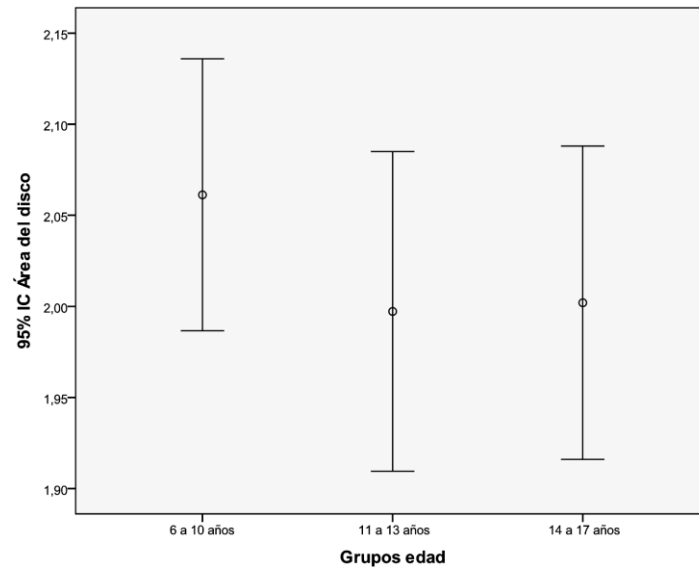


Figura 88.- Comparación del Área del disco (mm²) entre los grupos de edad del total de sujetos

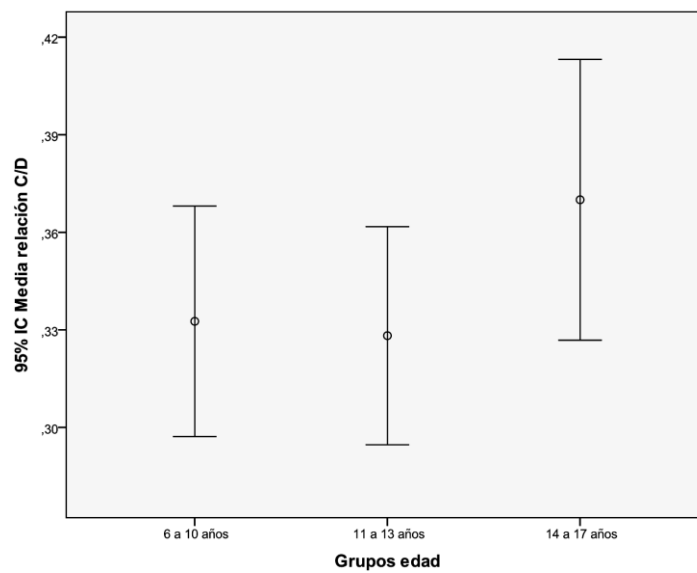


Figura 89.- Comparación la Media relación C/D entre los grupos de edad del total de sujetos

5.4.6.- Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil

Siguiendo el mismo modelo que en los grupos anteriores, para el total de sujetos evaluados, se hizo el mismo análisis de regresión lineal múltiple (método de la regresión por pasos), que para el segmento anterior, relacionando biomecánica corneal con los anatomía del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas de la retina.

Como variable dependiente se tomó el espesor medio de la CFNR y como independientes: CH, CRF, PIOg, PIOcc, ECC, LA, Rx y edad. Igual que en otros grupos, no se introdujeron juntas la LA y el Rx, debido a la alta colinealidad ($r=0.86$).

Se encontró que la LA fue influyente en el espesor medio de la CFNR, la cual consigue explicar un 14.1% de la variabilidad observada en el espesor medio de la CFNR (Tabla 79, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil). Los resultados del modelo de regresión múltiple indican que cuando la LA aumente 1.00 mm, el espesor medio de la CFNR disminuirá 2.80 μm (Tabla 80, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil).

Siguiendo con el mismo análisis, se tomó como variable dependiente el Área del anillo y como independientes las mismas que para el espesor medio de la CFNR, resulta que las variables influyentes fueron la LA en un 7.6% ($p<0.0001$) y la PIOcc en un 4.5% ($p<0.0001$) (Tabla 81, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil), con lo que para un incremento de 1.00 mm en la LA, el Área del anillo disminuirá 0.05 mm^2 , para un incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, el Área del anillo disminuirá 0.02 mm^2 (Tabla 82, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del

Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil).

Se realizó el mismo análisis tomando como variable dependiente el Área del disco y como independientes las mismas que para el espesor medio de la CFNR. Como resultado se obtuvo que la variable influyente fue la LA en un 8.7% ($p < 0.0001$) (Tabla 83, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil), resultando que para un incremento de 1.00 mm en la LA, el Área del disco disminuirá 0.08 mm^2 (Tabla 84, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil).

Se tomó como variable dependiente la Media de la relación C/D y como independientes las mismas que anteriormente para los anatomía del nervio óptico. Se obtiene que las variables pronosticadoras fueron la PIOcc en un 2.0% ($p = 0.015$) y el ECC en un 2.1% ($p = 0.01$) (Tabla 85, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil). Según los resultados tenemos que para un incremento de 10 mmHg en la PIOcc, la Media de la relación C/D aumentará 0.10, cuando se produzca una reducción de 100 μm en el ECC, la Media de la relación C/D aumentará 0.10 (Tabla 86, Capítulo 9, Apéndice, punto 9.2.- Tablas, subpunto 9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil).

5.4.7.- Influencia de la ametropía en todos los parámetros evaluados de la población infantil y juvenil

En la Tabla 87 están reflejadas las medias \pm DE de todos los parámetros evaluados en el total de sujetos emétopes, miopes e hipermétropes y anteriormente en la Tabla 71 quedan reflejadas las medias \pm DE del total de sujetos evaluados.

La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza ANOVA. Comparación entre emétopes, miopes e hipermétropes.

	EMETROPES (n=99)	MIOPESES (n=100)	HIPERMETROPES (n=94)	p -valor (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*

Tabla 87.- Valores promedio y desviación estándar del OD de todos los parámetros evaluados que se incluyeron para el análisis estadístico divididos según la ametropía.

*significancia estadística (ANOVA)

5.4.7.1.- Influencia de la ametropía en el segmento anterior en la población infantil y juvenil

Para determinar la posible influencia de la ametropía en la biomecánica corneal se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), comparando los tres grupos de sujetos: emétopes, miopes e hipermétropes.

La comparación entre los tres grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre ellos se realizó el análisis post hoc, utilizando el test HSD Tukey.

En los tres grupos evaluados, encontramos diferencias significativas en la CH comparando el grupo de emétopes (grupo control) con el de miopes, cuya diferencia entre medias fue de 1.01 mmHg ($p < 0.0001$), siendo menor el valor de CH en el grupo de miopes, también encontramos diferencias significativas entre el grupo de miopes e hipermétropes, con una diferencia de medias de 1.00 mmHg ($p = 0.01$), siendo la CH menor en el grupo de miopes. Sin embargo al comparar el grupo control con los hipermétropes, no se encuentran diferencias significativas ($p = 0.40$) (Figura 90).

Al valorar la influencia de la ametropía en el CRF, realizando el análisis de varianza entre grupos, se encuentran diferencias significativas entre el grupo control y grupo de miopes, con una diferencia de medias de 1.00 mmHg ($p = 0.02$). No se encontraron diferencias significativas entre emétopes e hipermétropes ($p = 0.50$), ni entre miopes e hipermétropes ($p = 0.31$) (Figura 91).

No se encontraron diferencias significativas entre los tres grupos de ametropía evaluados ni en la PIOg ($p = 0.92$), ni en la PIOcc ($p = 0.10$) al realizar el análisis de varianza (ANOVA) (Figuras 92 y 93). Así que el error refractivo no influyó en las medidas de la PIO para el total de sujetos evaluados.

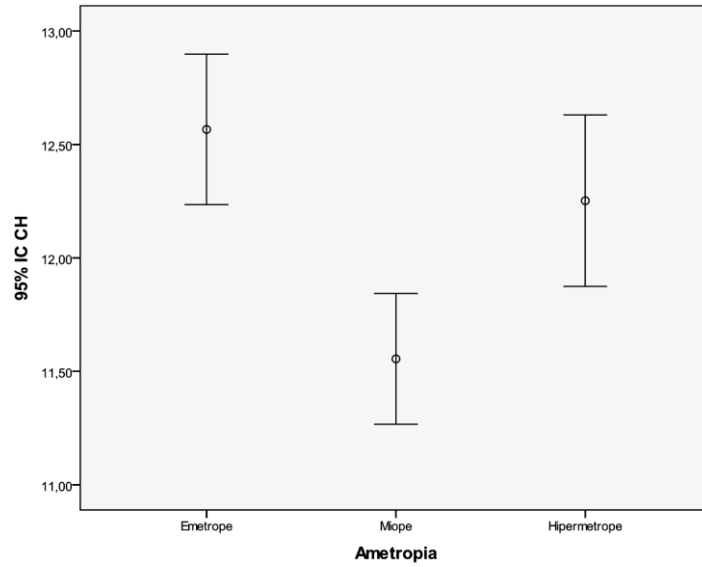


Figura 90.- Comparación de la CH (mmHg) entre emétrope, miopes e hipermétropes

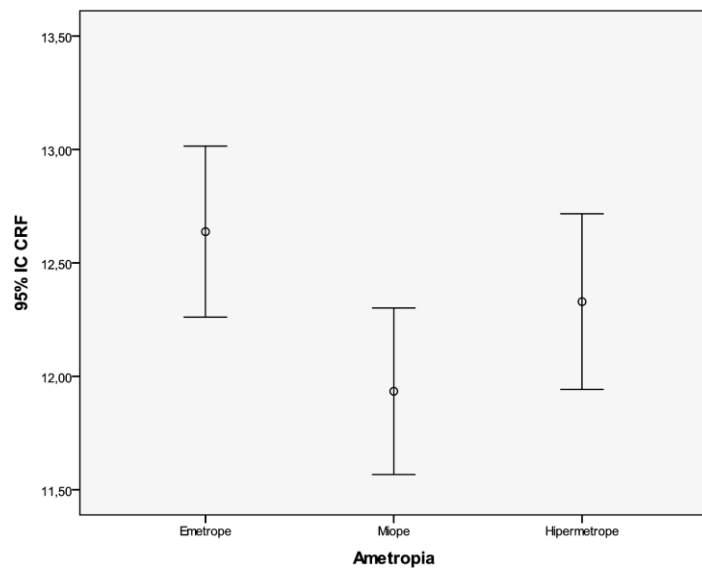


Figura 91.- Comparación del CRF (mmHg) entre emétrope, miopes e hipermétropes

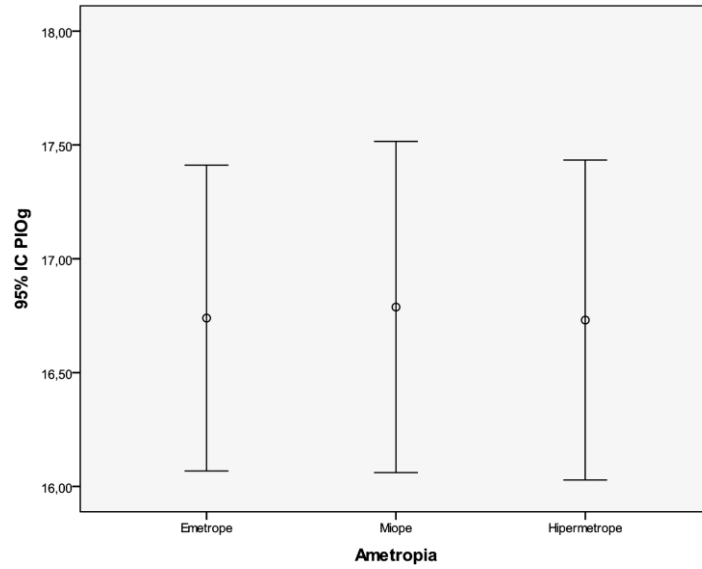


Figura 92.- Comparación de la PIOg (mmHg) entre emétopes, miopes e hipermétropes

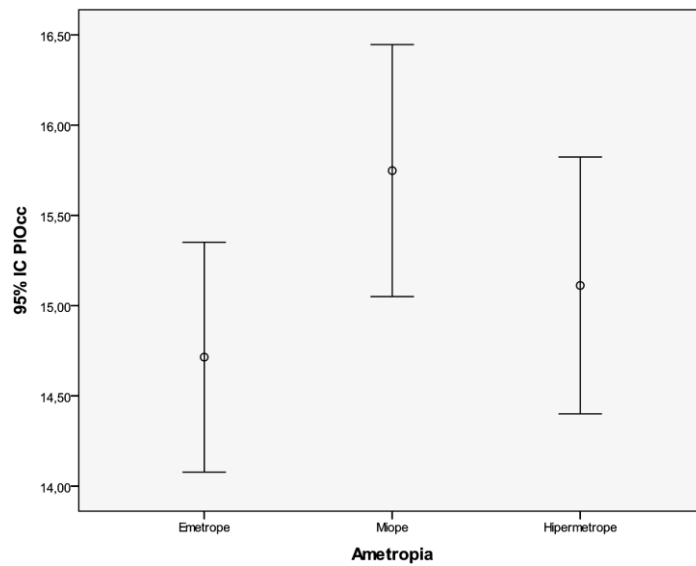


Figura 93.- Comparación de la PIOcc (mmHg) entre emétopes, miopes e hipermétropes

5.4.7.2.- Influencia de la ametropía en el segmento posterior en la población infantil y juvenil

En el segmento posterior, también se realizó el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), para determinar la posible influencia de la ametropía, comparando los tres grupos de sujetos: emétopes, miopes e hipermétropes.

La comparación entre los tres grupos, se hizo mediante el análisis ANOVA y para identificar cualquier diferencia entre ellos se realizó el análisis post hoc, utilizando el test HSD Tukey.

Según estos resultados, al comparar el grupo control (emétopes) con el grupo de miopes, se observa reducción del espesor medio de la CFNR en miopes, con una diferencia entre medias de $5.19 \mu\text{m}$ ($p=0.002$). Entre emétopes e hipermétropes, no se encuentran diferencias significativas en el espesor medio de la CFNR ($p=0.21$). Sin embargo, al comparar miopes e hipermétropes, se encuentra una reducción del espesor medio de la CFNR de $7.82 \mu\text{m}$ ($p<0.0001$) en miopes respecto a hipermétropes (Figura 94).

Se valoró la influencia de la ametropía en el Área del anillo mediante el análisis de varianza entre grupos (ANOVA), y para identificar cualquier diferencia entre los grupos se realizó el análisis post hoc, aplicando el test HSD Tukey.

Únicamente se encuentran diferencias significativas entre el grupo de miopes y el de hipermétropes, con una diferencia de medias de 0.20 mm^2 ($p<0.0001$), siendo menor el área del anillo en miopes. No se encontraron diferencias significativas entre emétopes y miopes ($p=0.17$), ni entre emétopes e hipermétropes ($p=0.08$) (Figura 95).

Mediante el análisis de varianza entre grupos (ANOVA) se evaluó la posible influencia de la ametropía en el Área del disco y para identificar cualquier diferencia entre los grupos, se utilizó el análisis post hoc aplicando el test HSD Tukey.

Comparando emétopes con miopes, encontramos una diferencia estadísticamente significativa en el Área del disco (diferencia de medias de 0.25 mm^2 , $p < 0.0001$), siendo menor en el grupo de miopes. Entre el grupo control de emétopes e hipermetropes ($p = 0.80$), no se encuentran diferencias significativas, sin embargo entre miopes e hipermetropes, sí que existen diferencias significativas, siendo esta diferencia de medias de 0.28 mm^2 ($p < 0.0001$), con lo que el Área del disco es menor en el grupo de miopes (Figura 96).

También se valoró la posible influencia de la ametropía en la Media de la relación C/D, realizando el análisis de varianza entre grupos (ANOVA) y para identificar cualquier diferencia entre los grupos, se utilizó el análisis post hoc aplicando el test HSD Tukey.

Se encontraron diferencias significativas en la Media de la relación C/D, entre los grupos control y miopes, con una diferencia de medias de 0.06 ($p = 0.03$), siendo menor la Media de la relación C/D en emétopes. También se encuentran diferencias significativas entre emétopes e hipermetropes, cuya diferencia es de 0.08 ($p = 0.006$), siendo menor esta relación en sujetos hipermetropes (Figura 97).

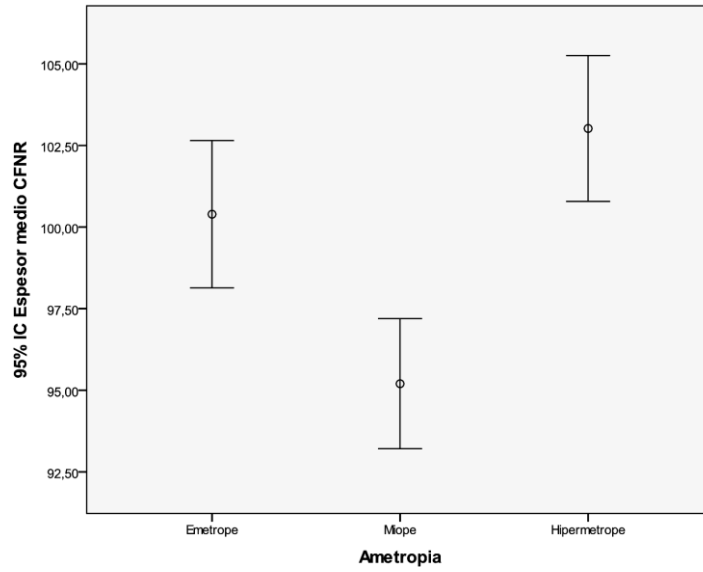


Figura 94.- Comparación del espesor de CFNR (μm) entre emétopes, miopes e hipermétropes

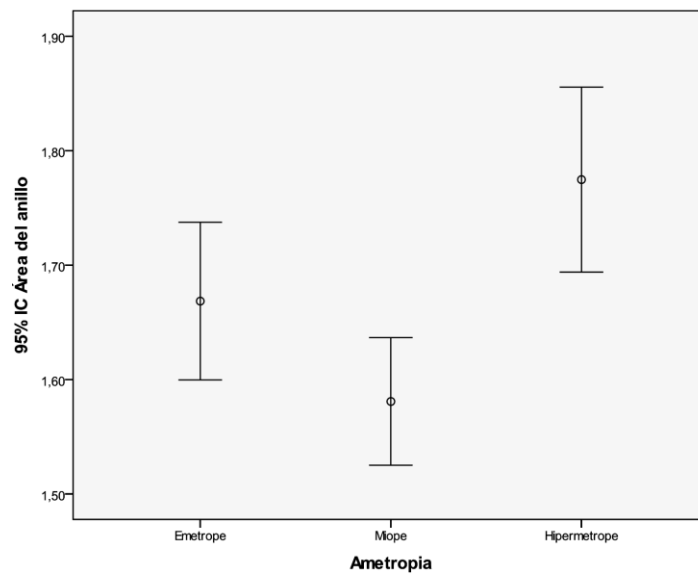


Figura 95.- Comparación del Área del anillo (mm^2) entre emétopes, miopes e hipermétropes

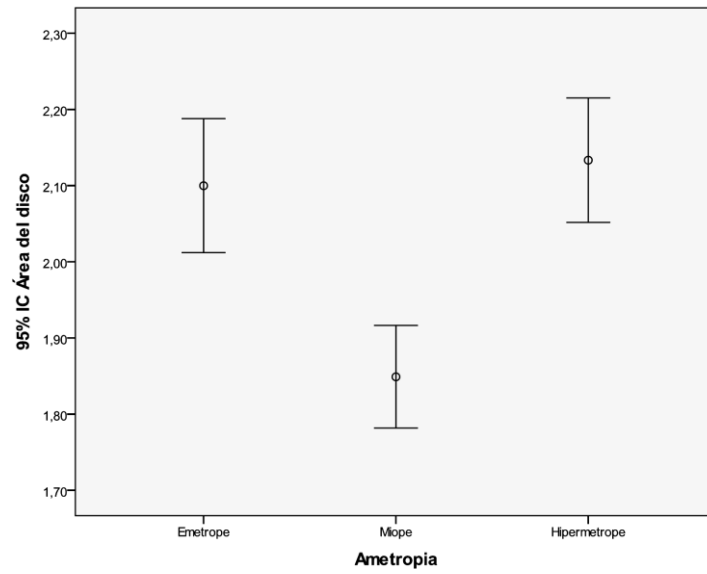


Figura 96.- Comparación del Área del disco (mm²) entre emétrope, miopes e hipermétropes

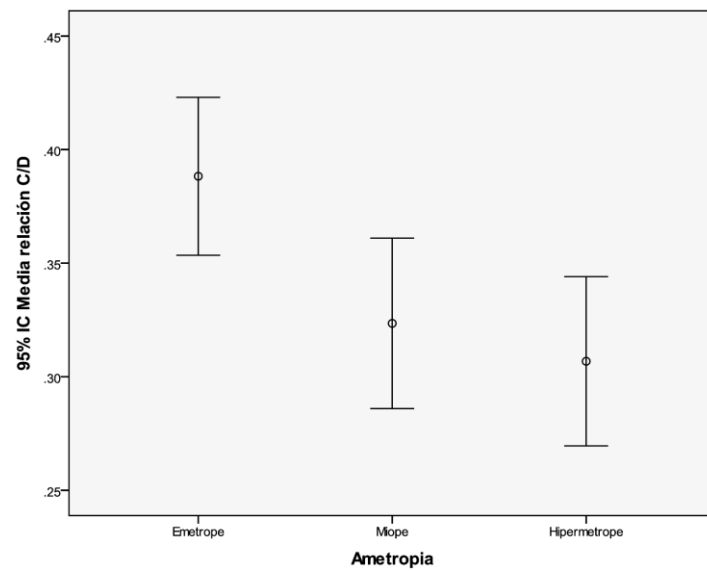


Figura 97.- Comparación de la Media relación C/D entre emétrope, miopes e hipermétropes

6.- DISCUSIÓN

6.- DISCUSIÓN

El estudio de la configuración anatómica ocular y su relación con el estado refractivo viene desde antiguo. Atchison et al,¹⁴¹ relataron que la mayoría de los ojos adoptan una forma oblata, aunque los ojos miopes también intentan adoptar una forma oblata, estos tienen una mayor tendencia hacia una configuración menos oblata y más prolata que los emétopes e hipermétropes.

En este sentido encontramos resultados divergentes en función de los investigadores, mientras que Chen et al,¹⁴² encontraron una mayor desviación de esfericidad en ojos miopes, en comparación con hipermétropes y emétopes, Cheng et al,¹⁴³ no revelaron diferencias significativas comparando miopes con hipermétropes y emétopes.

Parece ser que la aparición de la miopía se produce debido a una descoordinación entre los componentes refractivos del segmento anterior y el aumento de la longitud axial durante el proceso de emetropización.⁷ Teniendo en cuenta el papel tan importante que juega el segmento anterior durante la emetropización nos preguntamos si las propiedades biomecánicas corneales, pueden influir en los cambios refractivos que se producen durante el desarrollo de la miopía.¹⁴⁴ Se ha demostrado que cambios en la longitud axial relacionados con la miopía, están asociados con cambios en la estructura corneal.¹⁵

Así pues, es bien conocido el papel tan importante de la morfología y estructura corneal en sus propiedades biomecánicas (CH y CRF), con lo que se supone, que los parámetros biomecánicos corneales (CH y CRF), también pueden proporcionar una valoración de las características mecánicas de todo el globo ocular.¹⁴⁵ A su vez, se han descrito asociaciones entre la CH y CRF con el riesgo de glaucoma, con lo que se pensó que posibles cambios en la lámina cribosa, podrían estar relacionados con la biomecánica corneal.¹⁴⁶ También se han confirmado correlaciones significativas entre el ECC y la CFNR y varios parámetros de la cabeza del nervio óptico, tanto en sujetos normales como en hipertensos oculares, refiriendo que un adelgazamiento de la CFNR es un factor determinante de glaucoma.¹⁵

Con todas estas afirmaciones, en este estudio se ha valorado la posible influencia de las propiedades biomecánicas corneales durante el proceso de emetropización, estudiando los parámetros histéresis corneal (CH) y factor de resistencia corneal (CRF) en los diferentes grupos de ametropía y en función de la edad. Así mismo, se ha evaluado el espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) y los parámetros del nervio óptico y su relación con las propiedades biomecánicas corneales. Además hemos estudiado la relación que con los defectos refractivos y la configuración y capa de fibras nerviosas de la retina tienen parámetros como la longitud axial, profundidad de cámara anterior, espesor corneal central y curvatura corneal.

6.1.- BIOMECÁNICA CORNEAL Y PARÁMETROS BIOMÉTRICOS OCULARES

Se considera que las características estructurales del segmento anterior pueden desempeñar un papel importante en la modulación de las propiedades biomecánicas corneales.^{147,148} Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que parámetros geométricos como la longitud axial pueden desempeñar un papel determinante en la biomecánica corneal. Según estos resultados, la longitud axial y la miopía están asociados con cambios biomecánicos corneales, donde se confirmó una relación negativa y significativa entre la longitud axial e histéresis corneal (CH) y entre longitud axial y el factor de resistencia corneal (CRF), coincidiendo con estudios anteriores.^{16,149}

6.1.1.- Relación entre longitud axial y el error refractivo con la biomecánica corneal.

Song et al¹⁶ refieren que valores bajos de CH, pueden indicar una predisposición hacia el aumento de la miopía, en este sentido, son varios los autores que han investigado la relación entre las propiedades biomecánicas corneales y su relación con errores refractivos en niños^{15,16,150} y adultos⁸⁸ normales, obteniendo diversos resultados. Algunos refieren una disminución de la

CH y CRF en miopes^{16,88,150} encontrando una relación estadísticamente significativa entre la CH y la LA.

Chang et al,¹⁵⁰ asociaron valores más bajos de CH con córneas más delgadas, mayor PCA y ojos más largos, en 126 ojos de 63 niños taiwaneses cuya media de edad fue de 12.02 ± 3.19 años y la media del equivalente esférico de -2.51 ± 1.84 D. Estos autores también encontraron valores más bajos de CRF en córneas más delgadas, pero no encontraron correlación del CRF con la LA o la PCA.

Contrariamente a las afirmaciones anteriores, Lim et al¹⁵ no encontraron diferencias significativas de la CH o del CRF con el error refractivo, ni tampoco encontraron ninguna correlación con la LA en 271 sujetos, la mayoría de los cuales eran chinos con una media de edad de 13.97 ± 0.89 años.

En el presente estudio, en el total de sujetos evaluados, con una media de edad de 10.84 ± 3.05 , encontramos una reducción de la CH y CRF con el incremento de la longitud axial, resultados coincidentes con Song et al,¹⁶ los cuales evaluaron la biomecánica corneal en 2024 ojos de 1153 niños chinos, con una media de edad de 14.7 ± 0.8 años. Estos autores, encontraron una reducción significativa de la CH con el incremento de la LA.

Shen et al,⁸⁸ comparando las propiedades biomecánicas corneales en miopes altos (EE > -9 D), con un grupo control (EE de 0.00 a -3.00 D), cuya media de edad fue de 33.70 ± 12.40 años y de raza china, encuentran una significativa reducción de la CH con el incremento de la LA. Estos resultados son coincidentes con los reportados en el presente trabajo, en el que se aprecia una reducción significativa de la CH con el incremento de la LA, más notable en el grupo de miopes altos (> -6.00 D), ya que según el resultado del análisis de regresión lineal múltiple, por cada milímetro de incremento en la LA, la histéresis corneal disminuirá en 2.05 mmHg en niños miopes de más de -6.00 D. Al comparar la histéresis corneal por grupos de ametropías, encontramos diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control de emétopes y el grupo de miopes altos, siendo la diferencia entre los valores medios de ambos grupos de 1.39 mmHg ($p=0.02$). Entre el grupo control y los hipermetropes no hubo diferencias significativas, sin embargo, estas diferencias fueron importantes al

comparar los grupos de miopes altos (>-6.00 D) con el de hipermétropes altos ($>+6.00$ D), siendo esta diferencia de 2.14 mmHg ($p=0.004$).

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 del error refractivo, y comparando los grupos de niños hipermétropes, se encuentran diferencias significativas entre el grupo de hipermétropes bajos ($\geq+1.00$ a $+3.00$ D) y el de hipermétropes altos ($>+6.00$ D), cuya diferencia entre medias es de 1.40 mmHg ($p=0.03$).

Entre los grupos de miopes, no se encontraron diferencias significativas en las medidas del CRF, pero sí que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de hipermétropes medios ($+3.25$ a $+6.00$ D) y altos ($>+6.00$ D) con una diferencia entre medias de 1.37 mmHg ($p=0.03$), siendo mayor el CRF con el aumento del error refractivo. Cabe resaltar que no se ha encontrado en la literatura existente, ningún estudio referente a la biomecánica corneal en niños hipermétropes.

Los resultados encontrados en niños miopes coinciden con los de Shen et al,⁸⁸ que no encontraron diferencias significativas en el CRF y el ECC entre los grupos de miopes, refiriendo una disminución significativa de la CH en el grupo de miopes altos. Estos investigadores hipotetizaron que, en niveles altos de miopía se producen cambios más grandes en la biomecánica corneal, sin cambios significativos en el ECC, concluyendo que cambios biomecánicos corneales pueden ser debidos a cambios microestructurales en la córnea.

Según trabajos publicados, existe una relación entre la LA y la biomecánica corneal, y al contrario, esta relación no se cumple con el error refractivo,^{16,151} quizá porque el error refractivo no siempre está relacionado con la longitud axial. En el presente trabajo, en el total de sujetos evaluados, si que se encontró relación significativa entre la LA y la CH, y también entre la CH y el error refractivo. Sin embargo en el grupo de miopes altos (>-6.00 D) fue más influyente la LA sobre la CH que el error refractivo, coincidiendo con estudios anteriores.

16,151

Según todos estos resultados publicados, la longitud axial (también relacionada con patologías oculares como desprendimiento de retina y glaucoma) podría jugar un papel más importante en la predicción de la biomecánica corneal que 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.¹⁶ Así pues, no está claro si una reducción de la CH se produce antes, o 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.

6.1.2.- Influencia del error refractivo en la PIO

Existe un acuerdo generalizado en que una presión intraocular más elevada puede estar asociada con longitudes axiales mayores.¹⁵²⁻¹⁵⁴ Estas afirmaciones no se ratifican en niños, lo que indica que la asociación entre la longitud axial y la PIO sólo puede estar presente en sujetos con los ojos totalmente desarrollados.¹⁵⁵

Sin embargo hay estudios en los que se pone de manifiesto la relación entre el grado de miopía y el incremento de la PIO en niños, Edwards et al,¹⁵⁶ refieren valores más altos de PIO en niños miopes comparados con no miopes. En este sentido, Song et al¹⁶ encontraron relación significativa entre la PIO y la LA en niños chinos, también se encontró una fuerte correlación entre la LA y la PIO en adultos blancos.¹⁵⁷ Shen et al,⁸⁸ refieren que en adultos, tanto la PIOg como la PIOcc, fue más alta en miopías elevadas (EE >-9.00 D) que en miopes más bajos (EE de 0.00 a 3.00 D). Igualmente, Chang et al¹⁵⁰ revelaron relación significativa entre la PIO y el crecimiento de la miopía en niños y contrariamente Lee et al¹⁵⁸ no encontraron correlación entre la LA y la PIO también en niños.

En el presente estudio, en el total de sujetos evaluados, se encontró una relación positiva entre el incremento de la miopía y la PIOcc ($r=0.20$, $p=0.04$), y entre la longitud axial y la PIOcc ($r=0.19$, $p=0.001$), lo que indica un aumento de la PIOcc con el incremento de la longitud axial y la miopía.

Al comparar la PIO entre los distintos grupos, en función de la ametropía y en el total de sujetos evaluados, no se encuentran diferencias significativas en la PIOg ($p=0.51$ y $p=0.92$ respectivamente), pero sí que encontramos diferencias significativas en la PIOcc, dándose estas diferencias entre el grupo control de emétopes y el de miopes altos (>-6.00 D), con una diferencia entre medias de 2.70 mmHg ($p=0.04$).

Entre la población adulta, también se han descrito valores más altos de PIO en sujetos miopes^{159,160} y Congdon et al,¹⁴⁹ encontraron una relación significativa entre la LA y la PIO, en ojos con longitudes axiales mayores de 25.00 mm.

David et al,¹⁶¹ refirieron una relación más fuerte entre el estado refractivo y la PIO en individuos nacidos en el norte de África o Asia, comparado con individuos nacidos en Europa o en América del Norte. Otros autores,¹⁶² describen valores más altos de PIO en niños cuyos padres eran miopes, comparando con los que los padres no lo eran, sugiriendo que puede haber una predisposición genética a la PIO elevada con la miopía. En sus conclusiones refieren que la PIO no fue un factor contribuyente en el crecimiento de la miopía, pero fue una consecuencia de la miopía. En un estudio similar hecho en niños, Goss et al¹⁶³ no encontraron valores altos de PIO después del inicio de la miopía.

Todos estos resultados contradictorios, pueden ser debidos al grado de ametropía, a las diferentes razas evaluadas y sobre todo a las diferentes técnicas de medida utilizadas.⁸⁸

Actualmente no está claro el papel de la PIO en el desarrollo de la miopía en función de si la PIO es un precursor del crecimiento axial o una consecuencia del incremento del tamaño del globo ocular.¹⁶ Sin embargo, sí que parece haber una asociación entre la PIO y la longitud axial, al menos en valores de miopía elevados.

6.1.3.- Influencia del espesor corneal central en la biomecánica corneal

En todos los sujetos evaluados, así como en todos los grupos, tanto de edad como de ametropías, se obtiene una fuerte correlación entre la CH y el CRF y a su vez, estos dos parámetros se correlacionaron con el ECC, siendo la relación estadísticamente significativa entre los tres parámetros evaluados ($p < 0.0001$). Estos resultados referentes a la relación entre CH-ECC y CRF-ECC, serían los esperados, lo que indica que los parámetros biomecánicos corneales se ven afectados por los parámetros fisiológicos de la córnea.

Así pues, factores que pueden influir en la medida del ECC, también pueden tener impacto en las medidas de CH y CRF. Estas afirmaciones coinciden en investigaciones hechas tanto en niños¹⁵ como en adultos.^{78,146} Kamiya et al¹⁶⁴ describieron que el ECC es muy importante y significativo en la CH, mostrando valores bajos de CH en córneas más delgadas. Un valor bajo de histéresis indica que la córnea vuelve rápidamente a su forma original después de la deformación, mientras que un valor más alto de histéresis, nos indica que el ojo tarda más tiempo en volver a su forma original, dando como resultado una mayor rigidez.⁸⁰ Por lo tanto, córneas más gruesas, tienen mayor resistencia a la deformación, lo que resulta en valores más altos de CH.

A pesar de la frecuente relación entre el ECC y la CH, hay autores^{164,165} que refieren, en función de la moderada correlación entre el ECC y la CH encontrada en sus estudios, que puede haber otros factores biomecánicos desconocidos que también pueden influir en la CH.

Esta suposición es debida a estudios en los que obtienen valores menores de CH, después de un incremento del ECC como resultado del edema post-operatorio¹⁶⁶ e inflamación producida por lentes de contacto.¹⁶⁷

Broman et al,⁸⁰ encontraron que ojos con el mismo ECC tenían valores distintos de CH, lo que indica que factores no identificados pueden influir en la biomecánica corneal.

Respecto a la influencia del ECC en el estado refractivo, algunos investigadores han observado una reducción del ECC con la miopía,⁶⁸ otros

refieren un incremento del ECC con la miopía,¹⁵⁹ mientras que otros no encuentran diferencias en el ECC entre miopes y no miopes o con los niveles de miopía.^{15,88} En el presente trabajo, el ECC aumenta con el incremento de la miopía ($r=0.23$, $p=0.02$), coincidiendo con Nomura et al,¹⁵⁹ que asocian ojos más largos con corneas más gruesas. Este aumento del ECC con el error refractivo, se confirma también el grupo de hipermétropes ($r=0.21$, $p=0.04$), encontrando mayor ECC con el incremento del error refractivo. Estos resultados contradictorios encontrados en el presente estudio, coinciden con las afirmaciones dadas por Sales Sanz en su tesis doctoral, refiriendo que el ECC no se correlaciona con el defecto refractivo esférico a pesar de que la esclerótica sí que lo haga. (Influencia de la córnea en la medida de la presión intraocular con distintos sistemas tonométricos. Tesis Doctoral. Marco Sales Sanz. Madrid 2010). Otros autores en estudios hechos tanto en niños⁸ como en adultos,^{67,71,72} tampoco encuentran correlación entre el ECC y el error refractivo.

6.1.4.- Influencia de la curvatura corneal en la biomecánica corneal

Grosvenor y Goss en 1988¹⁶⁸ ya relataron que ojos más largos, tenían tendencia a tener córneas más planas, afirmaciones que más tarde confirmaron Chang et al.⁶⁸

Algunos autores¹⁶⁹ describen que la curvatura corneal puede afectar a las medidas de la PIO, realizadas tanto con tonometría de aplanación como con tonometría de contorno dinámico. Según los resultados obtenidos, refieren que la curvatura corneal afecta a la rigidez de la córnea, siendo las córneas más planas menos rígidas,^{169,170} con lo que valores más bajos de CH y CRF son al menos, parcialmente indicativos de una menor rigidez corneal.¹⁵

La hipótesis sería que si la curvatura corneal afecta a la fuerza necesaria para aplanar la córnea, una córnea más curvada necesitaría mayor fuerza para aplanarse, lo que daría como resultado una presión más elevada y consecuentemente esto afectaría a las medidas dadas por el ORA.¹⁷¹

En este trabajo según el análisis de regresión lineal múltiple en el total de sujetos evaluados, se encontró reducción de la CH y del CRF en córneas más

planas (radios de curvatura mayores) ($p < 0.0001$ y $p = 0.02$ respectivamente). Coincidiendo con Lim et al,¹⁵ que también refieren reducción de la CH y la CRF, con el incremento del radio de curvatura corneal. Contrariamente a estos resultados, Broman et al,⁸⁰ Chang et al¹⁵⁰ y Franco et al,¹⁷¹ no encontraron asociación entre la curvatura corneal y la CH o el CRF. Estos resultados pueden ser debidos principalmente a diferencias en el protocolo de estudio, Chang et al¹⁵⁰ evaluaron niños entre 7-18 años, todos ellos chinos y miopes, Broman et al⁸⁰ examinaron individuos con un amplio rango de edad (20-100 años), aunque el 80% de los sujetos estaban entre los 40-80 años y Franco et al¹⁷¹ evaluaron sujetos entre 20-63 años. En comparación con este trabajo, tanto la edad (6-17 años) como la raza (caucásicos) eran significativamente diferentes que en estudios previos, en los cuales se ha descrito que la edad tiene una influencia significativa tanto en la biomecánica corneal¹⁷² como en la curvatura corneal.^{173,174}

6.1.5.- Influencia de la edad en la biomecánica corneal.

Los resultados del presente trabajo nos indican que la edad no ha tenido una influencia significativa en la biomecánica corneal, posiblemente debido al corto rango de edad evaluado (6-17 años), o a que los cambios biomecánicos se producen a edades más tardías, aunque si que se ha encontrado una tendencia hacia la disminución de los valores de los parámetros biomecánicos corneales en el grupo de sujetos más mayores.

Han sido varios los autores que han descrito los valores de CH en niños Kirwan et al,⁸⁷ Lim et al¹⁵ y Song et al,¹⁶ no encontrando relación entre la edad y la CH. Sin embargo, en estudios hechos en adultos,^{87,146} se encuentran valores más bajos de CH en adultos que en niños, con lo que se piensa que hay un cambio de la biomecánica corneal con la edad. En este sentido, Kotecha et al,¹⁷⁵ afirmaron rotundamente que la CH disminuye con la edad, mientras que Moreno-Montañés et al¹⁷⁶ fueron más prudentes en sus afirmaciones refiriendo una mínima disminución de la CH y CRF con el incremento de la edad ya que la correlación entre ambos parámetros y la edad fue débil ($r = -0.26$, $p < 0.001$ y

$r=-0.18$, $p=0.006$ respectivamente), también verificaron la alta repetibilidad y reproducibilidad del ORA en sus resultados. Ortiz et al,⁸² comparando grupos de edad, refieren una diferencia estadísticamente significativa de la CH entre los más jóvenes (≤ 14 años) y el grupo de mayor edad (> 60 años). En un estudio similar, Kamiya et al¹⁷⁷ encontraron una disminución de la CH con la edad, pero a partir de los 70 años.

En un grupo de niños emétopes, similar al de este trabajo, comparamos la CH y el CRF con un grupo control de adultos emétopes, encontrando una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos de edad ($p<0.001$) (Bueno I, Gené A, España E, Lanzagorta A. Corneal Biomechanical properties and their correlations with axial length in emmetropic spanish children. Comunicación presentada en European Academy of Optometry and Optics. Praga. 6-8 Mayo 2011. Pág 52).

En función de los resultados obtenidos y comparando el valor de CH (12.12 ± 1.71 mmHg) encontrado en este trabajo en el total de sujetos evaluados con los encontrados en otros estudios hechos en adultos, si que se considera que puede haber una disminución de las propiedades biomecánicas corneales con la edad. Aunque en este trabajo no se ha encontrado correlación entre la CH y la edad ($p=0.07$), al comparar la CH entre los grupos de edad en el total de sujetos evaluados, si que se encuentra una tendencia a disminuir con el incremento de la edad, ya que entre el grupo de niños pequeños (6-10 años) y el de 14-17 años encontramos una diferencia de medias de 0.60 mmHg, siendo menor en el grupo de niños más mayores con un valor de $p=0.05$. Esto puede ser debido a que posiblemente en este rango no llega a haber cambios anatómicos suficientes para justificar alteraciones biomecánicas. Fontes et al¹⁷⁸ encontraron una disminución de la CH y CRF con el incremento de la edad en 150 pacientes brasileños sanos, con una media de edad de 46.5 ± 1.54 años (rango 18 a 90 años) y media de error refractivo de -1.16 ± 3.48 D (rango -19.00 a +9.00 D), tanto la edad como el error refractivo, difieren del presente trabajo cuya media de error refractivo fue de $+0.14\pm 3.41$ (rango -8.75 a +8.25 D) y media de edad de 10.84 ± 3.05 años (rango 6 a 17 años). La media de CH y CRF en el estudio de Fontes et al¹⁷⁸ fue de 10.17 ± 1.82 y 10.14 ± 1.80 mmHg respectivamente, valores

menores que los encontrados en el presente trabajo en niños (12.12 ± 1.71 y 12.30 ± 1.89 mmHg, respectivamente).

Esta disminución de la CH con la edad puede ser debido a un aumento en el área transversal de las fibras debido a la continua deposición de colágeno y un mayor entrecruzamiento (cross-linking) de las fibras mediado por la glicación (unión de moléculas de glucosa a proteínas).¹⁷

En el presente estudio, se encontró una relación negativa y estadísticamente significativa del CRF con la edad. Comparando el CRF entre los distintos grupos de edad, se encontró una diferencia de 1.06 mmHg ($p=0.001$) entre el grupo de menor (6-10 años) y el de mayor edad (14-17 años), en el total de sujetos evaluados. En el grupo de miopes, también encontramos disminución del CRF con el incremento de la edad ($r=-0.20$, $p=0.04$) y al comparar el CRF entre los distintos grupos de edad en niños miopes, percibimos que entre los grupos de 11-13 años y de 14-17 años la diferencia entre ambos es de 1.36 mmHg ($p=0.002$), siendo menor en el grupo de mayor edad.

La disminución del CRF con la edad fue más notable e influyente en el grupo de miopes medios (-3.25 a -6.00 D), con una media de edad de 13.74 ± 2.60 años, contribuyendo en un 44.4% ($p<0.0001$) en la variabilidad del CRF, con lo que por cada año más de edad en este grupo, el CRF disminuye en 0.42 mmHg. En el grupo de miopes altos (> -6.00 D), con una media de edad de 11.01 ± 2.81 años, también encontramos reducción del CRF con el aumento de la edad, disminuyendo 0.41 mmHg el CRF por cada año más de edad. Esta disminución del CRF con el incremento de la edad en sujetos miopes nos hace pensar que posiblemente en sujetos miopes si que hayan alteraciones en la biomecánica corneal que se agravan con el aumento de la edad.

Esta disminución con la edad no se encontró ni en el grupo control, ni en el grupo de hipermétropes.

Touboul et al¹⁷⁹ indican que tanto la CH como el CRF son independientes de la edad y consideran que las propiedades viscoelásticas corneales permanecen constantes a lo largo de la vida. Sin embargo, debido a que el CRF se correlaciona positivamente con la PIO y a su vez la PIO se incrementa con la edad, estos autores hipotetizaron que la viscoelasticidad decrece con la edad y

consecuentemente las variaciones en la CH y CRF se compensan con la elevación de la PIO.

Las diferencias entre CH y CRF, así como las aportaciones de los componentes elástico y viscoso a la magnitud de estos parámetros, aún son desconocidas. Ambos parámetros (CH y CRF) están influenciados por las propiedades viscoelásticas, ya que ambos son combinaciones lineales de P1 y P2. Un valor bajo de CH podría estar asociado a un alto o bajo módulo de elasticidad, dependiendo de la viscosidad asociada, dando lugar a dificultades de interpretación.^{180,181} El factor de resistencia corneal (CRF), por otro lado, se pondera en mayor medida por la elasticidad, ya que fue diseñado para correlacionar con el espesor corneal.¹⁷⁹

En función de los resultados obtenidos, podríamos indicar que el CRF refleja la rigidez total de la córnea en función del espesor corneal central, con lo que en nuestro grupo de sujetos consideramos que hay una débil disminución de la elasticidad corneal con la edad, más significativo en el grupo de miopes, posiblemente sin traducción clínica.

6.1.6.- Influencia de la raza en la biomecánica corneal.

Aunque en este trabajo no evaluamos la biomecánica corneal y su relación con la raza, si que existen trabajos en los que se pone de manifiesto la influencia de la raza en la biomecánica corneal.^{15,16,87} La media de la CH en niños caucásicos españoles valorados en este trabajo fue de 12.12 ± 1.71 mmHg, comparando los resultados con valores de CH en niños obtenidos en estudios anteriores, observamos que nuestros resultados estarían más próximos a los reportados por Kirwan et al⁸⁷ en niños europeos irlandeses (12.50 ± 1.35 mmHg), que a los dados por Song et al¹⁶ (10.70 ± 1.60 mmHg) en niños chinos. En función de estos resultados se considera que la raza puede ser un factor importante en la valoración de la biomecánica corneal. En este sentido, Lim et al¹⁵ no encontraron correlación entre la raza y la CH y CRF, mientras que Song et al¹⁶ encontraron valores significativamente más bajos de CH en niños chinos, comparando con niños irlandeses.⁸⁷ Afirmaciones que se pueden corroborar en los resultados de

este trabajo, en que el valor de la CH es más alto que el encontrado en niños chinos.

Según Carbonaro et al¹⁵¹ parece ser que la CH tiene un fuerte carácter hereditario, lo que indica que la biomecánica corneal puede tener un componente genético importante y por lo tanto puede variar entre las etnias. Por otra parte, también se ha demostrado que el ECC tiene un fuerte componente genético,^{182,183} lo que confirmaría las diferencias étnicas relacionadas con el ECC¹⁸⁴ y posiblemente con la biomecánica corneal.

6.2.- BIOMECÁNICA CORNEAL, ANATOMÍA DEL NERVIO ÓPTICO Y CAPA DE FIBRAS NERVIOSAS DE LA RETINA.

Kotecha sugirió que las propiedades biomecánicas corneales como la CH, podían proporcionar información de la integridad estructural de la cabeza del nervio óptico.¹⁷

La información de los cambios que ocurren en la cabeza del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina, son fundamentales en la valoración de pacientes con o en riesgo de sufrir neuropatía óptica glaucomatosa, pues un adelgazamiento de la CFNR es un signo precoz de daño glaucomatoso.^{185,186}

Por otra parte sabemos que el glaucoma es muy raro en niños, pero consideramos que la evaluación de estos parámetros es muy importante en estas edades, ya que la pérdida de visión que puede estar asociada, puede influir negativamente en el crecimiento del niño. Además es importante la valoración en pacientes sanos y definir los patrones de normalidad para poder diferenciar a los patológicos y a los de riesgo.

La anatomía del nervio óptico, incluida excavación y la capa de fibras nerviosas de la retina, pueden estar relacionadas con las propiedades biomecánicas corneales. Así pues, el conocimiento de los parámetros del nervio óptico y su posible asociación con la biomecánica corneal en niños, nos proporcionará información en la identificación temprana del daño glaucomatoso, así como posibles cambios producidos durante la etapa del crecimiento.

La capa de fibras nerviosas de la retina se ha valorado en varios estudios^{98,116} pero su relación con las propiedades biomecánicas corneales no se ha investigado suficientemente. En el presente trabajo se ha evaluado la capa de fibras nerviosas de la retina y los parámetros del nervio óptico mediante Tomografía de Coherencia Óptica de Dominio Espectral (SD-OCT), que es una técnica no invasiva, más rápida, reproducible y proporciona mejor calidad de imagen que las anteriores versiones de OCT.¹⁸⁷

6.2.1.- Influencia de la biomecánica corneal y espesor corneal central en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina

Lim et al¹⁸⁸ relatan asociaciones entre CH y CRF con neuropatía óptica glaucomatosa. Varios estudios^{87,146,149} describen valores reducidos de CH en ojos con glaucoma primario de ángulo abierto (GPAA), glaucoma normotensional (GNT) y glaucoma congénito (GC) y refieren que cambios en la lámina cribosa estén unidos con cambios en la biomecánica corneal. Valores bajos de CH y CRF, también se han descrito en distrofias de Fuchs y queratoconos.¹⁴⁶

El espesor corneal central, a su vez, es un factor importante en las medidas de la CH. Se han descrito correlaciones entre el ECC y algunos parámetros del nervio óptico.¹⁸⁹ Kaushik et al¹⁸⁹ relatan una correlación estadísticamente significativa entre la CFNR y el ECC, tanto en sujetos normales como en hipertensos oculares, todos ellos adultos.

En el presente trabajo no se encuentra correlación entre el ECC y la CFNR, ni en el total de sujetos evaluados ($r=-0.04$, $p=0.48$), ni en ninguno de los grupos emétopes ($r=-0.06$, $p=0.57$), miopes ($r=-0.01$, $p=0.88$) e hipermétropes ($r=-0.05$, $p=0.62$) coincidiendo con los resultados obtenidos por Lim et al¹⁸⁸ en 102 niños con una media de edad de 12.01 ± 0.57 (rango 11-14 años).

También se han descrito asociaciones entre el ECC y el tamaño del disco óptico, en este sentido Pakravan et al¹⁹⁰ encuentran una correlación inversa entre el ECC y el área del disco en 212 ojos de 137 adultos con glaucoma primario de ángulo abierto y sugieren que el incremento en el riesgo de glaucoma en córneas más delgadas, no sólo puede ser debido a la subestimación de la PIO, sino también a una mayor área del disco óptico. Cancaya et al¹⁹¹ también relatan correlaciones negativas entre el ECC y el área del disco, área del anillo, volumen del anillo y CFNR en 208 adultos normales, sin embargo Viestenz et al,¹⁹² encontraron discos ópticos mayores en córneas más gruesas en 180 adultos normales y Lim et al¹⁸⁸ en niños de Singapur, encuentran una correlación inversa entre el área del disco y el ECC en niños con discos ópticos oblicuos.

En el presente trabajo en niños caucásicos sanos, no encontramos correlación entre el ECC y el espesor de la CFNR ($r=-0.04$, $p=0.48$), Área del anillo ($r=-0.01$, $p=0.89$) y Área del disco ($r=-0.04$, $p=0.50$) en ninguno de los grupos evaluados, sin embargo, encontramos una correlación inversa entre el ECC y la Media de la Relación C/D ($r=-0.12$, $p=0.04$), en el total de sujetos evaluados, correlación que también se verifica en los sujetos miopes ($r=-0.23$, $p=0.01$) y en hipermétropes ($r=-0.22$, $p=0.03$), no cumpliéndose en el grupo control de niños emétropes, es decir, que en córneas más delgadas, la relación C/D es mayor, posiblemente debido a una mayor debilidad de las paredes. En niños miopes de 6-10 y de 11-13 años también encontramos aumento de la relación C/D en córneas más delgadas. Una posible explicación a la relación entre el ECC y los parámetros del nervio óptico es la dada por Insull et al.¹⁹³ que refieren que las características estructurales de la cubierta corneoescleral asociadas con espesores corneales reducidos pueden afectar la capacidad de resistencia a la PIO, por tanto, si corneas delgadas están asociadas con diferencias estructurales en el nervio óptico, podría ayudar a explicar el aumento del riesgo de glaucoma en espesores corneales reducidos.

Actualmente se está valorando la repercusión exacta de la histéresis corneal (CH) con el riesgo de padecer glaucoma. La CH representa las propiedades viscoelásticas de la córnea y recientemente se encontró que un valor bajo de CH, era un predictor de la pérdida progresiva del campo visual.¹⁹³ Insull et al.¹⁹³ en un estudio hecho con adultos mayores de 18 años y comparando 38 pacientes glaucomatosos con 62 pertenecientes al grupo control, encontraron valores más bajos de CH en pacientes con neuropatía óptica glaucomatosa y una correlación inversa entre el ECC y el área del disco, medidos con HRT-II (Heidelberg Retina Tomograph), coincidiendo con Congdon et al.¹⁴⁹ y Shah et al.¹⁹⁴

Todos los resultados anteriores no son equiparables con los encontrados en este estudio, debido a la edad (todos ellos fueron hechos en adultos), al tamaño de la muestra y a la técnica de medida utilizada. Lim et al.¹⁸⁸ en niños de Singapur, no encontraron correlación significativa entre la CH o el CRF y los

parámetros del nervio óptico o la CFNR, medidos con HRT II, en niños con discos ópticos normales, no oblicuos.

Chang et al¹⁹⁵ determinaron la relación entre las propiedades biomecánicas corneales, la morfología del disco óptico y el espesor de la capa de fibras nerviosas peripapilar en 100 ojos de 50 sujetos miopes, con una media de edad de 33.48 ± 8.32 , encontraron que el ECC correlacionó negativamente con el área del disco, el área del anillo y el área de la excavación, la CH correlacionó negativamente con el área del disco y el área de la excavación. Sin embargo, estos autores no encontraron correlación entre el ECC y la CFNR, ni entre la CH y la CFNR.

Según los resultados obtenidos en este trabajo realizado en niños, encontramos reducción del espesor medio de la CFNR con valores más bajos de CH, en el grupo de miopes, en el total de sujetos evaluados y en los niños miopes más pequeños (6-10 años), no encontrándose en ninguno de los demás grupos evaluados ni de edad, ni según la ametropía. En el análisis de regresión lineal se encontró que la CH, junto con la LA, fueron variables pronosticadoras para la CFNR en el grupo de miopes, no encontrándose esta relación en ninguno de los demás grupos evaluados.

En función de los demás parámetros del polo posterior evaluados, valores más bajos de CH, se relacionaron con valores más altos de la Media de la relación C/D, en sujetos miopes, hipermétropes y en el total de sujetos evaluados, esta correlación también se verificó en el grupo de niños miopes más pequeños ($r=-0.57$, $p=0.01$). En este grupo de niños miopes entre 6-10 años, según el análisis regresión lineal múltiple, la única variable influyente en la Media de la relación C/D, fue la CH, resultando que para una disminución de 1.00 mmHg en la CH, la Media de la relación C/D aumentará 0.06 unidades. Chang et al,¹⁹⁵ refieren que estas relaciones entre la biomecánica corneal y los parámetros del nervio óptico y espesor de 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, en la que los cambios producidos son tan

importantes, sería clave la evaluación de la biomecánica corneal en niños miopes.

Lim et al,¹⁸⁸ no encontraron correlaciones similares en niños con discos ópticos oblicuos o normales y Wells et al¹⁹⁶ en el Análisis de Regresión Lineal, encontraron que la CH correlacionó con la media del incremento excavación/disco en el grupo de pacientes con glaucoma, no cumpliéndose esta relación en el grupo control. Como se ha comentado anteriormente, los valores obtenidos no son comparables a los nuestros, ya que la técnica de medida utilizada ha sido diferente, en este trabajo se ha utilizado el Tomógrafo de Coherencia Óptica de Dominio Espectral (CirrusTM HD-OCT) y en los estudios anteriores el HRT-II (Heidelberg Retina Tomograph), además todos los sujetos evaluados en el presente trabajo fueron sanos.

No se encontró correlación entre el CRF y los parámetros evaluados del segmento posterior, únicamente en el grupo de miopes encontramos disminución del CRF con el incremento de la Media de la relación C/D ($r=-0.27$, $p=0.005$).

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, pensamos 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 deformable¹⁹⁷ 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.

6.2.2.- Influencia de la longitud axial y el error refractivo en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina

Previamente, en publicaciones realizadas con OCT de dominio temporal, se confirmó la influencia de la longitud axial tanto en el espesor de la CFNR, como en los parámetros del nervio óptico en miopes,¹⁹⁸⁻²⁰⁰ pero poco se ha investigado acerca de los hipermétropes, aunque es de esperar que los resultados sean opuestos.²⁰¹ Savini et al,²⁰¹ examinaron el espesor de la CFNR y los parámetros del nervio óptico en 45 sujetos sanos con una media de edad de 39.40 ± 7.20 años (rango 25-55 años) y dividieron a los sujetos en grupos, 15 con ojos cortos (< 22.50 mm), 15 con ojos medios (22.51-25.50 mm) y 15 con ojos largos (> 25.51 mm), encontrando que el espesor de la CFNR, el área del disco y el área del anillo, decrecen con el incremento de la LA y aumentan con la reducción de la misma. En 1309 niños de diferentes razas y la mayoría de 6 años, Huynh et al,⁹⁸ encontraron un incremento significativo del área del disco ($2.09 - 2.29$ mm²) con el incremento de la longitud axial ($p < 0.0001$), en un rango de LA de 21.63 a 23.54 mm, la mayoría hipermétropes, ya que solo el 1.4% de niños eran miopes y refirieron disminución del área del anillo ($1.77-1.67$ mm²) con el incremento de la LA. Sin embargo, solo el área del disco aumentó con el incremento del error refractivo ($p=0.02$). Según estos autores, el tamaño del ojo tiene una mayor influencia en el área del disco y en el anillo neuroretiniano que la refracción e indican que el riesgo de sufrir glaucoma de ángulo abierto en adultos miopes podría estar relacionado con el incremento del tamaño del ojo más que por la miopía en sí, aunque estas afirmaciones son solo especulativas, ya que la mayoría de niños en su estudio eran hipermétropes.

Según nuestros resultados, el espesor de la CFNR disminuye con el incremento de la longitud axial. Comparando los grupos de miopes e hipermétropes con el grupo control de emétopes, encontramos una disminución significativa de la CFNR entre miopes y emétopes, de 5.19 μm ($p=0.002$) y al comparar los miopes con hipermétropes la diferencia es de 7.82 μm ($p < 0.0001$). Sin embargo entre emétopes e hipermétropes no se encuentran diferencias significativas ($p=0.21$), resultados coincidentes con los de Savini et al.²⁰¹

En el grupo de miopes encontramos diferencias significativas entre el grupo de >-6.00 D y el de miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00), con una diferencia entre medias de $10.64 \mu\text{m}$, ($p < 0.0001$) y entre el grupo de miopes medios (-3.25 a -6.00 D) y el de miopes altos (diferencia de medias de $7.5 \mu\text{m}$, $p = 0.03$), refiriendo pérdida de espesor medio de CFNR con el incremento de la miopía. Estas diferencias son mayores al comparar todos los grupos de ametropías, así pues, entre los grupos de >-6.00 D y $>+6.00$ D la diferencia de espesor en la CFNR es de $19.64 \mu\text{m}$ ($p < 0.0001$), siendo el espesor menor en el grupo de miopes altos

Wang et al,¹⁸⁶ también encontraron una disminución significativa del espesor de la CFNR, con el aumento de la longitud axial y el grado de miopía en 149 sujetos miopes, divididos en tres grupos tal como hemos hecho en este estudio, con una media de edad de 23 años (rango de 18.02 a 40.05 años), medido con CirrusTM HD-OCT, sin embargo esta disminución del espesor de la CFNR con el grado de miopía no se dio con el GDx-ECC.

Budenz et al,²⁰² en 328 sujetos sanos, con edades comprendidas entre 18-85 años con una media \pm (DE) de edad de 47.40 ± 15.80 años y error refractivo comprendido entre -11.75 y $+6.75$ (media -0.54 ± 1.90), describen una disminución del espesor medio de la CFNR de aproximadamente $2.20 \mu\text{m}$ por cada milímetro de incremento en la longitud axial. En nuestro grupo encontramos una reducción de $2.80 \mu\text{m}$ por cada milímetro de incremento en la longitud axial. Esta reducción del espesor de la CFNR fue mucho más notable en el grupo de miopes de >-6.00 D, ya que cada por cada milímetro de incremento en la longitud axial, se producirá una disminución del espesor medio de la CFNR de $7.50 \mu\text{m}$.

En anteriores estudios realizados con SLP (Scanning Laser Polarimetry), Kremmer et al⁹⁶ investigaron el efecto de la refracción y la longitud axial en el espesor de la CFNR, comparando sujetos adultos miopes, hipermétropes y emétropes, resultando que el espesor de la CFNR decreció tanto con el incremento de la miopía como de la hipermetropía, con lo que el espesor de la CFNR estuvo más relacionado con el error refractivo que con la longitud axial. Estas diferencias posiblemente son debidas al instrumental usado en las medidas, ya que parece ser que los primeros GDx sin compensación corneal variable (VCC) eran menos fiables que los actuales e influenciados por la

refracción.¹⁸⁶ Así pues, en las versiones más actuales del GDx, se emplea una compensación de la birrefringencia del segmento anterior, la cual utiliza un análisis inicial de la mácula del paciente para poder proporcionar una compensación específica de cada sujeto, al contrario de lo que ocurría con las versiones antiguas.

Igualmente la LA y el error refractivo, tuvieron una fuerte influencia en el Área del anillo y el Área del disco, encontrando disminución del Área del anillo y del disco con el aumento de la LA ($r=-0.27$, $p<0.0001$ y $r=-0.30$, $p<0.0001$ respectivamente) y de la miopía en el total de sujetos evaluados. En cuanto al área del anillo, la influencia del error refractivo fue más notable al comparar los grupos de ametropías, ya que entre el grupo de miopes altos (>-6.00 D) y el de hipermétropes altos ($>+6.00$ D) la reducción es de 0.36 mm^2 ($p=0.03$), así pues, el área del anillo disminuye con el grado de miopía y aumenta con el grado de hipermetropía. Esta reducción también es evidente al comparar los tres grupos evaluados, emétopes, miopes e hipermétropes, encontrando disminución de 0.2 mm^2 en el área del anillo al comparar miopes e hipermétropes ($p<0.0001$). No se encontraron diferencias significativas entre el grupo control de emétopes y miopes, ni entre emétopes e hipermétropes. Esta disminución del área del anillo con el incremento de la LA coincide con los resultados de Huynh et al⁹⁸ en niños de diferentes razas.

Así mismo, el área del disco también disminuye con el incremento de la LA y la miopía ($p<0.0001$), al comparar entre los distintos grupos, encontramos diferencias significativas entre el grupo control de emétopes y todos los grupos de miopes, no encontrando diferencias entre los grupos de hipermétropes y el grupo control, siendo estas diferencias más significativas al comparar los grupos de miopes altos (>-6.00 D) y el de hipermétropes de $+3.25$ a $+6.00$ D (diferencia de medias de 0.5 mm^2 , $p<0.0001$) y miopes altos e hipermétropes altos ($>+6.00$ D), con una diferencia de medias de 0.53 mm^2 ($p=0.002$).

Savini et al,²⁰¹ en adultos también encontraron disminución del área del anillo y del disco con el incremento de la longitud axial y por el contrario Bourne et al²⁰³ encontraron una correlación positiva entre el área del anillo y la longitud axial en chinos adultos, medido con cámara fotográfica.

Consideramos que según los resultados obtenidos en este trabajo, tanto la LA como el grado de miopía tuvieron influencia en el área del anillo y del disco.

En adultos, está demostrado que ojos con mayor longitud axial tienen mayor tamaño del nervio óptico.¹⁸ Samarawickrama et al²⁰⁴ también encontraron esta correlación en 1395 niños de seis años y en 2134 niños de doce años, todos de Singapur, sin embargo, esta correlación no se dio con el error refractivo, sugiriendo que la LA es responsable del incremento en el tamaño del disco óptico, más que la refracción y de cualquier riesgo asociado como el glaucoma de ángulo abierto en adultos miopes.

En el presente trabajo, la Media de la relación C/D no aumentó con el incremento de la longitud axial en el total de sujetos evaluados ($r=0.07$, $p=0.20$), tampoco aumentó con el incremento del error refractivo en miopes ($r=0.09$, $p=0.34$), ya que no se encontraron correlaciones significativas entre estos parámetros y la Media de la relación C/D. Comparando el grupo control de emétopes con miopes e hipermétropes, se encontraron diferencias significativas en la Media de la relación C/D, entre emétopes y miopes, con una diferencia de medias de 0.06 ($p=0.03$), siendo menor la Media de la relación C/D en emétopes y entre emétopes e hipermétropes, cuya diferencia es de 0.08 ($p=0.006$), siendo menor esta relación en sujetos hipermétropes, considerando que estas diferencias no son clínicamente significativas.

6.2.3.- Influencia de la edad en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina.

El-Dairi et al,²⁰⁵ en una muestra de 286 niños, con edades comprendidas entre 3-17 años (media de 8.50 ± 3.10), no refieren disminución de la CFNR con la edad. Estos resultados no son sorprendentes ya que estudios hechos en adultos de diferentes edades no muestran una reducción significativa del espesor medio de la CFNR hasta los 40-60 años,^{202,206} concretamente Parikh et al²⁰⁷ en 187 sujetos sanos con edades comprendidas entre los 5-75 años, encontraron disminución de la CFNR a partir de los 50 años.

Cabe resaltar en el presente trabajo, que la edad no fue influyente en los parámetros evaluados del segmento posterior, pues no se encontró disminución de la CFNR con el aumento de la edad, en ninguno de los grupos evaluados, ni en el total de sujetos. Tampoco el Área del anillo ni del disco disminuyó con el incremento de la edad, ni la Media de la relación C/D aumentó en ninguno de los grupos. Únicamente en el grupo de miopes, se encuentra una relación positiva y significativa entre la Media de la relación C/D y la edad, por lo que en este grupo de niños miopes, la Media de la relación C/D aumenta con la edad, posiblemente este aumento, podría estar relacionado con el incremento de la longitud axial con el aumento de la edad en sujetos miopes, correlación que se verifica en el presente trabajo ($r=0.24$, $p=0.01$). Esta influencia de la edad en la Media de la relación C/D, también se encuentra en el grupo de miopes altos (>-6.00 D) y miopes medios entre -3.25 a -6.00 D, con lo que según el análisis de regresión lineal múltiple, en este grupo de niños miopes (-3.25 a -6.00 D), por cada año más de edad, la Media de la relación C/D, aumentará 0.06 unidades. En niños, Samarawickrama et al²⁰⁴ y Wang et al,¹⁸⁶ tampoco encontraron disminución de la CFNR con la edad y Turk et al,²⁰⁸ en 107 ojos de 107 niños turcos, con edades comprendidas entre los 6-16 años (edad igual a nuestra muestra), tampoco encontraron disminución de la CFNR con la edad. En 358 niños caucásicos, con una media de edad de 9.16 ± 1.70 años (rango 6-13 años), Elía et al,²⁰⁹ no encontraron diferencias significativas entre los distintos grupos de edad en ninguno de los parámetros evaluados (CFNR y parámetros del nervio óptico).

6.2.4.- Influencia de la presión intraocular en la anatomía del nervio óptico y en la capa de fibras nerviosas de la retina.

Bowd et al²¹⁰ describieron un adelgazamiento significativo del espesor de la CFNR en ojos hipertensos, comparado con ojos sanos, especialmente en los cuadrantes inferior y nasal. Kamal et al,²¹¹ también encontraron un adelgazamiento significativo del área del anillo en los cuadrantes superior e inferior en ojos con presión intraocular elevada.

Katai et al,²¹² recientemente, evaluaron los efectos de la PIO elevada en el espesor medio de la CFNR y compararon hipertensos oculares con ojos normales en japoneses adultos, resultando que el espesor medio de la CFNR era significativamente menor en ojos hipertensos que en ojos sanos.

En nuestro trabajo, encontramos reducción del espesor medio de la CFNR con el incremento de la PIO (PIOg y PIOcc), así como reducción en el Área del anillo en el total de niños evaluados, pero dentro del rango de valores normales.

En el grupo de sujetos miopes, los resultados del modelo de regresión múltiple indican que cuando se produzca un incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, el Área del anillo disminuirá en 0.02 mm², también encontramos en el grupo de niños miopes más pequeños (6-10 años) que la PIOcc, también fue influyente en el espesor medio de la CFNR y para un incremento de 1.00 mmHg en la PIOcc, el espesor medio de la CFNR disminuirá 1.32 µm. No obstante consideramos que estas relaciones clínicamente no son significativas ya que estamos evaluando a niños sanos y normales.

7.- CONCLUSIONES

7.- CONCLUSIONES

7.1.- CONCLUSIONES GENERALES

- 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.
- 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).
- 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 nos indican 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.

7.2.- CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- El crecimiento del individuo no afecta a las propiedades biomecánicas corneales a partir de los 6 años. CH y CRF no variaron con la edad, encontrando valores de CH y CRF ligeramente más altos que en estudios hechos en adultos. Se aprecia una ligera disminución del CRF con el incremento de la edad y tendencia de la CH a disminuir con el incremento de la misma.
- La longitud axial tiene una influencia significativa en las propiedades biomecánicas corneales (histéresis corneal y factor de resistencia corneal), encontrándose valores más bajos de éstas en ojos más largos. La histéresis corneal se reduce de manera significativa con el incremento de la miopía y a su vez, aumenta con el incremento de la hipermetropía.
- La presión intraocular corneo-compensada aumenta con el incremento de la longitud axial y con el aumento de la miopía. Esta relación no se verificó entre la presión intraocular correspondiente a la Goldman y la longitud axial o el error refractivo.
- El ECC influye de manera significativa en las propiedades biomecánicas corneales, pero no se relaciona con el error refractivo ni con la longitud axial.
- En córneas más planas (radios de curvatura mayores) se obtienen valores menores para la histéresis y para el factor de resistencia corneal.
- El espesor medio de la CFNR disminuye con valores más bajos de CH y longitudes axiales mayores en niños miopes y en el total de sujetos evaluados. La relación excavación/papila (C/D) aumenta en valores más bajos de histéresis corneal en el total de sujetos evaluados y en niños miopes de 6 a 10 años.

- El espesor de la CFNR y el área del anillo neuroretiniano disminuyen con el incremento de la miopía. Ni el error refractivo, ni la longitud axial influyeron en la relación excavación/papila (C/D).
- La edad no influye en el espesor de la CFNR ni en los demás parámetros evaluados del segmento posterior.
- El espesor medio de la CFNR y el área del anillo neuroretiniano se reducen con el incremento de la PIO (PIOg y PIOcc) en el total de niños evaluados, aunque dentro del rango de valores normales.
- Para nuestro grupo, los valores medios de referencia del espesor medio de la capa de fibras nerviosas de la retina y parámetros del nervio óptico son: 99.46 μm para el espesor de la CFNR y 1.67 mm^2 , 2.02 mm^2 y 0.34 para el área del anillo, área del disco y media de la relación C/D respectivamente.

7.- CONCLUSIONS

7.1.- OVERALL CONCLUSIONS

- The mechanical strength of the anterior segment of the eye is compromised in myopia from an early age, more so in high myopia, regardless of age.
- Measurements of corneal biomechanical properties (CH and CRF) can provide us with information about the resistance to deformation of the eyeball and may be a risk of development of visual defects (myopia).
- Corneal biomechanics have an effect on the development of posterior segment. Low values of CH may indicate a reduction in the viscous dampening properties not just of the cornea, but also increased deformability of the optic nerve head as well as a thinning of the RNFL, especially in myopic children.

7.2.- SPECIFIC CONCLUSIONS

- Child's growth did not affect corneal biomechanical properties from age 6. CH and CRF did not vary with age. Values of CH and CRF were found to be higher than those found in studies on adults. CRF decreased slightly with increasing age and there was also a trend in reduction in CH with increasing age.
- Axial length was found to significantly influence corneal biomechanical properties (corneal hysteresis and corneal resistance factor); lower CH and CRF values were associated with longer eyes.
CH decreased significantly with longer axial length and more myopic eyes, and increased with increasing hyperopia.
- IOPcc increased with increasing axial length and increasing negative spherical equivalent, these associations were not found for the IOPg.
- CCT was significantly related to measures of CH and CRF.
CCT did not reveal any influence on axial length nor refractive error.
- Flatter corneas (larger radii of curvature) were associated with lower CH and CRF values.
- Average RNFL thickness decreased with lower values of corneal hysteresis and longer eyes in both myopic and the entire group of children tested.
The average cup to disc ratio (C/D) increased with lower CH values in the entire group and myopic children from 6 to 10 years.
- Average RNFL thickness and rim area decreased with increasing myopia.
Neither refractive error nor axial length were associated with average cup to disc ratio.

- Age failed to show any influence on RNFL thickness and optic nerve head parameters.
- Thinner RNFL thickness and smaller ring area were associated with higher IOP (IOPg and IOPcc) for the entire group, but within normal range values.
- For our sample study, the reference values of the average retinal nerve fiber layer thickness and optic nerve parameters are 99.46 μm for RNFL and 1.67 mm^2 , 2.02 mm^2 and 0.34 for rim area, disc area and average cup to disc ratio respectively.

8.- REFERENCIAS

8.- REFERENCIAS

- 1.- Eustis HS, Guththrie ME. Posnatal development. En: Wright KE and Spiegel PH, eds. Pediatric Ophthalmology and Strabismus. 2nd ed. New York: Springer-Verlag; 2003:39-53.
- 2.- Grosvenor ThP. Optometría de Atención Primaria. Versión española de la 4ª ed. Boston: Butterworth-Heinemann. 2004. Cap 2.
- 3.- Goddé-Jolly D. Oftalmología pediátrica. Barcelona: Masson.1994. Cap 1, 4 y 6.
- 4.- Buckingham T. Visual problems in childhood. Boston:Butterworth-Heinemann. 1993. Cap 1, 2 y 7.
- 5.- Castiella JC, Pastor JC. La refracción en el niño. Madrid: Mc Graw-Hill. 1998
- 6.- Hirsch, M.J. The Refraction of Children, Ch 5, in Vision of Children, M.J. Hirsch and R.E. Wick, eds. Philadelphia: Chilton, 1963b
- 7.- Zadnik K, Mutti DO, Mitchell GL, Jones L A, Burr D, Moeschberger ML. Normal Eye Growth in Emmetropic Schoolchildren. Optom Vis Sci 2004;81: 819-828.
- 8.- Tong L, Saw SM, Siak JK, Gazzard G, Tan D. Corneal thickness determination and correlates in Singaporean schoolchildren. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2004;45:4004-9.
- 9.- Hitzenberger CK. Optical measurement of the axial eye length by laser Doppler interferometry. Invest Ophthalmol Vis Sci 1991;32: 616-24.6.
- 10.- Hitzenberger CK, Drexler W, Dolezal C, Skorpik F, Juchem M, Fercher AF, Gnad HD. Measurement of the axial length of cataract eyes by laser Doppler interferometry. Invest Ophthalmol Vis Sci 1993;34:1886-93.
- 11.- Puliafito C, Hee MR, Schuman JS, Fujimoto JG. Optical Coherence Tomography of ocular diseases. Zeiss. 2001.
- 12.- <http://www.meditec.zeiss.com>
- 13.- Visante OCT User Manual: Model 1000: Carl Zeiss Meditec; 2007.
- 14.- Quinn GE, Francis EL, Nipper KS, Flitcroft DI, Ying GS, Rees RC, Schmid GF, Maguire MG, Stone RA. Highly precise eye length measurements in children aged 3 through 12 years. Arch Ophthalmol 2003;121:985-90.

- 15.- Lim L, Gazzard G, Chan Y-H, Fong A, Kotecha A, Sim E-L, Tan D, Tong L, Saw S-M. Cornea Biomechanical Characteristics and their correlates with refractive error in Singaporean children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49:3852-3857.
- 16.- Song Y, Congdon N, Li L, Zhou Z, Choi K, Lam DS, Pang CP, Xie Z, Liu X, Sharma A, Chen W, Zhang M. Corneal Hysteresis and Axial Length Among Chinese Secondary School Children: The Xichang Pediatric Refractive Error Study (X-PRES) Report No. 4. *Am J Ophthalmol.* 2008;145:819-826.
- 17.- Kotecha A. What Biomechanical Properties of the Corne Are Relevant for the Clinician? *Surv Ophthalmol.* 2007;52:S109-S114.
- 18.- Oliveira C, Harizman N, Girkin CA, Xie A, Tello C, Liebmann J M, Ritch R. Axial length and optic disk in normal eyes. *Br J Ophthalmol* 2007;91:37-39.
- 19.- Sadler TW. Ojo. En: Sadler TW (ed.). *Langman Embriología Médica con orientación clínica 8ª ed.* Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2001; 381-391.
- 20.- Newgreen DF, Erickson CA. The migration of neural crest cells. *Int Rev Cytol* 1986; 103: 89-143.
- 21.- Honrubia F.M.; *Oftalmología General*; Ed: FM Honrubia. Primera Edición, Zaragoza 2002.
- 22.- O'Rahilly R. The timing and sequence of events in the development of the human eye and ear during the embryonic period proper. *Anat Embryol.* 1983;168:87-99.
- 23.- Harvey W, Gilmartin B. *Paediatric Optometry.* 2004 Butterworth-Heinemann. Appendix 1, pp:115.
- 24.- Fini ME, Strissel KJ, West-Mays JA. Perspectives on eye development. *Dev Genet* 1997;20: 175-185.
- 25.- Salil A, Lachke, Richard L, Maas. Building the developmental oculome: systems biology in vertebrate eye development and disease. *WIREs Systems Biology and Medicine.* 2010;2:305-323.
- 26.- Gipson IK. Anatomy of the conjunctiva, cornea and limbus. En: Smolin G, Thoft RA (eds.). *The Cornea 3rd ed.* Boston: Little Brown, 1987; 3-24.
- 27.- Hubel DH. 2000. *Ojo, Cerebro y Visión.* Universidad de Murcia. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia. (España).

- 28.- Kaufman PL, Alm A 2004. En, editor: Adler Fisiología del ojo, 10ª ed, Elsevier: Madrid, España. Cap 6-10.
- 29.- Moses RA. Theory and Calibration of the Schiottz Tonometer: I. The Boundary Surface of the Cornea. Invest Ophthalmol Vis Sci 1971;10:534-538.
- 30.- Wang Y, Chen M, Wolosin JM. ZO-1 In Corneal Epithelium; Stratal Distribution and Synthesis Induction by Outer Cell Removal. Experimental Eye Research 1993;57:283-292.
- 31.- Spalton DJ, Marshall J. La retina normal. En: Spalton DJ, Hitchings RA, Hunter PA (Eds.) Atlas de Oftalmología Clínica. Ed. Mosby, Londres. 1995 pp: 13.2-9.
- 32.- Polyak S. The Retina. University of Chicago Press, Chicago 1941.
- 33.- Yamada, E. Some structural features of the fovea centralis in the human retina. Arch. Ophthal. 1969;82:151-159.
- 34.- Levin LA, Dreyer EB. Cell biology of the optic nerve. En: Albert DM y Jakobiec (eds). Principles and Practice of Ophthalmology. Ed. Saunders W B Co., Philadelphia. 1993, cap 22B.
- 35.- Anderson DR. Ultraestructure of human and monkey lamina cribosa and optic nerve head. Arch Ophthalmol. 1969; 82:800-14.
- 36.- Sadun A. The afferent visual system: Anatomy and physiology. En: Yanoff M, Duker JS (eds). Ophthalmology. Ed. Mosby, Londres, 1999, pp: 11.2.1-4.
- 37.- Fulk GW, Goss DA, Christensen MT, Cline KB, Herrín-Lawson GA. Optic nerve crescents and refractive error. Optom Vis Sci. 1992; 69:208-213.
- 38.- Kanski JJ. Atlas de Oftalmología Clínica. Cuarta edición. Ed. en español. 2002. pp: 169-171.
- 39.- Jonas JB, Schmidt AM, Müller-Bergh JA, Schlötzer-Schrehard UM, Naumann GO. Human Optic Nerve Fiber count and Optic Disc size. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1992;33:2012-8.
- 40.- Larsen JS. The sagital growth of the eye IV: ultrasonic measurements of axial length of the eye from birth to puberty. Acta Ophthalmol. 1971;49:873-886.
- 41.- William J. Benjamín. Borish's Clinical Refraction. Second Edition 2006. Buttrworth-Heinemann. Chapter 3.

- 42.- Gwiazda J, Thorn F, Bauer J, Held R. Emmetropization and the progression of manifest refraction in children followed from infancy to puberty. *Clinical Vision Sciences*. 1993;8:337-344.
- 43.- Mohindra I, Held R. Refraction in humans from birth to five years. *Documenta Ophthalmologica, Proceedings Series*. 1981;28:19-27.
- 44.- Cook RC, Glasscock RE. Refractive and ocular findings in the newborn. *Am J Ophthalmol* 1951;34:1407-1413.
- 45.- Sorsby A, Sheridan M, Leary GA, Benjamín B. Visual acuity and ocular refraction of Young men. *Br Med J* 1960;1:1394-1398.
- 46.- Duke-Elder WS. *Textbook of Ophthalmology*. St. Louis. Mosby. 1949;4:4159.
- 47.- Cárceles JA, Montoya MV, Salinas EM, Verdú AJ. Defectos de refracción. En: Solans T (ed.). *Refracción ocular y baja visión*. LXXIX Ponencia Oficial de la Sociedad Española de Oftalmología. 2003;43-74.
- 48.- Hirsch M J. Predictability of Refraction at Age 14 on the Basis of Testing at Age 6: Interim Report on the Ojai Longitudinal Study of refraction. *Am J Optom*. 1964;41:567-573
- 49.- Gwiazda J, Thorn F, Bauer J, Held R. Myopic children show insufficient accommodative response to blur. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1993;34:690-694.
- 50.- Menezo JL, España E. *Técnicas exploratorias en Oftalmología*. Barcelona : Espaxs. 2006. Cap 3,5 y 7.
- 51.- Viqueira V., Martínez Verdú F. M., De Fez M^a D. *Óptica Fisiológica: modelo paraxial y compensación óptica del ojo*. Publicaciones Universidad de Alicante. 2003. Cap. 1.
- 52.- Grosvenor T. High axial length/corneal radius ratio as a risk factor in the development of myopia. *Am J Optom Physiol Opt*. 1988;65:689-696.
- 53.- Goss DA, Jackson TW. Ocular Dioptric Components Prior to Youth Onset of Myopia. *Optom Vis Sci*. 1992;69:110.
- 54.- Yebra-Pimentel E, Giráldez MJ, Glez.-Méijome JM, Cerviño A, García-Resúa C, Parafita MA. Variación de la Ratio Longitud Axial/Radio Corneal (LA/RC) con el Estado Refractivo Ocular. Relación con los componentes oculares. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2004;79:317-324.

- 55.- Goss DA, Jackson TW. Clinical findings before the onset of myopia in youth. I. Ocular optical components. *Optom Vis Sci* 1995;72: 870-878.
- 56.- Carney LG, Mainstone JC, Henderson BA. Corneal topography and myopia. A cross-sectional study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997;38:311-320.
- 57.- Strang NC, Schmid KL, Carney LG. Hyperopia is predominantly axial in nature. *Curr Eye Res* 1998;17:380-383.
- 58.- Horner DG, Soni PS, Vyas N, Himebaugh NL. Longitudinal changes in corneal asphericity in myopia. *Optom Vis Sci* 2000;77:198-203.
- 59.- Yebra-Pimentel E, González-Méijome JM, Garcia-Resúa C, Giráldez-Fernández MJ. Relación entre los componentes ópticos oculares e implicaciones en el proceso de emetropización. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2008;83:307-316.
- 60.- Mutti DO, Frane S, Lin WK, Sholtz RI, Zadnik K. Cross-sectional changes in crystalline lens curvature and power in infants. *Optom Vis Sci* 1998;75(Suppl):70.
- 61.- Garner LF, Stewart AW, Owens H, Kinnear RF, Frith MJ. The Nepal Longitudinal Study: biometric characteristics of developing eyes. *Optom Vis Sci*. 2006;83:274-80.
- 62.- Hosny M, Alio JL, Claramonte P, Attia WH, Perez-Santonja JJ. Relationship between anterior chamber depth, refractive state, corneal diameter, and axial length. *J Refract Surg*. 2000;16:336-340.
- 63.- Cass K, Tromans C. A biometric Investigation of ocular components in amblyopia. *Ophthal Physiol Opt*. 2008;28:429-440.
- 64.- Stodmeiser R. Applanation tonometry and correction according to corneal thickness. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998;76:319-24.
- 65.- Doughty MJ, Zaman ML: Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and metaanalysis approach. *Surv Ophthalmol*. 2000;44:367-408.
- 66.- Ehlers N, Bramsen T, Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol*. 1975;53:34-43.
- 67.- Chen M-J, Liu Y-T, Tsai C-C, Chen Y-C, Chou C-K, Lee S-M. Relationship between central corneal thickness, refractive error, corneal curvature, anterior chamber depth and axial length. *J Chin Med Assoc*. 2009;72:133-137.

- 68.- Chang SW, Tsai IL, Hu FR, Lin LL, Shih YF. The cornea in young myopic adults. *Br J Ophthalmol* 2001;85:961-70.
- 69.- Fam HB, How ACS, Baskaran M, Lim K-Y, Chan Y-H, Aung T. Central corneal thickness and its relationship to myopia in Chinese adults. *Br J Ophthalmol* 2006;90:1451-3.
- 70.- Suzuki S, Suzuki Y, Iwase A, Araie M. Corneal thickness in an ophthalmologically normal Japanese population. *Ophthalmology*. 2005;112:1327-36.
- 71.- Zhang H, Xu L, Chen C, Jonas JB. Central corneal thickness in adult Chinese: association with ocular and general parameters. The Beijing Eye Study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2008;246:587-92.
- 72.- Cho P, Lam C. Factors affecting the central corneal thickness of Hong Kong Chinese. *Curr Eye Res*. 1999;18:368-74.
- 73.- Drexler W, Findl O, Menapace R, Rainer G, Vass C, Hitzenberger CK, Fercher AF. Partial coherence interferometry: a novel approach to biometry in cataract surgery. *AmJ Ophthalmol*. 1998;126:524-34.
- 74.- Sheng H, Bottjer CA, Bullimore MA. Ocular Component Measurement Using the Zeiss IOLMaster. *Optom Vis Sci*. 2004;81:27-34.
- 75.- Carkeet A, Saw S-M, Gazzard G, Tang W, Tan DTH. Repeatability of IOLMaster Biometry in Children. *Optom Vis Sci*. 2004;81:829-834.
- 76.- IOLMaster – Manual and User Training Version 5. Versión 07/2007.
<http://www.augenklinik.uni-wuerzburg.de/eulib/index.htm>
- 77.- Manual del ORA. <http://www.ocularresponseanalyzer.com>
- 78.- Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg*. 2005;31:156-162
- 79.- Spoerl E, Terai N, Scholz F, Raiskup F. Detection of Biomechanical Changes After Corneal Cross-linking Using Ocular Response Analyzer Software. *J Refract Surg*. 2011;27:452-457.
- 80.- Broman AT, Congdon NG, Bandeen-Roche K, Quigley HA. Influence of corneal structure, corneal responsiveness, and other ocular parameters on tonometric measurement of intraocular pressure. *J Glaucoma*. 2007;16:581-8.

- 81.- Hager A, Schroeder B, Sadeghi M, Grossherr M, Wiegand W. The influence of corneal hysteresis and corneal resistance factor on the measurement of intraocular pressure. *Ophthalmologe*. 2007;104:484-9.
- 82.- Ortiz D, Piñero D, Shabayek MH, Arnalich-Montiel F, Alio JL. Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ keratomileusis and keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33:1371-5.
- 83.- Lam A, Chen D, Chiu R, Chui WS. Comparison of IOP measurements between ORA and GAT in normal Chinese. *Optom Vis Sci*. 2007;84:909-914
- 84.- Pepose JS, Feigenbaum SK, Qazi MA, Sanderson JP, Roberts CJ. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following LASIK using static, dynamic, and noncontact tonometry. *Am J Ophthalmol*. 2007;143:39-47.
- 85.- Luce D. Methodology for cornea compensated IOP and corneal resistance factor for Reichert ocular response analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2006 ARVO E-Abstract 2266;47.
- 86.- Mikielwicz M, Kotliar K, Barraquer R I, Michael R. Air-pulse corneal applanation signal curve parameters for the characterisation of keratoconus. *Br J Ophthalmol*. 2011;95:793-798
- 87.- Kirwan C, O'Keefe M, Lanigan B. Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the Reichert Ocular Response Analyzer. *Am J Ophthalmol*. 2006;142:990-992.
- 88.- Shen M, Fan F, Xue A, Wang J, Zhou X, Lu F. Biomechanical properties of the cornea in high myopia. *Vision Research*. 2008;48:2167-2171.
- 89.- Cense B, Nassif N, Chen T, Pierce M, Yun SH, Park B, Bouma B, Tearney G, de Boer J. Ultrahigh-resolution high-speed retinal imaging using spectral-domain optical coherence tomography. *Opt. Express*. 2004;12:2435-47.
- 90.- Jaffe GJ, Caprioli J. Optical Coherent Tomography to detect and manage retinal disease and glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2004;137:156-69.
- 91.- Burgoyne CF. Image analysis of optic nerve disease. *Eye*. 2004;18:1207-13. Review.
- 92.- Kim NR, Lee ES, Seong GJ, Choi EH, Hong S, Kim CY. Spectral-Domain Optical Coherence Tomography for Detection of Localized Retinal Nerve Fiber

Layer Defects in Patients With Open-Angle Glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 2010;128:1121-1128.

93.- Patella VM. STRATUS OCT™. Establishment of normative reference values for retinal nerve fiber layer thickness measurements. Carl Zeiss Meditec, Inc.

94.- Cantor L, Fechtner RD, Michael AJ, et al. Open-angle glaucoma. In: Basic and clinical Science course. *Glaucoma*. San Francisco: The Foundation of the American Academy of Ophthalmology. 2001;10:72.

95.- Bowd C, Zangwill LM, Blumenthal EZ, Vasile C, Boehm AG, Gokhale PA, et al. Imaging of the optic disc and retinal nerve fiber layer: the effects of age, optic disc area, refractive error, and gender. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2002;19:197-207.

96.- Kremmer S, Zadow T, Steuhl KP, Selbach JM. Scanning laser polarimetry in myopic and hyperopic subjects. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2004;42:489-494.

97.- Varma R, Tielsch JM, Quigley HA, Hilton SC, Katz J, Spaeth GL, Sommer A. Race, age, gender, and refractive error-related differences in the normal optic disc. *Arch Ophthalmol* 1994;112:1068-1076.

98.- Huynh SC, Wang XY, Rochtchina E, Crowston JG, Mitchell P. Distribution of Optic Disc Parameters Measured by OCT: Findings from a Population-Based Study of 6-Year-Old Australian Children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006;47:3276-3285.

99.- Miglior S, Brigatti L, Velati P, Balestreri C, Rossetti L, Bujtar E, Orzalesi N. Relationship between morphometric optic disc parameters, sex and axial length. *Curr Eye Res.* 1994;13:119-124.

100.- Jonas JB, Gusek GC, Naumann GO. Optic disc, cup and neuroretinal rim size, configuration and correlations in normal eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1988;29:1151-8.

101.- Mansour AM. Racial variation of optic disc size. *Ophthalmic Res.* 1991;23:67-72.

102.- Jonas JB, Gusek GC, Guggenmoos Holzmann I, Naumann GO. Correlations of the neuroretinal rim area with ocular and general parameters in normal eyes. *Ophthalmic Res.* 1988;20:298-303.

- 103.- Mansour AM. Racial variation of optic disc parameters in children. *Ophthalmic Surg.* 1992;23:469-471.
- 104.- Ramrattan RS, Wolfs RC, Jonas JB, de Jong PT. Determinants of optic disc characteristics in a general population: The Rotterdam Study. *Ophthalmology.* 1999;106:1588-1596.
- 105.- Chihara E, Chihara K. Covariation of optic disc measurements and ocular parameters in the healthy eye. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1994;232:265-271.
- 106.- Tong L, Saw SM, Chua WH, Luu C, Cheng B, Yeo I, Wong E, Tan D, Koh A. Optic disk and retinal characteristics in myopic children. *Am J Ophthalmol.* 2004;138:160-162.
- 107.- Carpel EF, Engstrom PF. The normal cup-disk ratio. *Am J Ophthalmol.* 1981;91:588-597.
- 108.- Huynh SC, Wang XY, Burlutsky G, Rohtchina E, Stapleton F, Mitchell P. Retinal and Optic Disc Findings in Adolescence: A Population-Based OCT Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49:4328-4335.
- 109.- Huynh SC, Wang XY, Rohtchina E, Mitchell P. Distribution of macular thickness by optical coherence tomography: findings from a population-based study of 6-year-old children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006;47:2351-2357.
- 110.- Alamouti B, Funk J. Retinal thickness decreases with age: an OCT study. *Br J Ophthalmol.* 2003;87:899-901.
- 111.- Poinosawmy D, Fontana L, Wu JX, Fitzke FW, Hitchings RA. Variation of nerve fibre layer thickness measurements with age and ethnicity by scanning laser polarimetry. *Br J Ophthalmol.* 1997;81:350-354.
- 112.- Kanamori A, Escano MF, Eno A, et al. Evaluation of the effect of aging on retinal nerve fiber layer thickness measured by optical coherence tomography. *Ophthalmologica.* 2003;217:273-278.
- 113.- Recha Sainz JA, Domingo Gordo B, Toledano Fernández N. Estudio de la capa de fibras nerviosas de la retina en el estrabismo infantil. *Arch. Soc. Española de Oftalmología.* 2006;81:21-26.

- 114.- Repka MV, Kraker RT, Tamkins SM, Suh DW, Sala NA, Beck RW. Retinal Nerve Fiber Layer Thickness in Amblyopic Eyes. *Am J Ophthalmol* 2009;148:143-147.
- 115.- Huynh SC, Samarawickrama C, Wang XY, Rochtchina E, Wong TY, Gole GA, Rose KA, Mitchell P. Macular and nerve fiber layer thickness in amblyopia: the Sydney childhood eye study. *Ophthalmology*. 2009;116:1604-1609
- 116.- Kee SY, Lee SY, Lee YC. Thicknesses of the Fovea and Retinal Nerve Fiber Layer in amblyopic and normal eyes in children. *Korean J Ophthalmol*. 2006;20:177-81.
- 117.- Miki A, Shirakashi M, Yaoeda K, Kabasawa Y, Ueki S, Takagi M, Abe H. Optic disc measurements using the Heidelberg Retina Tomograph in amblyopia. *Clinical Ophthalmology* 2010;4:1025-1028.
- 118.- Wang J, Thomas J, Cox I, Rollins A. Noncontact measurements of central corneal epithelial and flap thickness after laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004;45:1812-1816
- 119.- Pavlin CJ, Sherar MD, Foster FS. Subsurface ultrasound microscopic imaging of the intact eye. *Ophthalmology*. 1990; 97:244-225.
- 120.- Steinert RF, Huang D. Anterior segment optical coherence tomography. 2008.- *Medical Ophthalmology*. Chapter 1:1-10.
- 121.- Lehman BI, Berntsen D A, Bailey M D, Zadnik K. Validation of Optical Coherence Tomography–Based Crystalline Lens Thickness Measurements in Children. *Optom Vis Sci* 2009;86:181-18.
- 122.- Bailey MD, Sinnott LT, Mutti DO. Ciliary Body Thickness and Refractive Error in Children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49:4353-4360.
- 123.- Zhao PS, Wong TY, Wong W-L, Saw S-M, Aung T. Comparison of Central Corneal Thickness Measurements by Visante Anterior Segment Optical Coherence Tomography With Ultrasound Pachymetry. *Am J Ophthalmol* 2007;143:1047-1049.
- 124.- Li Y, Shekhar R, Huang D. Corneal Pachymetry Mapping with High-speed Optical Coherence Tomography. *Ophthalmology*. 2006; 113:792-9.e2.
- 125.- Mohamed S, Lee GKY, Rao SK, Wong AL, Cheng ACK, Li EYM, Chi SCC, Lam DSC. Repeatability and Reproducibility of Pachymetric Mapping with Visante

Anterior Segment-Optical Coherence Tomography. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2007;48:5499-5504.

126.- Grosvenor T. A review and a suggested classification system for myopia on the basis of age-related prevalence and age of onset. *Am J Optom Physiol Opt* 1987;64:545-54.

127.- Scott R, Grosvenor T. Structural model for emmetropic and myopic eyes. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1993;13:41-7.

128.- Mallen EA, Gammoh Y, Al-Bdour M, Sayegh FN. Refractive error and ocular biometry in Jordanian adults. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2005;25:302-9.

129.- Wickremasinghe S, Foster PJ, Uranchimeg D, Lee PS, Devereux JG, Alsbirk PH, Machin D, Johnson GJ, Baasanhu J. Ocular biometry and refraction in Mongolian adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2004;45:776-83.

130.- Logan NS, Davies LN, Mallen EA, Gilmartin B. Ametropia and ocular biometry in a U.K. university student population. *Optom Vis Sci.* 2005;82:261-6.

131.- Pi L-H, Chen L, Liu Q, Ke N, Fang J, Zhang S, Xiao J, Ye W-J, Xiong Y, Shi H, Yin Z-Q. Refractive Status and Prevalence of Refractive Errors in Suburban School-age Children. *International Journal of Medical Sciences.* 2010;7:342-353.

132.- Mutti DO. To Emmetropize or Not to Emmetropize? The Question for Hyperopic Development. *Optom Vis Sci.* 2007;84:97-102.

133.- Zadnik K, Mutti DO. Incidence and Distribution of Refractive Anomalies. En: Benjamin W.J. Borish. *Clinical Refraction, Second Edition.* Philadelphia. W.B. Saunders Co. 2006, 1998; Chapter 2: 35-55.

134.- Mantyjarvi MI. Predicting of myopia progression in school children. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus.* 1985;22:71-5

135.- Giordano L, Friedman DS, Repka MX, Katz J, Ibrionke J, Hawes P, Tielsch JM. Prevalence of refractive error among preschool children in an urban population: the Baltimore Pediatric Eye Disease Study. *Ophthalmology.* 2009;116:739-46.

136.- Al-Rowaily M A. Prevalence of refractive errors among pre-school children at King Abdulaziz Medical City, Riyadh, Saudi Arabia. *Saudi Journal of Ophthalmology.* 2010;24:45-48.

- 137.- Santodomingo-Rubido J, Mallen E A H, Gilmartin B, Wolffsohn J S. A new non-contact optical device for ocular biometry. *Br J Ophthalmol* 2002;86:458–462.
- 138.- Lavanya R, Teo L, Friedman DS, Aung HT, Baskaran M, Gao H, Alfred T, Seah SK, Kashiwagi K, Foster PJ, Aung T. Comparison of anterior chamber depth measurements using the IOLMaster, scanning peripheral anterior chamber depth analyser, and anterior segment optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*. 2007;91:1023-6.
- 139.- Vizzeri G, Weinreb RN, Gonzalez-Garcia AO, Bowd C, Medeiros FA, Sample PA, Zangwill LM. Agreement between spectral-domain and time-domain OCT for measuring RNFL thickness. *Br.J Ophthalmol* 2009;93:775-781.
- 140.- Budenz DL, Chang RT, Huang X, Knighton RW, Tielsch JM. Reproducibility of retinal nerve fiber thickness measurements using the stratus OCT in normal and glaucomatous eyes. *Invest Ophthalmol Vis.Sci*. 2005;46:2440-43.
- 141.- Atchison DA., Pritchard N, Schmid KL, Scott DH, Jones CE, Pope JM. Shape of the retinal surface in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;46:2698-2707.
- 142.- Chen JF, Elsner AE, Burns SA. The effect of eye shape on retinal responses. *Clin Vision Sci*. 1992;7:521-530.
- 143.- Cheng HM, Singh OS, Kwong KK, Xiong J, Woods BT, Brady TJ. Shape of the myopic eye as seen with high-resolution magnetic resonance imaging. *Optom Vis Sci*. 1992;69:698-701.
- 144.- McFadden SA, Coassin M, Mattson MS, Howlett MH, Kornfield JA, Schwartz DM. The effect of scleral cross-linking on emmetropisation and eye shape. En: *International Myopia Conference, 26-29 July 2010 Tübingen, Germany*.
- 145.- Kucumen RB, Yenerel NM, Gorgun E, Kulacoglu DN, Oncel B, Kohen MC, Alimgil ML. Corneal biomechanical properties and intraocular pressure changes after phacoemulsification and intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34;2096-2098.
- 146.- Shah S, Laiquzzaman M, Mantry S, Cunliffe I. Assessment of the biomechanical properties of the cornea with the ocular response analyzer in normal and keratoconic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48:3026-31.

- 147.- Yoo C, Eom YS, Suh YW, Kim YY. Central corneal thickness and anterior scleral thickness in Korean patients With Open-angle glaucoma: an anterior segment optical coherence tomography study. *J Glaucoma*. 2011;20:95-99.
- 148.- Leite MT, Alencar LM, Gore C, Weinreb RN, Sample PA, Zangwill LM, Medeiros FA. Comparison of corneal biomechanical properties between healthy blacks and whites using the Ocular Response Analyzer. *Am J Ophthalmol*. 2010;150:163-168.
- 149.- Congdon, NG, Broman AT, Bandeen-Roche K, Grover D, Quigley HA. Central corneal thickness and corneal hysteresis associated with glaucoma damage. *Am J Ophthalmol*. 2006;141:868-875.
- 150.- Chang PY, Chang SW, Wang JY. Assessment of corneal biomechanical properties with the Ocular Response Analyzer in childhood myopia . *Br J Ophthalmol* 2009;94:877-881.
- 151.- Carbonaro F, Andrew T, Mackey DA, Spector TD, Hammond CJ. The heritability of corneal hysteresis and ocular pulse amplitude: a twin study. *Ophthalmology*. 2008;115:1545-1549.
- 152.- Tomlinson A, Phillips CI. Applanation tension and axial length of eyeball. *Br.J.Ophthalmol*. 1970;54:548.
- 153.- Tomlinson A, Phillips CI. Unequal axial length of eyeball and ocular tension. *Acta Ophthalmologica*, 1972;50:872-876.
- 154.- Tsutsui K, Uozato H, Handa T, Shoji N, Mukuno K, Shimizu K. Diurnal variation of axial length and intraocular pressure in young adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2003;44:436.
- 155.- Lee KE, Klein BEK, Klein R. Changes in refractive error over a 5-year interval in the Beaver Dam Eye Study. *Invest Ophthalmol.Vis.Sci*. 1999;40:1645-1649.
- 156.- Edwards MH, Brown B. Intraocular pressure in a selected sample of myopic and nonmyopic Chinese children. *Optom Vis Sci*. 1993;70:15-17.
- 157.- Klein BE, Klein R, Linton KL. Intraocular pressure in an American community: the Beaver Dam Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1992;33:2224-2228.

- 158.- Lee AJ, Saw SM, Gazzard G, Cheng A, Tan DT. Intraocular pressure associations with refractive error in children. *Br J Ophthalmol.* 2004;88:5-7.
- 159.- Nomura H, Ando F, Niino N, Shimokata H, Miyake Y. The relationship between intraocular pressure and refractive error adjusting for age and central corneal thickness. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2004;24:41-45.
- 160.- Wong TY, Klein BEK, Klein R, Knudtson M, Lee KE. Refractive errors, intraocular pressure, and glaucoma in a white population. *Ophthalmology.* 2003;110:211-217.
- 161.- David R, Zangwill LM, Tessler Z, Yassur Y. The correlation between intraocular pressure and refractive status. *Arch Ophthalmol.* 1985;103:1812-1815.
- 162.- Edwards MH, Chun CY, Leung SS. Intraocular pressure in an unselected sample of 6- to 7-year-old Chinese children. *Optom Vis Sci.* 1993;70:198-200
- 163.- Goss DA, Caffey TW. Clinical findings before the onset of myopia in youth: 5. Intraocular pressure. *Optom Vis Sci.* 1999;76:286-291.
- 164.- Kamiya K, Hagishima M, Fujimura F, Shimizu K. Factors affecting corneal hysteresis in normal eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2008;246:1491-1494.
- 165.- Kirwan C, O'Keefe M. Corneal hysteresis using the Reichert ocular response analyser: findings pre- and post-LASIK and LASEK. *Acta ophthalmologica.* 2008;86:215-218
- 166.- Hager A, Loge K, Füllhas MO, Schroeder B, Grossherr M, Wiegand W. Changes in corneal hysteresis after clear corneal cataract surgery. *Am J Ophthalmol.* 2007;144:341-346.
- 167.- Lu F, Xu S, Qu J, Shen M, Wang X, Fang H, Wang J. Central corneal thickness and corneal hysteresis during corneal swelling induced by contact lens wear with eye closure. *Am J Ophthalmol.* 2007;143:616-622.
- 168.- Grosvenor T, Goss DA. Role of the cornea in emmetropia and myopia. *Optom Vis Sci.* 1998;75:132-145.
- 169.- Francis BA, Hsieh A, Lai MY, Chopra V, Pena F, Azen S, Varma R, Los Angeles Latino Eye Study Group. Effects of corneal thickness, corneal curvature and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. *Ophthalmology* 2007;114:20-26.

- 170.- Matsumoto T, Makino H, Uozato H, Saishin M, Miyamoto S. The influence of corneal thickness and curvature on the difference between intraocular pressure measurements obtained with a noncontact tonometer and those with a Goldmann applanation tonometer. *Jpn J Ophthalmol.* 2000;44:691.
- 171.- Franco S, Lira M. Biomechanical properties of the cornea measured by the Ocular Response Analyzer and their association with intraocular pressure and the central corneal curvature. *Clin Exp Optom.* 2009;92:469-475.
- 172.- Pallikaris IG, Kymionis D, Ginis HS, Kounis GA, Tsilimbaris MK. Ocular rigidity in living human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005; 46:409-414.
- 173.- Lim LS, Saw SM, Jeganathan VSE, Tay WT, Aung T, Tong L, Mitchell P, Wong TY. Distribution and determinants of ocular biometric parameters in an Asian population: the Singapore Malay eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51:103-109.
- 174.- Lee DW, Kim JM, Choi CY, Shin D, Park KH, Cho JG. Age-related changes of ocular parameters in Korean subjects. *Clin Ophthalmol.* 2010;4:725-730.
- 175.- Kotecha A, Elsheikh A, Roberts CR, Zhu H, Garway-Heath DF. Corneal thickness- and age-related biomechanical properties of the cornea measured with the ocular response analyzer. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2006;47:5337-5347.
- 176.- Moreno-Montañés J, Maldonado MJ, García N, Mendiluce L, García-Gómez PJ, Seguí-Gómez M. Reproducibility and Clinical Relevance of the Ocular Response Analyzer in Nonoperated Eyes: Corneal Biomechanical and Tonometric Implications. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49:968-974.
- 177.- Kamiya, K, Shimizu, K and Ohmoto, F. Effect of aging on corneal biomechanical parameters using the ocular response analyzer. *J Refract Surg.* 2009;25:888-893.
- 178.- Fontes B M, Ambrósio R, Alonso R S, Jardim D, Velarde G C, Nosé W. Corneal Biomechanical Metrics in Eyes With Refraction of -19.00 to +9.00 D in Healthy Brazilian Patients. *J Refract Surg.* 2008;24:941-945
- 179.- Touboul D, Roberts C, Kérautret J, Garra C, Maurice-Tison S, Saubusse E, Colin J. Correlations between corneal hysteresis, intraocular pressure, and corneal central pachymetry. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:616-622
- 180.- Henry DE, Roberts CJ, Litsky AS, Weber PA. Computational Model of the

Elastic and Viscous Properties of the Cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48:E-1854.

181.- Glass DH, Roberts CJ, Litsky AS, Weber PA. A viscoelastic biomechanical model of the cornea describing the effect of viscosity and elasticity on hysteresis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:3919-3926.

182.- Toh, TY, Liew SHM, MacKinnon JR, Hewitt AW, Poulsen JL, Spector TD, Gilbert CE, Craig JE, Hammond CJ, Mackey DA. Central corneal thickness is highly heritable: the twin eye studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005;46:3718-3722

183.- Zheng Y, Ge J, Huang G, Zhang J, Liu B, Hur YM, He M. Heritability of central corneal thickness in Chinese: the Guangzhou Twin Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2008;49:4303-4307.

184.- Dimasi DP, Burdon KP, Craig JE. The genetics of central corneal thickness. *Br J Ophthalmol.* 2010;94:971-976.

185.- Strouthidis N G, Yang H, Reynaud J F, Grimm J L, Gardiner S K, Fortune B, Burgoyne C F. Comparison of Clinical and Spectral Domain Optical Coherence Tomography Optic Disc Margin Anatomy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009;50:4709-4718.

186.- Wang G, Qiu K L, Lu X H, Sun L X, Liao X J, Chen H L, Zhang M Z. The effect of myopia on retinal nerve fibre layer measurement: a comparative study of spectral-domain optical coherence tomography and scanning laser polarimetry. *Br J Ophthalmol.* 2011;95:255-260.

187.- Kim N R, Lee E S, Seong G J, Choi E H, Hong S, Kim C Y. Spectral-Domain Optical Coherence Tomography for Detection of Localized Retinal Nerve Fiber Layer Defects in Patients With Open-Angle Glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 2010;128:1121-1128.

188.- Lim L, Gazzard G, Chan YH, Fong A, Kotecha A, Sim EL, Tan D, Tong L, Saw SM. Corneal biomechanics, thickness and optic disc morphology in children with optic disc tilt. *Br J Ophthalmol.* 2008;92:1461-1466.

189.- Kaushik S, Gyatsho J, Jain R, Pandav S S, Gupta A. Correlation between retinal nerve fiber layer thickness and central corneal thickness in patients with

ocular hypertension: an optical coherence tomography study. *Am J Ophthalmol* 2006;141:884-90.

190.- Pakravan M, Parsa A, Sanagou M, Parsa C F. Central corneal thickness and correlation to optic disc size: a potential link for susceptibility to glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2007;91:26-8.

191.- Cankaya AB, Elgin U, Batman A, Acaroglu G. Relationship between central corneal thickness and parameters of optic nerve head topography in healthy subjects. *Eur J Ophthalmol* 2008;18:32-8.

192.- Viestenz A, Wakili N, Jünemann AG, Horn FK, Mardin CY. Comparison between central corneal thickness and IOP in patients with macrodiscs with physiologic macrocup and normal-sized vital discs. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2003;241:652-5.

193.- Insull E, Franzco S N, M G S, Poostchi A A, Chan K, Franzco A W. Optic disc area and correlation with central corneal thickness, corneal hysteresis and ocular pulse amplitude in glaucoma patients and controls. *Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2010;38:839-844.

194.- Shah S, Laiquizzaman M, Mantry S, Cunliffe I. Ocular response analyser to assess hysteresis and corneal resistance factor in low tension, open angle glaucoma and ocular hypertension. *Clin Experiment Ophthalmol* 2008;36:508-13.

195.- Chang PY, Chang SW. Corneal Biomechanics, Optic Disc Morphology and Macular Ganglion Cell Complex in Myopia. *J Glaucoma*. 2012 [Epub ahead of print]

196.- Wells AP, Garway-Heath DF, Poostchi A, Wong T, Chan KC, Sachdev N. Corneal biomechanics and optic nerve head compliance: corneal hysteresis but not corneal thickness correlates with optic nerve surface deformation in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49:3262-8.

197.- Prata T S, Lima V C, Guedes L M, Biteli L G, Teixeira S H, De Moraes C G, Ritch R, Paranhos A Jr. Association between corneal biomechanical properties and optic nerve head morphology in newly diagnosed glaucoma patients. *Clinical and Experimental Ophthalmology* 2012;40:682-688

198.- Rauscher FM, Sekhon N, Feuer WJ, Budenz DL. Myopia affects retinal nerve fiber layer measurements as determined by optical coherence tomography.

J Glaucoma 2009;18:501-505.

199.- Vernon SA, Rotchford AP, Negi A, Ryatt S, Tattersal C. Peripapillary retinal nerve fibre layer thickness in highly myopic Caucasians as measured by Stratus optical coherence tomography. Br J Ophthalmol. 2008;92:1076-1080.

200.- Leung CK, Mohamed S, Leung KS, Cheung CY, Chan SL, Cheng DK, Lee AK, Leung GY, Rao SK, Lam DS. Retinal nerve fiber layer measurements in myopia: an optical coherence tomography study. Invest Ophthalmol Vis Sci 2006;47:5171-5176.

201.- Savini G, Barboni P, Parisi V, Carbonelli M. The influence of axial length on retinal nerve fibre layer thickness and optic-disc size measurements by spectral-domain OCT. Br J Ophthalmol. 2012;96:57-61.

202.- Budenz DL, Anderson DR, Varma R, Schuman J, Cantor L, Savell J, Greenfield DS, Patella VM, Quigley HA, Tielsch J. Determinants of normal retinal nerve fiber layer thickness measured by Stratus OCT. Ophthalmology. 2007;114:1046-1052.

203.- Bourne R R A, Foster P J, Bunce C, Peto T, Hitchings R A, Khaw P T, Seah S K L, Garway-Heath D F. The morphology of the optic nerve head in the Singaporean Chinese population (the Tanjong Pagar study): part 2 - biometric and systemic associations. Br J Ophthalmol. 2008;92:310-314.

204.- Samarawickrama C, Wang XY, Huynh SC, Burlutsky G, Stapleton F, Mitchell P. Effects of Refraction and Axial Length on Childhood Optic Disc Parameters Measured by optical Coherence Tomography. Am J Ophthalmology. 2007;144:459-46.

205.- El-Dairi MA, Asrani SG, Enyedi LB, Freedman SF. Optical coherence tomography in the eyes of normal children. Arch Ophthalmol. 2009;127:50-58.

206.- Racette L, Boden C, Kleinhandler SL, et al. Differences in visual function and opticnerve structure between healthy eyes of blacks and whites. Arch Ophthalmol. 2005;123:1547-1553.

207.- Parikh RS, Parikh SR, Sekhar GC, Prabakaran S, Babu JG, Thomas R. Normal age related decay of retinal nerve fiber layer thickness. Ophthalmology. 2007;114:921-926.

208.- Turk A, Ceylan OM, Arici C, Keskin S, Erdurman C, Durukan AH, Mutlu FM,

Altinsoy HI. Evaluation of the Nerve Fiber Layer and Macula in the Eyes of Healthy Children Using Spectral-Domain Optical Coherence Tomography. *Am J Ophthalmol.* 2012;153:552–559

209.- Elía N, Pueyo V, Altemir I, Oros D, Pablo LM. Normal reference ranges of optical coherence tomography parameters in childhood. *Br J Ophthalmol.* 2012;96:665-670.

210.- Bowd C, Weinreb RN, Williams JM, Zangwill LM. The retinal nerve fiber layer thickness in ocular hypertensive, normal, and glaucomatous eyes with optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol.* 2000;118:22-26

211.- Kamal DS, Garway-Heath DF, Hitchings RA, Fitzke FW. Use of sequential Heidelberg retina tomography images to identify changes at the optic disc in ocular hypertensive patients at risk of developing glaucoma. *Br J Ophthalmol.* 2000;84:993-998.

212.- Katai M, Ohguro H. (2012). Study of the Effects of Aging, Refraction and Intraocular Pressure Levels on Retinal Nerve Fiber Layer Thickness of Normal Healthy Eyes, Selected Topics in Optical Coherence Tomography, Gangjun Liu (Ed.), ISBN: 978-953-51-0034-8, InTech, Available from:

<http://www.intechopen.com/books/selected-topics-in-opticalcoherencetomography/study-of-the-effects-of-aging-refraction-and-intraocular-pressure-levels-on-retinal-nerve-fiber-layer>

9.- APÉNDICE

9.- APÉNDICE

9.1.- CONSENTIMIENTO INFORMADO



CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO DE CAMBIOS ANATÓMICOS EN EL PROCESO DE EMETROPIZACIÓN

Objeto del estudio:

Debido a las nuevas tecnologías aplicadas a la oftalmología, hoy día, podemos evaluar todos los parámetros oculares, las propiedades biomecánicas corneales y la morfología del nervio óptico y distribución de la Capa de Fibras Nerviosas de la Retina, de forma no invasiva, sin contacto con el ojo, sin necesidad de utilizar midriáticos y con gran rapidez.

Todos estos aspectos son muy importantes en la población infantil, ya que es durante la etapa del crecimiento del niño donde se producen mayores cambios en los parámetros oculares.

Procedimientos

Si consiente en participar en el estudio, se le realizarán las siguientes exploraciones:

Evaluación de las propiedades biomecánicas corneales

Medida de los parámetros biométricos oculares

Medida del Espesor de la Capa de Fibras Nerviosas Retina y de los parámetros del Nervio Óptico

Medida del Espesor Corneal

Beneficios económicos:

Al firmar este documento "no espero, beneficio económico actual ni futuro como consecuencia de mi participación. El sometimiento a evaluación se realiza sin ánimo de lucro".

Riesgos:

Todas las pruebas realizadas son no invasivas e inoñas, no requieren contacto con el ojo.

No se precisará el uso de fármacos para la realización de las pruebas, por lo que no le condicionará para su vida diaria. Puede desarrollar una leve molestia debido al cansancio.

Confidencialidad

Toda la información obtenida será considerada confidencial y será usada sólo a efectos de investigación sobre el desarrollo de los errores refractivos y su relación con los parámetros biométricos y topográficos oculares.

Los datos obtenidos serán tratados según la Ley de protección de datos vigente (LO 15/99, de 13 de Diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal).

El acceso a su información personal quedará restringido a los médicos y colaboradores, quienes estarán sometidos al deber de secreto inherente a su profesión, cuando lo precisen para comprobar los datos y procedimientos, pero siempre manteniendo la confidencialidad de los mismos.

Preguntas

D. /Dña., responsable (ayudante) de la investigación en este Centro ha discutido esta información conmigo y se ha ofrecido a responder a mis preguntas.

En caso de necesidad o urgencia, puede contactar con la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo a través del teléfono 962328100.

Derecho a rehusar

Su participación en este estudio es totalmente voluntaria y es libre de tomar parte o no sin afectar ni poner en peligro su atención médica futura. Podrá abandonar el estudio cuando lo desee (aunque previsiblemente solo se realizará una única inclusión de datos por paciente, por lo que no habrá seguimiento evolutivo inicial). También podrá rectificar y cancelar sus datos si lo deseara.



CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO DE CAMBIOS ANATÓMICOS EN EL PROCESO DE EMETROPIZACIÓN

Consentimiento

"Consiento en participar en este estudio. He recibido una copia de este impreso y he tenido oportunidad de leerla".

Al firmar la hoja de consentimiento se compromete a cumplir con los procedimientos del estudio que se le han expuesto.

Debe ser consciente que sólo deberá firmarlo si:

- Ha leído esta hoja de información.
- Ha podido hacer preguntas sobre el procedimiento diagnóstico.
- Comprende que su participación es voluntaria.
- Presta su libre conformidad para realizarle las pruebas especificadas anteriormente.

D/Dña: _____ con DNI: _____

padre/madre, tutor, representante legal de:

Fecha:

Firma del padre/madre, tutor o representante legal:

Firma del Optometrista:

Revocación

D. /Dña.con DNI:

Como: revoco el consentimiento prestado en la fecha:, y no deseo proseguir en el estudio referido anteriormente, dándolo por finalizado en la fecha:

Firma del padre/madre, tutor o representante legal:

Firma del Optometrista:

9.2.- TABLAS

9.2.1.- Relación de parámetros utilizados, unidades de medida y abreviaturas

En la Tabla 8, 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:

Parámetro	Unidades	Equipo	Abreviatura
Longitud Axial	mm	IOLMaster	LA
Profundidad de cámara anterior	mm	Visante™ OCT	PCA
Curvatura corneal (media K1 y K2)	D	IOLMaster	Km
Presión Intraocular corneo-compensada	mmHg	ORA	PIO _{cc}
Presión Intraocular equivalente a Goldmann	mmHg	ORA	PIO _g
Factor de resistencia corneal	mmHg	ORA	CRF
Histéresis corneal	mmHg	ORA	CH
Espesor corneal central	μm	Visante™ OCT	ECC
Espesor medio de la CFNR	μm	Cirrus™ HD-OCT	CFNR
Espesor medio de la CFNR cuadrante Superior (46 - 135 grados)	μm	Cirrus™ HD-OCT	CFNR superior
Espesor medio de la CFNR cuadrante Nasal (136 - 225 grados)	μm	Cirrus™ HD-OCT	CFNR nasal
Espesor medio de la CFNR cuadrante Inferior (226 -315 grados)	μm	Cirrus™ HD-OCT	CFNR inferior
Espesor medio de la CFNR cuadrante Temporal (316 - 45 grados)	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

Tabla 8.- Relación de los parámetros empleados en el estudio, equipo de medida utilizado y abreviatura correspondiente.

9.2.2.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en emétopes

Los valores resaltados en amarillo indican significancia estadística con alto nivel de correlación, los valores en azul indican significancia estadística con una correlación moderada y los verdes indican significancia estadística con una débil correlación.

Emétopes (n=99)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD
LA (mm)									
<i>r</i>	1								
<i>p</i>									
PCA (mm)									
<i>r</i>	0.27	1							
<i>p</i>	0.006								
Km (D)									
<i>r</i>	-0.72	0.11	1						
<i>p</i>	<0.0001	0.26							
PIOcc (mmHg)									
<i>r</i>	0.18	0.01	-0.19	1					
<i>p</i>	0.06	0.99	0.05						
PIOg (mmHg)									
<i>r</i>	0.16	0.05	-0.10	0.83	1				
<i>p</i>	0.11	0.59	0.32	<0.0001					
CRF (mmHg)									
<i>r</i>	0.01	0.07	0.09	0.14	0.66	1			
<i>p</i>	0.99	0.49	0.33	0.16	<0.0001				
CH (mmHg)									
<i>r</i>	-0.11	0.06	0.19	-0.41	0.16	0.84	1		
<i>p</i>	0.29	0.56	0.05	<0.0001	0.11	<0.0001			
ECC (µm)									
<i>r</i>	0.24	-0.06	-0.24	0.06	0.32	0.50	0.42	1	
<i>p</i>	0.02	0.54	0.02	0.55	<0.0001	0.001	<0.0001		
EDAD (años)									
<i>r</i>	0.05	0.04	0.05	-0.15	-0.16	-0.10	-0.02	0.03	1
<i>p</i>	0.57	0.62	0.59	0.12	0.11	0.31	0.87	0.76	

Tabla 11.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en emétopes

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.3.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en emétopes

Resultado de la variable CH (mmHg)

VARIABLES INDEPENDIENTES: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.433	0.188	0.179	1.54976	0.188	21.707	1	94	0.000	2.031
ECC (µm) Km (D)	0.524	0.275	0.259	1.47218	0.087	11.169	1	93	0.001	

Tabla 12.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CH (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	1.382	2.411		0.573	0.568
ECC (µm)	0.021	0.004	0.433	4.659	0.000
(Constante)	-14.830	5.364		-2.764	0.007
ECC (µm)	0.024	0.004	0.506	5.560	0.000
Km (D)	0.328	0.098	0.304	3.342	0.001

Tabla 13.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CH (mmHg)

Resultado: ECC (t (93)= 5.56 (p<0.001)) y Km (t (93)= 3.34 (p=0.001)), fueron pronosticadores significativos para la CH.

Resultado de la variable CRF (mmHg)

Variables independientes: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.501	0.251	0.243	1.68476	0.251	31.427	1	94	0.000	2.026
ECC (µm) Km (D)	0.543	0.295	0.280	1.64261	0.045	5.886	1	93	0.017	

Tabla 14.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CRF (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-1.994	2.621		-0.761	0.449
ECC (µm)	0.027	0.005	0.501	5.606	0.000
(Constante)	-15.126	5.985		-2.527	0.013
ECC (µm)	0.030	0.005	0.552	6.162	0.000
Km (D)	0.266	0.110	0.217	2.426	0.017

Tabla 15.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CRF (mmHg)

Resultado: ECC (t (93)= 6.16 (p<0.001)) y Km (t (93)= 2.42 (p=0.017)), fueron pronosticadores significativos para el CRF.

9.2.4.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en emétopes

Emétopes (n=99)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)
CFNR MEDIO (μm)							
<i>r</i>	-0.21	-0.24	-0.24	-0.10	0.04	-0.06	0.07
<i>p</i>	0.04	0.01	0.01	0.31	0.71	0.57	0.48
AREA ANILLO (mm²)							
<i>r</i>	-0.36	-0.12	-0.04	0.09	0.15	-0.13	0.12
<i>p</i>	<0.0001	0.24	0.69	0.34	0.12	0.18	0.21
AREA DISCO (mm²)							
<i>r</i>	-0.06	0.01	0.12	0.20	0.19	-0.02	0.03
<i>p</i>	0.55	0.99	0.21	0.04	0.06	0.98	0.72
MEDIA REL C/D							
<i>r</i>	0.31	0.06	0.11	0.08	0.04	0.11	-0.11
<i>p</i>	0.002	0.55	0.28	0.41	0.70	0.28	0.27

Tabla 16.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en emétopes

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.5.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en emétopes

Resultado de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (μm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. De la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
PIOg (mmHg)	0.237	0.056	0.046	11.24667	0.056	5.511	1	93	0.021	1.877

Tabla 17.- Resumen del modelo para el resultado de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	113.749	5.811		19.573	0.000
PIOg (mmHg)	-0.797	0.339	-0.237	-2.347	0.021

Tabla 18.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Resultado: PIOg (t (93)= -2.34 ($p=0.021$)) fue variable pronosticadora significativa para el espesor medio de la CFNR.

Resultado de la variable Área del anillo (mm²)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.371	0.138	0.128	0.32609	0.138	14.838	1	93	0.000	1.783

Tabla 19.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Área del anillo (mm²)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	5.383	0.962		5.593	0.000
LA (mm)	-0.160	0.042	-0.371	-3.852	0.000

Tabla 20.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Área del anillo (mm²)

Resultado: LA (t (93)= -3.85 (p<0.0001)) fue una variable pronosticadora significativa para el Área del anillo.

Resultado de la variable Media de la relación C/D

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (μm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				Sig. Cambio en F	Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2		
LA (mm)	0.304	0.092	0.082	0.16715	0.092	9.452	1	93	0.003	2.312

Tabla 21.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Media de la relación C/D

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t	Sig.
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	-1.126	0.493			-2.283	0.025
LA	0.066	0.021	0.304		3.074	0.003

Tabla 22.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Media de la relación C/D

Resultado: LA ($t(93) = 3.07$ ($p=0.003$)) fue una variable pronosticadora significativa para Media de la relación C/D

9.2.6.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes

Miopes (n=100)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.57	1								
<i>p</i>	<0.0001									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.15	0.009	1							
<i>p</i>	0.12	0.92								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.17	0.12	-0.14	1						
<i>p</i>	0.09	0.22	0.15							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.19	0.13	-0.10	0.86	1					
<i>p</i>	0.05	0.17	0.33	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.10	0.04	0.009	0.22	0.67	1				
<i>p</i>	0.30	0.66	0.92	0.002	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.04	-0.07	0.11	-0.39	0.09	0.76	1			
<i>p</i>	0.71	0.44	0.26	<0.0001	0.33	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.23	-0.03	0.04	0.40	0.60	0.59	0.29	1		
<i>p</i>	0.02	0.72	0.66	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.002			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.32	0.30	-0.01	-0.26	-0.29	-0.20	-0.05	-0.37	1	
<i>p</i>	0.001	0.002	0.92	0.007	0.003	0.04	0.58	<0.0001		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.65	0.22	0.33	0.20	0.16	0.02	-0.09	0.29	0.10	1
<i>p</i>	<0.0001	0.03	0.0008	0.04	0.11	0.81	0.36	0.003	0.31	

Tabla 25.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.7.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de ametropías

Miopes de ≥ -0.50 a -3.00 D (n=59)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.61	1								
<i>p</i>	<0.0001									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.27	0.05	1							
<i>p</i>	0.04	0.71								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.04	0.34	-0.10	1						
<i>p</i>	0.74	0.008	0.44							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.10	0.35	0.06	0.81	1					
<i>p</i>	0.48	0.007	0.62	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.05	0.11	0.20	0.10	0.65	1				
<i>p</i>	0.68	0.42	0.12	0.44	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	0.20	-0.11	0.27	-0.41	0.17	0.81	1			
<i>p</i>	0.88	0.40	0.04	0.001	0.20	<0.0001				
EEC (μm)										
<i>r</i>	0.17	0.09	0.17	0.10	0.42	0.60	0.46	1		
<i>p</i>	0.18	0.51	0.18	0.50	0.001	<0.0001	<0.0001			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.44	0.22	-0.19	0.02	-0.06	-0.15	-0.13	-0.16	1	
<i>p</i>	<0.0001	0.09	0.15	0.87	0.63	0.26	0.31	0.22		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.50	0.29	0.45	0.02	-0.16	-0.20	-0.26	-0.17	0.40	1
<i>p</i>	<0.0001	0.02	<0.0001	0.90	0.23	0.13	0.04	0.18	0.002	

Tabla 26.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de -3.25 a -6.00 D (n=24)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.70	1								
<i>p</i>	<0.0001									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.82	-0.55	1							
<i>p</i>	<0.0001	0.005								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.24	-0.07	-0.52	1						
<i>p</i>	0.25	0.75	0.01							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.22	-0.04	-0.54	0.91	1					
<i>p</i>	0.31	0.83	0.006	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.05	0.02	-0.30	0.26	0.63	1				
<i>p</i>	0.81	0.91	0.15	0.22	0.001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.20	-0.05	0.11	-0.41	-0.04	0.70	1			
<i>p</i>	0.35	0.79	0.61	0.04	0.84	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.15	0.11	0.41	0.45	0.61	0.60	0.24	1		
<i>p</i>	0.48	0.60	0.04	0.02	0.001	0.002	0.26			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.02	0.04	0.33	-0.58	-0.75	-0.66	-0.23	-0.83	1	
<i>p</i>	0.93	0.98	0.11	0.003	<0.0001	<0.0001	0.28	<0.0001		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.74	0.50	0.34	0.20	0.21	0.11	0.06	0.24	0.41	1
<i>p</i>	<0.0001	0.01	0.11	0.34	0.31	0.60	0.77	0.25	0.03	

Tabla 27.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes medios (-3.25 a -6.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes > -6.00 D (n=17)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	-0.11	1								
<i>p</i>	0.68									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.27	0.76	1							
<i>p</i>	0.29	<0.0001								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	-0.30	-0.46	-0.41	1						
<i>p</i>	0.24	0.06	0.10							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	-0.31	-0.39	-0.48	0.88	1					
<i>p</i>	0.90	0.12	0.04	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.36	-0.17	-0.35	0.41	0.78	1				
<i>p</i>	0.15	0.51	0.17	0.10	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.60	0.06	-0.27	-0.26	0.20	0.72	1			
<i>p</i>	0.01	0.81	0.29	0.30	0.44	0.001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.02	-0.52	-0.60	0.76	0.87	0.68	0.26	1		
<i>p</i>	0.99	0.03	0.01	<0.0001	<0.0001	0.003	0.30			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.39	0.36	0.43	-0.60	-0.38	0.02	0.31	-0.50	1	
<i>p</i>	0.11	0.15	0.08	0.01	0.13	0.93	0.23	0.04		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.09	-0.02	-0.28	-0.05	0.12	-0.24	-0.27	0.02	-0.23	1
<i>p</i>	0.73	0.93	0.26	0.82	0.64	0.35	0.28	0.93	0.36	

Tabla 28.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes altos (> -6.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.8.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en miopes divididos por grupos de edad

Miopes de 6 a 10 años (n=18)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.70	1								
<i>p</i>	0.002									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.44	-0.32	1							
<i>p</i>	0.65	0.19								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.77	0.34	-0.11	1						
<i>p</i>	<0.0001	0.15	0.66							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.68	0.27	-0.31	0.85	1					
<i>p</i>	0.002	0.26	0.21	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.25	0.02	-0.37	0.31	0.74					
<i>p</i>	0.31	0.92	0.13	0.20	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	0.11	-0.17	-0.42	-0.24	0.27	0.81				
<i>p</i>	0.64	0.48	0.08	0.33	0.27	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.61	0.12	-0.51	0.7	0.77	0.51	0.19			
<i>p</i>	0.007	0.63	0.84	0.001	<0.0001	0.03	0.42			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.34	0.10	-0.28	-0.11	-0.17	-0.18	-0.17	-0.27	1	
<i>p</i>	0.89	0.69	0.25	0.65	0.49	0.46	0.48	0.28		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.71	0.29	0.23	0.75	0.50	0.02	0.41	0.72	0.32	1
<i>p</i>	0.001	0.23	0.36	<0.0001	0.03	0.93	0.08	0.001	0.19	

Tabla 29.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes de 6-10 años.

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de 11 a 13 años (n=46)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.41	1								
<i>p</i>	0.005									
Km (D)										
<i>r</i>	0.13	0.10	1							
<i>p</i>	0.37	0.51								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.33	0.36	-0.19	1						
<i>p</i>	0.02	0.01	0.20							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.31	0.31	-0.10	0.87	1					
<i>p</i>	0.03	0.03	0.49	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.08	0.06	0.62	0.26	0.68	1				
<i>p</i>	0.55	0.96	0.86	0.08	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.14	-0.22	0.28	-0.41	0.05	0.71	1			
<i>p</i>	0.35	0.14	0.06	0.005	0.70	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.24	0.04	0.12	0.25	0.51	0.63	0.37	1		
<i>p</i>	0.10	0.77	0.40	0.09	<0.0001	<0.0001	0.01			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.16	-0.01	0.06	-0.08	0.02	0.01	0.14	-0.08	1	
<i>p</i>	0.28	0.90	0.68	0.60	0.87	0.47	0.35	0.58		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.76	0.10	0.42	0.26	0.23	0.07	0.06	-0.27	-0.16	1
<i>p</i>	<0.0001	0.54	0.003	0.08	0.12	0.61	0.68	0.07	0.29	

Tabla 30.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes de 11-13 años.

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de 14 a 17 años (n=36)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.51	1								
<i>p</i>	0.001									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.32	0.14	1							
<i>p</i>	0.05	0.39								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	-0.10	-0.06	-0.20	1						
<i>p</i>	0.55	0.73	0.23							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	-0.05	0.05	-0.10	0.85	1					
<i>p</i>	0.76	0.75	0.56	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.05	0.19	0.15	-0.06	0.48	1				
<i>p</i>	0.74	0.25	0.38	0.72	0.003					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	0.05	0.10	0.19	-0.57	-0.10	0.78	1			
<i>p</i>	0.75	0.06	0.26	<0.0001	0.60	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.21	-0.04	-0.19	0.18	0.36	0.40	0.15	1		
<i>p</i>	0.22	0.79	0.26	0.29	0.03	0.01	0.38			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.03	-0.10	0.19	-0.04	-0.13	-0.17	-0.10	-0.12	1	
<i>p</i>	0.98	0.56	0.26	0.79	0.45	0.32	0.57	0.46		
Rx (D)										
<i>r</i>	0.66	0.43	0.40	0.21	0.10	-0.16	-0.18	-0.10	-0.15	1
<i>p</i>	<0.0001	0.009	0.01	0.22	0.57	0.36	0.27	0.66	0.39	

Tabla 31.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en miopes de 14-17 años.

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.9.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en miopes

Resultado de la variable CH (mmHg)

VARIABLES INDEPENDIENTES: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.298	0.089	0.079	1.39399	0.089	9.527	1	98	0.003	1.734

Tabla 32.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CH (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Sig.
	B	Error típ.	Beta	t	
(Constante)	6.380	1.682		3.792	0.000
ECC (µm).	0.010	0.003	0.298	3.087	0.003

Tabla 33.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CH (mmHg)

Resultado: ECC (t (98)= 3.08 (p=0.003)) fue pronosticador significativo para la CH en sujetos miopes.

Resultado de la variable CH (mmHg) en miopes >-6.00 D

Variables independientes: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				Durbin-Watson	
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2		Sig. Cambio en F
LA (mm)	0.591	0.349	0.306	1.34408	0.349	8.047	1	15	0.012	2.147

Tabla 34.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CH (mmHg) en el grupo de >-6.00 D

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Sig.
	B	Error típ.	Beta	t	
(Constante)	-40.789	18.320		-2.227	0.042
LA (mm)	-2.048	0.722	-0.591	-2.837	0.012

Tabla 35.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CH (mmHg) en el grupo de >-6.00 D

Resultado: LA (t (15)= -2.84 (p=0.012)) fue pronosticador significativo para la CH en sujetos miopes de más de -6.00 D.

Resultado de la variable CRF (mmHg)

VARIABLES INDEPENDIENTES: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.589	0.347	0.340	1.50305	0.347	52.057	1	98	0.000	1.811

Tabla 36.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CRF (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-1.109	1.814		-0.611	0.542
ECC (µm)	0.024	0.003	0.589	7.215	0.000

Tabla 37.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CRF (mmHg)

Resultado: ECC (t (98)= 7.21 (p<0.0001)) fue pronosticador significativo para la CRF en sujetos miopes.

9.2.10.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes

Miopes (n=100)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (µm)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO								
<i>r</i>	-0.26	-0.17	-0.10	0.06	0.24	-0.01	-0.05	-0.37
<i>p</i>	0.009	0.08	0.31	0.52	0.01	0.88	0.62	<0.0001
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.09	-0.23	-0.19	-0.05	0.15	0.05	-0.09	-0.22
<i>p</i>	0.37	0.01	0.05	0.61	0.13	0.60	0.37	0.03
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.10	-0.06	-0.16	-0.19	-0.09	-0.07	0.08	-0.17
<i>p</i>	0.29	0.54	0.09	0.05	0.33	0.48	0.37	0.08
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	0.01	0.18	0.02	-0.27	-0.34	-0.23	0.24	0.09
<i>p</i>	0.88	0.06	0.85	0.005	<0.0001	0.01	0.01	0.34

Tabla 38.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.11.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos por grupos de ametropía

Miopes de ≥ -0.50 a -3.00 D (n=59)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (μm)								
<i>r</i>	-0.10	-0.07	-0.01	0.12	0.20	0.18	-0.13	0.08
<i>p</i>	0.46	0.59	0.99	0.35	0.12	0.15	0.33	0.53
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.22	-0.34	-0.35	-0.20	0.02	0.08	0.08	0.03
<i>p</i>	0.54	0.008	0.008	0.13	0.86	0.51	0.53	0.80
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	0.17	-0.08	-0.24	-0.30	-0.22	-0.08	0.26	-0.23
<i>p</i>	0.19	0.53	0.06	0.02	0.09	0.51	0.04	0.08
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	-0.10	0.23	-0.02	-0.27	-0.40	-0.31	0.14	0.25
<i>p</i>	0.46	0.08.	0.90	0.03	0.002	0.01	0.29	0.05

Tabla 39.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes bajos (≥ -0.50 a -3.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de -3.25 a -6.00 D (n=24)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (μm)								
<i>r</i>	-0.13	-0.27	-0.21	0.02	0.38	-0.03	0.31	-0.03
<i>p</i>	0.55	0.20	0.33	0.90	0.06	0.88	0.14	0.88
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.16	-0.10	0.04	0.27	0.48	0.13	-0.26	-0.21
<i>p</i>	0.47	0.65	0.86	0.19	0.02	0.54	0.22	0.33
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.08	-0.12	-0.23	-0.32	-0.02	-0.28	0.31	-0.05
<i>p</i>	0.70	0.59	0.28	0.12	0.94	0.18	0.13	0.81
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	0.01	-0.03	-0.24	-0.52	-0.35	-0.52	0.57	0.23
<i>p</i>	0.99	0.88	0.25	0.009	0.09	0.009	0.004	0.27

Tabla 40.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes medios -3.25 a -6.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de >-6.00 D (n=17)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (μm)								
<i>r</i>	0.17	0.12	0.06	-0.03	0.02	0.17	-0.54	0.17
<i>p</i>	0.49	0.65	0.81	0.91	0.99	0.49	0.02	0.51
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.16	0.15	0.13	0.16	0.15	0.25	-0.57	-0.37
<i>p</i>	0.52	0.56	0.62	0.54	0.55	0.33	0.02	0.14
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.26	0.20	0.14	0.14	0.07	0.28	-0.53	-0.53
<i>p</i>	0.31	0.43	0.59	0.58	0.58	0.27	0.02	0.02
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	-0.38	0.09	0.07	0.01	-0.08	0.13	-0.38	0.64
<i>p</i>	0.13	0.73	0.98	0.95	0.97	0.68	0.12	0.006

Tabla 41.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes altos > -6.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.12.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en miopes divididos en grupos de edad

Miopes de 6 a 10 años (n=18)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (µm)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (µm)								
<i>r</i>	-0.41	-0.60	-0.34	0.08	0.50	-0.47	0.16	-0.73
<i>p</i>	0.08	0.009	0.16	0.74	0.04	0.05	0.51	0.001
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	0.03	0.02	0.07	0.21	0.07	0.14	0.44	-0.03
<i>p</i>	0.90	0.91	0.79	0.41	0.77	0.58	0.06	0.91
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	0.34	0.40	0.22	0.08	-0.25	0.36	0.16	-0.50
<i>p</i>	0.16	0.09	0.37	0.74	0.31	0.14	0.52	0.03
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	0.14	0.12	-0.21	-0.47	-0.57	-0.16	0.07	-0.22
<i>p</i>	0.55	0.63	0.41	0.05	0.01	0.52	0.77	0.38

Tabla 42.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes de 6-10 años.

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de 11 a 13 años (n=46)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (µm)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (µm)								
<i>r</i>	-0.24	-0.08	0.01	0.20	0.28	0.20	-0.27	-0.20
<i>p</i>	0.11	0.57	0.93	0.18	0.05	0.18	0.06	0.18
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	0.04	-0.20	-0.15	0.08	0.11	0.12	-0.14	0.17
<i>p</i>	0.77	0.17	0.32	0.59	0.45	0.43	0.36	0.26
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.17	-0.17	-0.24	-0.23	-0.06	-0.23	-0.23	-0.32
<i>p</i>	0.26	0.24	0.10	0.11	0.69	0.12	0.12	0.02
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	-0.21	0.01	-0.24	-0.22	-0.23	-0.36	-0.22	0.11
<i>p</i>	0.16	0.94	0.10	0.14	0.12	0.01	0.14	0.44

Tabla 43.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes de 11-13 años.

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Miopes de 14 a 17 años (n=36)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (μm)								
<i>r</i>	-0.22	-0.18	-0.23	-0.14	0.13	-0.20	0.14	-0.50
<i>p</i>	0.18	0.29	0.18	0.42	0.44	0.24	0.38	0.003
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.20	-0.46	-0.50	-0.18	0.22	-0.31	-0.10	-0.40
<i>p</i>	0.24	0.005	0.002	0.27	0.19	0.06	0.54	0.01
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.32	-0.08	-0.24	-0.31	-0.06	-0.11	0.21	-0.50
<i>p</i>	0.05	0.63	0.15	0.06	0.72	0.49	0.22	0.002
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	-0.16	0.54	0.46	-0.03	-0.27	0.28	0.28	0.05
<i>p</i>	0.35	0.001	0.005	0.84	0.10	0.09	0.09	0.74

Tabla 44.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en miopes de 14-17 años.

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.13.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en miopes

Resultado de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (μm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.260	0.068	0.058	9.74364	0.068	7.121	1	98	0.009	1.720
LA (mm)										
CH (mmHg)	0.345	0.119	0.101	9.51907	0.052	5.679	1	97	0.019	

Tabla 45.- Resumen del modelo para el resultado de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	152.680	21.563		7.081	0.000
LA (mm)	-2.345	0.879	-0.260	-2.668	0.009
(Constante)	131.667	22.837		5.766	0.000
LA (mm)	-2.229	0.860	-0.247	-2.592	0.011
CH (mmHg)	1.572	0.660	0.227	2.383	0.019

Tabla 46.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Resultado: LA (t (97)= -2.59 ($p=0.011$)) y CH (t (97)= 2.38 ($p=0.019$)) fueron pronosticadores significativos para el espesor medio de la CFNR.

Resultado de la variable Área del anillo (mm²)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. De la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
PIOcc (mmHg)	0.235	0.055	0.046	0.27421	0.055	5.729	1	98	0.019	2.027

Tabla 47.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Área del anillo (mm²)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t	Sig.
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	1.876	0.126			14.847	0.000
PIOcc (mmHg)	-0.019	0.008	-0.235		-2.394	0.019

Tabla 48.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Área del anillo (mm²)

Resultado: PIOcc (t (98)= -2.39 (p=0.019)), fue pronosticador significativo para el Área del anillo

Resultado de la variable Media de la relación C/D

VARIABLES INDEPENDIENTES: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. De la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
CH (mmHg)	0.343	0.117	0.108	0.17861	0.117	13.040	1	98	0.000	1.979

Tabla 49.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Media de la relación C/D

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t	Sig.
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	0.839	0.144			5.831	0.000
CH (mmHg)	-0.045	0.012	-0.343		-3.611	0.000

Tabla 50.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Media de la relación C/D

Resultado: CH (t (98)= -3.61 (p<0.0001)), fue pronosticador significativo para Media de la relación C/D.

9.2.14.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes

Hipermétropes (n=94)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.49	1								
<i>p</i>	<0.0001									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.34	0.05	1							
<i>p</i>	0.0007	0.59								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.28	-0.01	-0.27	1						
<i>p</i>	0.006	0.88	0.008							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.11	-0.04	-0.11	0.80	1					
<i>p</i>	0.28	0.67	0.30	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	-0.21	-0.10	0.18	-0.04	0.54	1				
<i>p</i>	0.04	0.31	0.08	0.68	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.36	-0.08	0.35	-0.18	0.03	0.84	1			
<i>p</i>	0.0003	0.41	0.0005	0.08	0.73	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	-0.17	-0.19	-0.08	-0.04	0.26	0.48	0.38	1		
<i>p</i>	0.09	0.05	0.41	0.65	0.01	<0.0001	0.0002			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.33	0.28	0.09	0.06	-0.01	-0.11	-0.12	-0.33	1	
<i>p</i>	0.001	0.005	0.34	0.54	0.88	0.27	0.23	0.001		
Rx (D)										
<i>r</i>	-0.68	-0.23	-0.19	-0.19	-0.09	0.12	0.20	0.21	-0.21	1
<i>p</i>	<0.0001	0.02	0.06	0.06	0.36	0.25	0.04	0.04	0.04	

Tabla 51.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en hipermétropes

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.15.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en hipermétropes divididos por grupos de ametropías

Hipermétropes de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D (n=37)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.46	1								
<i>p</i>	0.004									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.58	0.16	1							
<i>p</i>	<0.0001	0.32								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.27	0.06	-0.40	1						
<i>p</i>	0.10	0.70	0.01							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.16	0.07	-0.23	0.80	1					
<i>p</i>	0.92	0.96	0.17	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	-0.30	-0.11	0.18	-0.26	0.35	1				
<i>p</i>	0.06	0.51	0.29	0.12	0.03					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.40	-0.10	0.41	-0.70	-0.14	0.85	1			
<i>p</i>	0.01	0.56	0.01	<0.0001	0.41	<0.0001				
ECC (μm)										
<i>r</i>	-0.15	-0.40	-0.24	0.14	0.37	0.43	0.20	1		
<i>p</i>	0.37	0.02	0.14	0.38	0.02	0.008	0.23			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.31	0.44	0.18	-0.02	-0.06	-0.03	0.03	-0.50	1	
<i>p</i>	0.05	0.006	0.27	0.90	0.72	0.86	0.84	0.002		
Rx (D)										
<i>r</i>	-0.13	-0.15	0.28	-0.15	0.10	0.02	0.06	0.10	-0.21	1
<i>p</i>	0.45	0.37	0.09	0.37	0.54	0.87	0.72	0.54	0.20	

Tabla 52.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Hipermétropes de +3.25 a +6.00 D (n=41)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.41	1								
<i>p</i>	0.008									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.68	0.15	1							
<i>p</i>	<0.0001	0.35								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.29	-0.13	-0.27	1						
<i>p</i>	0.06	0.42	0.80							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.18	-0.12	-0.14	0.84	1					
<i>p</i>	0.26	0.44	0.38	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	-0.13	-0.03	0.20	0.18	0.68	1				
<i>p</i>	0.43	0.82	0.22	0.24	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.35	0.06	0.42	-0.36	0.16	0.82	1			
<i>p</i>	0.02	0.69	0.006	0.02	0.31	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.15	0.05	-0.04	-0.08	0.18	0.43	0.37	1		
<i>p</i>	0.35	0.76	0.82	0.62	0.25	0.005	0.01			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.27	0.17	-0.01	0.13	0.05	-0.10	-0.18	-0.14	1	
<i>p</i>	0.08	0.27	0.93	0.42	0.73	0.55	0.25	0.38		
Rx (D)										
<i>r</i>	-0.17	0.05	-0.18	0.02	-0.08	-0.18	-0.15	-0.20	0.04	1
<i>p</i>	0.28	0.76	0.25	0.88	0.59	0.26	0.35	0.19	0.78	

Tabla 53.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en hipermétropes medios (+3.25 a +6.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Hipermétropes de > +6.00 D (n=16)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	0.43	1								
<i>p</i>	0.09									
Km (D)										
<i>r</i>	0.23	-0.44	1							
<i>p</i>	0.39	0.08								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	-0.25	-0.14	0.19	1						
<i>p</i>	0.35	0.59	0.48							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	-0.16	-0.21	0.48	0.75	1					
<i>p</i>	0.55	0.42	0.60	0.001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	0.10	-0.25	0.63	0.01	0.64	1				
<i>p</i>	0.69	0.34	0.009	0.91	0.007					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	0.21	-0.19	0.45	-0.37	0.17	0.85	1			
<i>p</i>	0.42	0.46	0.07	0.09	0.51	<0.0001				
EEC (µm)										
<i>r</i>	0.26	-0.05	0.48	-0.08	0.48	0.83	0.77	1		
<i>p</i>	0.32	0.85	0.06	0.75	0.06	<0.0001	<0.0001			
EDAD (años)										
<i>r</i>	-0.36	-0.20	0.08	-0.29	-0.50	-0.35	-0.17	-0.32	1	
<i>p</i>	0.17	0.44	0.76	0.27	0.05	0.17	0.53	0.22		
Rx (D)										
<i>r</i>	-0.36	0.21	-0.66	-0.48	-0.44	-0.20	0.06	0.02	-0.32	1
<i>p</i>	0.17	0.44	0.006	0.05	0.08	0.47	0.81	0.94	0.22	

Tabla 54.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en hipermétropes altos (> +6.00 D)

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.16.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en hipermétropes

Resultado de la variable CH (mmHg)

Variables independientes: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.378	0.143	0.133	1.71740	0.143	15.293	1	92	0.000	1.894
ECC (µm) Km (D)	0.543	0.295	0.280	1.56567	0.153	19.696	1	91	0.000	
ECC (µm) Km (D) LA (mm)	0.570	0.325	0.303	1.54031	0.030	4.021	1	90	0.048	

Tabla 55.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CH (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-0.991	3.391		-0.292	0.771
ECC (µm)	0.024	0.006	0.378	3.911	0.000
(Constante)	-23.316	5.905		-3.949	0.000
ECC (µm)	0.027	0.006	0.411	4.649	0.000
Km (D)	0.487	0.110	0.392	4.438	0.000
(Constante)	-10.027	8.813		-1.138	0.258
ECC (µm)	0.024	0.006	0.372	4.179	0.000
Km (D)	0.406	0.115	0.326	3.516	0.001
LA (mm)	-0.388	0.193	-0.188	-2.005	0.048

Tabla 56.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CH (mmHg)

Resultado: ECC (t (90)= 4.18 (p<0.001)), Km (t (90)= 3.51 (p=0.001)) y LA (t (90)= -2.0 (p=0.048)) fueron pronosticadores significativos para la CH.

Resultado de la variable CRF (mmHg)

VARIABLES INDEPENDIENTES: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.485	0.236	0.227	1.66174	0.236	28.352	1	92	0.000	1.819
ECC (µm)										
Km (D)	0.536	0.288	0.272	1.61286	0.052	6.661	1	91	0.011	

Tabla 57.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CRF (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-5.118	3.281		-1.560	0.122
ECC (µm)	0.032	0.006	0.485	5.325	0.000
(Constante)	-18.494	6.083		-3.040	0.003
ECC (µm)	0.034	0.006	0.505	5.685	0.000
Km (D)	0.292	0.113	0.229	2.581	0.011

Tabla 58.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CRF (mmHg)

Resultado: ECC (t (91)= 5.68 (p<0.001)) y Km (t (91)= 2.58 (p=0.011)), fueron pronosticadores significativos para la CRF.

9.2.17.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes

Hipermétropes (n=94)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (µm)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (µm)								
<i>r</i>	-0.31	-0.04	-0.03	-0.04	0.02	-0.05	-0.12	0.16
<i>p</i>	0.002	0.69	0.74	0.67	0.81	0.62	0.23	0.12
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.09	-0.37	-0.30	-0.02	0.18	0.08	-0.05	0.20
<i>p</i>	0.39	<0.0001	0.003	0.85	0.07	0.43	0.59	0.05
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.26	-0.19	-0.22	-0.05	0.10	-0.05	0.05	0.42
<i>p</i>	0.01	0.06	0.03	0.64	0.33	0.63	0.57	<0.0001
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	0.02	0.29	0.18	-0.09	-0.22	-0.22	0.15	-0.02
<i>p</i>	0.81	0.004	0.08	0.38	0.02	0.03	0.15	0.84

Tabla 59.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en hipermétropes

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.18.- Tablas de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en hipermétropes divididos por grupos de ametropías

Hipermétropes de $\geq +1.00$ a $+3.00$ D (n=37)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (μm)								
<i>r</i>	-0.38	0.13	0.29	0.15	0.07	0.12	-0.36	-0.06
<i>p</i>	0.02	0.45	0.07	0.37	0.64	0.46	0.03	0.72
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.13	-0.29	-0.10	0.28	0.38	0.16	-0.03	0.13
<i>p</i>	0.45	0.07	0.55	0.09	0.02	0.34	0.86	0.44
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.01	-0.27	-0.20	0.12	0.27	-0.21	0.29	0.01
<i>p</i>	0.91	0.10	0.23	0.47	0.10	0.22	0.07	0.95
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	0.18	0.24	0.06	-0.26	-0.32	-0.46	0.33	-0.06
<i>p</i>	0.27	0.15	0.73	0.12	0.05	0.004	0.04	0.74

Tabla 60.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en hipermétropes bajos ($\geq +1.00$ a $+3.00$ D).

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Hipermétropes de $+3.25$ a $+6.00$ D (n=41)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (μ m)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (μm)								
<i>r</i>	-0.07	-0.13	-0.13	-0.06	0.05	-0.27	0.05	0.13
<i>p</i>	0.64	0.41	0.42	0.72	0.75	0.08	0.74	0.40
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	0.23	-0.33	-0.42	-0.33	-0.13	-0.12	0.02	-0.06
<i>p</i>	0.14	0.03	0.006	0.03	0.40	0.44	0.91	0.68
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	0.06	-0.02	-0.19	-0.28	-0.22	-0.15	0.06	0.37
<i>p</i>	0.70	0.89	0.23	0.07	0.16	0.35	0.69	0.02
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	-0.17	0.28	0.27	0.14	-0.01	0.02	0.02	0.43
<i>p</i>	0.26	0.07	0.08	0.39	0.94	0.91	0.99	0.005

Tabla 61.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en hipermétropes medios ($\geq +3.25$ a $+6.00$ D).

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

Hipermétropes de > +6.00 D (n=16)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (µm)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (µm)								
<i>r</i>	-0.05	-0.10	-0.40	-0.44	-0.29	-0.19	0.58	0.02
<i>p</i>	0.84	0.72	0.12	0.08	0.27	0.47	0.02	0.95
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	0.64	-0.60	-0.30	0.21	0.46	0.42	-0.13	0.12
<i>p</i>	0.008	0.01	0.25	0.44	0.06	0.10	0.62	0.65
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	0.26	-0.18	-0.17	0.07	0.21	0.15	0.21	-0.20
<i>p</i>	0.32	0.50	0.53	0.77	0.42	0.58	0.43	0.44
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	-0.29	0.63	0.36	-0.18	-0.50	-0.44	0.12	-0.37
<i>p</i>	0.28	0.008	0.16	0.49	0.04	0.08	0.66	0.15

Tabla 62.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en hipermetropes altos (> +6.00 D).

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.19.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en hipermetropes

Resultado de la variable espesor medio de la CFNR (µm)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC(µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.311	0.096	0.087	10.43422	0.096	9.825	1	92	0.002	1.635

Tabla 63.- Resumen del modelo para el resultado de la variable espesor medio de la CFNR (µm)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	184.906	26.146		7.072	0.000
LA (mm)	-3.783	1.207	-0.311	-3.134	0.002

Tabla 64.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

Resultado: LA ($t(92) = -3.13$ ($p=0.002$)) fue una variable pronosticadora significativa para espesor medio de la CFNR.

Resultado de la variable Área del anillo (mm^2)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (μm) y edad (años).

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				Durbin-Watson	
					Cambio en R^2	Cambio en F	gl1	gl2		Sig. Cambio en F
PIO (mmHg)	0.371	0.138	0.128	0.36868	0.138	14.674	1	92	0.000	1.962

Tabla 65.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Área del anillo (mm^2)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	2.412	0.171		14.135	0.000
PIOcc (mmHg)	-0.042	0.011	-0.371	-3.831	0.000

Tabla 66.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Área del anillo (mm^2)

Resultado: PIOcc ($t(92) = -3.83$ ($p < 0.0001$)) fue pronosticador significativo para el Área del anillo.

Resultado de la variable Área del disco (mm²)

Variables independientes: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.262	0.069	0.059	0.38688	0.069	6.804	1	92	0.011	1.718

Tabla 67.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Área del disco (mm²)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		Sig.
	B	Error típ.	Beta	t	
(Constante)	4.660	0.969		4.807	0.000
LA (mm)	-0.117	0.045	-0.262	-2.608	0.011

Tabla 68.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Área del disco (mm²)

Resultado: LA (t (92)= -2.61 (p=0.01)) fue pronosticador significativo para el Área del disco.

Resultado de la variable Media de la relación C/D

VARIABLES INDEPENDIENTES: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
PIOcc	0.298	0.089	0.079	0.17453	0.089	8.934	1	92	0.004	1.538
PIOcc (mmHg)										
ECC (µm)	0.368	0.136	0.117	0.17088	0.047	4.970	1	91	0.028	

Tabla 69.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Media de la relación C/D

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	0.071	0.081		0.884	0.379
PIOcc (mmHg)	0.016	0.005	0.298	2.989	0.004
(Constante)	0.826	0.348		2.376	0.020
PIOcc (mmHg)	0.015	0.005	0.293	3.006	0.003
ECC(µm)	-0.001	0.001	-0.217	-2.229	0.028

Tabla 70.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Media de la relación C/D

Resultado: PIOcc (t (91)= 0.29 (p=0.003)) y ECC (t (91)= -0.22 (p=0.028)) fueron variables pronosticadoras significativas para la Media de la relación C/D.

9.2.20.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal y parámetros biométricos oculares en la población infantil y juvenil

Población infantil y juvenil (n=293)

	LA	PCA	Km	PIOcc	PIOg	CRF	CH	EEC	EDAD	Rx
LA (mm)										
<i>r</i>	1									
<i>p</i>										
PCA (mm)										
<i>r</i>	-0.70	1								
<i>p</i>	<0.0001									
Km (D)										
<i>r</i>	-0.10	0.16	1							
<i>p</i>	0.08	0.006								
PIOcc (mmHg)										
<i>r</i>	0.19	0.07	-0.18	1						
<i>p</i>	0.001	0.20	0.002							
PIOg (mmHg)										
<i>r</i>	0.10	0.04	-0.10	0.83	1					
<i>p</i>	0.08	0.52	0.08	<0.0001						
CRF (mmHg)										
<i>r</i>	-0.09	-0.05	0.08	0.08	0.62	1				
<i>p</i>	0.13	0.37	0.15	0.14	<0.0001					
CH (mmHg)										
<i>r</i>	-0.23	-0.13	0.19	-0.46	0.09	0.82	1			
<i>p</i>	<0.0001	0.03	0.001	<0.0001	0.11	<0.0001				
ECC (µm)										
<i>r</i>	0.10	-0.06	-0.08	0.18	0.43	0.52	0.34	1		
<i>p</i>	0.09	0.33	0.15	0.002	<0.0001	<0.0001	<0.0001			
EDAD (años)										
<i>r</i>	0.45	0.37	0.11	-0.09	-0.15	-0.14	-0.10	-0.19	1	
<i>p</i>	<0.0001	<0.0001	0.06	0.11	0.01	0.01	0.07	0.001		
Rx (D)										
<i>r</i>	-0.86	-0.60	-0.25	-0.14	0.06	-0.08	0.20	0.07	-0.41	1
<i>p</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.02	0.30	0.15	0.001	0.21	<0.0001	

Tabla 73.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento anterior en la población infantil y juvenil evaluada

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.21.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento anterior en la población infantil y juvenil

Resultado de la variable CH (mmHg)

Variables independientes: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (µm).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (µm)	0.340	0.116	0.112	1.62340	0.116	37.611	1	288	0.000	1.775
ECC (µm) LA (mm)	0.432	0.187	0.181	1.55919	0.071	25.210	1	287	0.000	
ECC (µm) LA (mm) Km (D)	0.474	0.225	0.217	1.52497	0.038	14.026	1	286	0.000	

Tabla 74.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CH (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	3.605	1.392		2.589	0.010
ECC (µm)	0.016	0.003	0.340	6.133	0.000
(Constante)	10.034	1.852		5.419	0.000
ECC (µm)	0.017	0.002	0.366	6.848	0.000
LA (mm)	-0.307	0.061	-0.269	-5.021	0.000
(Constante)	-1.130	3.488		-0.324	0.746
ECC (µm)	0.018	0.002	0.381	7.261	0.000
LA (mm)	-0.285	0.060	-0.250	-4.755	0.000
Km (D)	0.236	0.063	0.197	3.745	0.000

Tabla 75.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CH (mmHg)

Resultado: ECC (t (286)= 7.26 ($p<0.001$)), LA (t (286)= -4.75 ($p<0.001$)) y Km (t (286)= 3.74 ($p<0.001$)) fueron variables pronosticadoras significativas para la CH en la población infantil y juvenil.

Resultado de la variable CRF (mmHg)

Variables independientes: LA (mm), edad (años), Km (D), PCA (mm) y ECC (μ m).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
ECC (μ m)	0.517	0.267	0.265	1.63718	0.267	105.134	1	288	0.000	
ECC (μ m)										
LA (mm)	0.535	0.286	0.281	1.61864	0.019	7.635	1	287	0.006	
ECC (μ m)										1.865
LA (mm)										
Km (D)	0.547	0.299	0.292	1.60700	0.013	5.170	1	286	0.024	

Tabla 76.- Resumen del modelo para el resultado de la variable CRF (mmHg)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-2.060	1.404		-1.467	0.144
ECC (μ m)	0.026	0.003	0.517	10.253	0.000
(Constante)	1.614	1.922		0.840	0.402
ECC (μ m)	0.027	0.003	0.531	10.592	0.000
LA (mm)	-0.175	0.063	-0.138	-2.763	0.006
(Constante)	-5.529	3.676		-1.504	0.134
ECC (μ m)	0.028	0.003	0.539	10.808	0.000
LA (mm)	-0.162	0.063	-0.128	-2.555	0.011
Km (D)	0.151	0.066	0.113	2.274	0.024

Tabla 77.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable CRF (mmHg)

Resultado: ECC (t (286)= 10.81 ($p<0.001$)), LA (t (286)= -2.55 ($p=0.011$)) y Km (t (286)= 2.27 ($p=0.024$)), fueron pronosticadores significativos para la CRF en la población infantil y juvenil.

9.2.22.- Tabla de resultados de la correlación entre biomecánica corneal, anatomía del nervio óptico y capa de fibras nerviosas de la retina en la población infantil y juvenil

Población infantil y juvenil (n=293)

	LA (mm)	PIOcc (mmHg)	PIOg (mmHg)	CRF (mmHg)	CH (mmHg)	EEC (µm)	EDAD (años)	Rx (D)
CFNR MEDIO (µm)								
<i>r</i>	-0.37	-0.17	-0.13	0.02	0.14	-0.04	-0.13	0.35
<i>p</i>	<0.0001	0.003	0.03	0.97	0.01	0.48	0.02	<0.0001
AREA ANILLO (mm²)								
<i>r</i>	-0.27	-0.25	-0.18	0.03	0.19	-0.01	-0.09	0.27
<i>p</i>	<0.0001	<0.0001	0.002	0.61	0.001	0.89	0.12	<0.0001
AREA DISCO (mm²)								
<i>r</i>	-0.30	-0.11	-0.07	0.05	0.15	-0.04	-0.05	0.34
<i>p</i>	<0.0001	0.05	0.22	0.42	0.01	0.50	0.38	<0.0001
MEDIA REL C/D								
<i>r</i>	0.07	0.15	0.07	-0.07	-0.13	-0.12	0.10	-0.05
<i>p</i>	0.20	0.01	0.24	0.21	0.02	0.04	0.12	0.42

Tabla 78.- Resultados estadísticos correspondientes al OD del segmento posterior en la población infantil y juvenil evaluada

r= coeficiente de correlación de Pearson

p= significancia estadística

- Amarillo: $r \geq \pm 0.7$
- Azul: $\pm 0.35 \leq r < \pm 0.7$
- Verde: $0 < r < \pm 0.35$

9.2.23.- Tablas del Análisis de regresión lineal múltiple del segmento posterior en la población infantil y juvenil

Resultado de la variable espesor medio de la CFNR (μm)

VARIABLES INDEPENDIENTES: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (μm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.376	0.141	0.138	10.46613	0.141	47.248	1	287	0.000	1.765

Tabla 79.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Espesor medio CFNR (μm)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	164.326	9.459		17.373	0.000
LA (mm)	-2.805	0.408	-0.376	-6.874	0.000

Tabla 80.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Espesor medio CFNR (μm)

Resultado: LA (t (281)= -6.87 (p<0.0001)) fue pronosticador significativo para el Espesor medio de la CFNR en la población infantil y juvenil.

Resultado de la variable Área del anillo (mm²)

VARIABLES INDEPENDIENTES: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.275	0.076	0.072	0.33794	0.076	23.648	1	289	0.000	2.022
LA (mm) PIOcc (mmHg)	0.347	0.121	0.115	0.33018	0.045	14.747	1	288	0.000	

Tabla 81.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Área del anillo (mm²)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t	Sig.
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	3.156	0.305			10.337	0.000
LA (mm)	-0.064	0.013	-0.275		-4.863	0.000
(Constante)	3.273	0.300			10.916	0.000
LA (mm)	-0.055	0.013	-0.234		-4.165	0.000
PIOcc (mmHg)	-0.022	0.006	-0.216		-3.840	0.000

Tabla 82.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Área del anillo (mm²)

Resultado: LA (t (288)= -4.16 (p<0.0001)) y PIOcc (t (288)= -3.84 (p<0.0001)) fueron pronosticadores significativos para el Área del anillo en la población infantil y juvenil.

Resultado de la variable Área del disco (mm²)

VARIABLES INDEPENDIENTES: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
LA (mm)	0.295	0.087	0.084	0.39548	0.087	27.560	1	289	0.000	1.700

Tabla 83.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Área del disco (mm²)

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t	Sig.
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	3.900	0.357			10.916	0.000
LA (mm)	-0.081	0.015	-0.295		-5.250	0.000

Tabla 84.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Área del disco (mm²)

Resultado: LA (t (289)= -5.25 (p<0.0001)) fue pronosticador significativo para el Área del disco en la población infantil y juvenil.

Resultado de la variable Media de la relación C/D

VARIABLES INDEPENDIENTES: CH (mmHg), CRF (mmHg), PIOg (mmHg), PIOcc (mmHg), LA (mm), ECC (µm) y edad (años).

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R ²	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
PIOcc (mmHg)	0.143	0.020	0.017	0.18349	0.020	6.046	1	289	0.015	1.819
PIOcc (mmHg)										
ECC (µm)	0.204	0.041	0.035	0.18183	0.021	6.296	1	288	0.013	

Tabla 85.- Resumen del modelo para el resultado de la variable Media de la relación C/D

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	0.223	0.049		4.554	0.000
IOPcc	0.,008	0.003	0.143	2.459	0.015
(Constante)	0.598	0.157		3.808	0.000
PIOcc (mmHg)	0.009	0.003	0.170	2.901	0.004
ECC (μm)	-0.001	0.000	-0.147	-2.509	0.013

Tabla 86.- Resultado regresión lineal múltiple de la variable Media de la relación C/D

Resultado: PIOcc ($t(288) = 2.90$ ($p=0.004$)) y ECC ($t(288) = -2.51$ ($p=0.013$)) fueron pronosticadores significativos para la Media de la relación C/D en la población infantil y juvenil.

9.3.- DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Esta tesis doctoral ha dado lugar a la publicación de artículos en revistas científicas especializadas, así como la divulgación de trabajos en congresos, nacionales e internacionales. A continuación se enumeran estos resultados de investigación:

Publicaciones en revistas especializadas:

- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Lanzagorta-Aresti A, Dualde-Beltrán C. Anterior chamber depth measurement in teenagers. Comparison of two techniques. *Journal of Optometry*. 2013;6:161-166.
- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Dualde-Beltran C. Corneal biomechanical properties and their correlations with ocular biometrics in emmetropic Spanish children. (Enviado *Ophthalmic and Physiological Optics*).
- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Ondategui-Parra JC, Piñero Llorens DP. Relationship between corneal biomechanical parameters, retinal nerve fiber layer thickness and optic disc morphology in Caucasian Spanish myopic children. (Enviado *Acta Ophthalmologica*).

Congresos Internacionales:

- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Lanzagorta-Aresti A. Corneal biomechanical properties and their correlation with axial length in emmetropic Spanish children. Congreso de la European Academy of Optometry and Optic. 2011, Prague, Czech Republic.

- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Lanzagorta-Aresti A, Alcón-Gargallo N. Comparison of anterior chamber depth using different non contact techniques in children aged 12. Congreso de la European Academy of Optometry and Optic. 2011, Prague, Czech Republic.
- Bueno-Gimeno I, Gené-Sampedro A, España-Gregori E, Alcón-Gargallo N. Corneal thickness measurement in teenagers: pentacam versus anterior segment optical coherence tomography. Congreso de la European Academy of Optometry and Optic. 2011, Prague, Czech Republic.
- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Lanzagorta-Aresti A, Porcal-Moreno M. Relationship between corneal biomechanical parameters, retinal nerve fiber layer thickness and optic disc morphology in Spanish emmetropic children. Congreso de la European Academy of Optometry and Optic. 2012, Dublin, Ireland.
- Bueno-Gimeno I, Gené-Sampedro A, España-Gregori E, Lanzagorta-Aresti A, Porcal-Moreno M. Distribution of macular parameters and their correlation with age in emmetropic Spanish children. Congreso de la European Academy of Optometry and Optic. 2012, Dublin, Ireland.
- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A. Influencia de la ametropía en las propiedades biomecánicas corneales en una población infantil española. IX Jornada de Actualización Egresados, Docentes, Estudiantes y II Encuentro de Semilleros de Investigación. 2012, Bogotá, Colombia.
- Bueno-Gimeno I, Sañudo-Buitrago F, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Díez-Cuenca M^a Teresa. The effect of axial length on corneal biomechanics in Spanish children. 10th Internacional Conference of Optometry and Vision Science (CIOCV'2013). 2013, Braga, Portugal.

- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Ondategui-Parra JC, Dualde-Beltrán C. Corneal biomechanics, retinal nerve fiber layer and optic disc morphology in Caucasian Spanish myopic children. Congreso de la European Academy of Optometry and Optic. 2013, Málaga, España.

Congresos Nacionales:

- Bueno-Gimeno I, Díez-Cuenca MT, Mascarell-Olaso J, Valero-Moscardó C, Isern-Soldevila R. Parámetros de normalidad del espesor de la Capa de Fibras Nerviosas de la Retina medidas con el GDx-VCC en una población infantil. 21 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. 2010, Madrid.
- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Gené-Sampedro A, Lanzagorta-Aresti A, Porcal-Moreno M. Evaluación de las propiedades biomecánicas corneales y su correlación con la longitud axial en una población infantil y juvenil emétrope. 22 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. 2012, Madrid.
- Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Díez-Cuenca, MT, Alcón-Gargallo N, Moreno-LLombart C. Evaluación de la capa de fibras nerviosas de la retina y su correlación con la edad en una población infantil. 22 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. 2012, Madrid.
- Díez-Cuenca M, Bueno-Gimeno I, España-Gregori E, Enciso-Ripoll J, Morales-Hernández MC. Parámetros de normalidad del espesor macular mediante Tomografía de Coherencia Óptica de Alta Definición (Cirrus™ HD-OCT) en una población infantil. 22 Congreso Internacional de Optometría, Contactología y Óptica Oftálmica. 2012, Madrid.

