

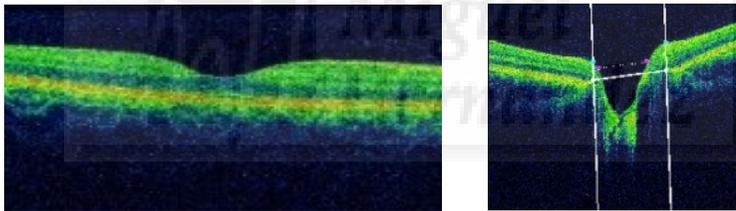


Universidad Miguel Hernández

Facultad de Medicina

Departamento de Farmacología, Pediatría y Química orgánica

ANÁLISIS DEL GROSOR MACULAR, DE LA CAPA DE FIBRAS
NERVIOSAS DE LA RETINA PERIPAPILAR Y PARÁMETROS
PAPILARES CON SD- OCT EN NIÑOS HIPERMÉTROPES



TESIS DOCTORAL

Presentada por Dña Elsa Font Juliá

Dirigida por Dña Mercedes Juste Ruiz

y Dña Encarnación Mengual Verdú

Alicante 2015



Universidad Miguel Hernández

Facultad de Medicina

Departamento de Farmacología, Pediatría y Química orgánica

TESIS DOCTORAL

ANÁLISIS DEL GROSOR MACULAR, DE LA CAPA DE FIBRAS
NERVIOSAS DE LA RETINA PERIPAPILAR Y PARÁMETROS
PAPILARES CON SD- OCT EN NIÑOS HIPERMÉTROPES

Memoria presentada por Dña Elsa Font Juliá para aspirar al
grado de Doctor en Medicina por la Universidad Miguel
Hernández bajo la dirección de las Dras Dña Mercedes Juste
Ruiz y Dña Encarnación Mengual Verdú

Alicante, 2015.



D. José F. Horga de la Parte, Director del Departamento de Farmacología, Pediatría y Química Orgánica

AUTORIZA:

La presentación y defensa de la Tesis Doctoral:

“ ANÁLISIS DEL GROSOR MACULAR, DE LA CAPA DE FIBRAS NERVIOSAS DE LA RETINA PERIPAPILAR Y PARÁMETROS PAPILARES CON SD- OCT EN NIÑOS HIPERMÉTROPES”, realizada por Doña **Elsa Font Juliá**, bajo la dirección de las Profesoras D^a Mercedes Juste Ruiz y D^a Encarna Mengual Verdú.

Dicho trabajo está concluido y en mi criterio, reúne todos los méritos necesarios para optar al grado de Doctor en Medicina y Cirugía por la UMH.

Y para que conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente en Alicante, a 31 de Julio de 2015.

Fdo José F. Horga de la Parte
Director del Departamento



Dña Mercedes Juste Ruiz, profesora titular del Departamento de Farmacología, Pediatría y Química Orgánica de la Universidad Miguel Hernández

CERTIFICA:

Que la tesis titulada “ **ANÁLISIS DEL GROSOR MACULAR, DE LA CAPA DE FIBRAS NERVIOSAS DE LA RETINA PERIPAPILAR Y PARÁMETROS PAPILARES CON SD- OCT EN NIÑOS HIPERMÉTROPES**” ha sido realizada por **Dña Elsa Font Juliá**, bajo mi dirección.

Y tras valorar el trabajo realizado por el aspirante al Título de Doctor,

AUTORIZA:

Su presentación y defensa ante el Tribunal correspondiente.

Y para que conste a los efectos oportunos, firma el presente certificado en Alicante a 31 de Julio de 2015.

Fdo. Prof. Mercedes Juste Ruiz



Dña Encarnación Mengual Verdú, Jefe Clínico del Servicio de Oftalmología de Hospital Universitario de San Juan.

CERTIFICA: Que la tesis titulada “ **ANÁLISIS DEL GROSOR MACULAR, DE LA CAPA DE FIBRAS NERVIOSAS DE LA RETINA PERIPAPILAR Y PARÁMETROS PAPILARES CON SD- OCT EN NIÑOS HIPERMÉTROPES**” ha sido realizada por **Doña Elsa Font Juliá**, bajo mi dirección.

Y tras valorar el trabajo realizado por el aspirante al Título de Doctor,

AUTORIZA:

Su presentación y defensa ante el Tribunal correspondiente.

Y para que conste a los efectos oportunos, firma el presente certificado en Alicante a 31 de Julio de 2015.

Fdo Dra Encarnación Mengual Verdú

Dedicatoria:

A mi marido y mis hijos, gracias por vuestro tiempo.



AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras Dra Mercedes Juste Ruiz y Dra Encarnación Mengual Verdú

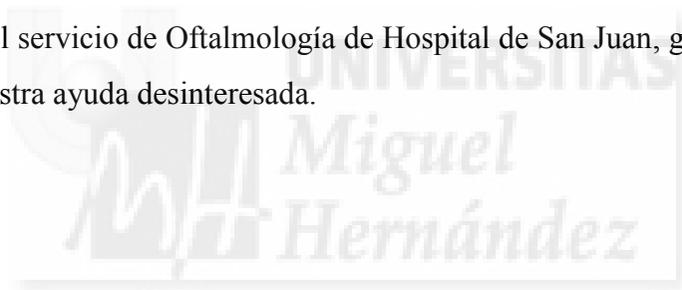
A D. Juan Juliá Puig, muchas gracias por resolver todas mis dudas.

Al Dr Fernando Aguirre Balsalobre por tu generosidad.

A Don Rafael Almarcha , de Topcon, Alicante.

Al Dr Jose Ramón Hueso Abancens y de nuevo a la Dra Encarnación Mengual Verdú por vuestro apoyo incondicional.

A todo el servicio de Oftalmología de Hospital de San Juan, gracias por toda vuestra ayuda desinteresada.



RESUMEN

Análisis del grosor macular, de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros papilares con SD- OCT en niños hipermétropes.

OBJETIVOS

Evaluar los hallazgos en la OCT en pacientes pediátricos hipermétropes, estudiando el disco óptico, la capa de fibras nerviosas peripapilares y el espesor macular en sus distintos sectores con 3D OCT 2000 de dominio espectral.

Comparar los datos obtenidos para los distintos grosores de la retina y características de la cabeza del nervio óptico con pacientes pediátricos emétropes.

Así mismo comparar los datos obtenidos de niños sanos emétropes medidos con OCT de dominio espectral 3DOCT2000 con los datos normativos publicados tomados con otros dispositivos SD-OCT.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trata de un estudio observacional transversal y prospectivo de casos-control.

Para la realización de este estudio se reclutaron 207 ojos , siendo 107 ojos de niños hipermétropes y 100 ojos de niños emétropes como grupo control, con edades comprendidas entre 5 y 14 años. Los pacientes fueron sometidos a una revisión completa que incluía medida de agudeza visual, refracción bajo cicloplejia, diez medidas con biometría de contacto (Biómetro Ocuscan, Laboratorios Alcon) y medición con

3D- OCT2000 del grosor macular (protocolo de escaneo 3Dmacular 512x128), parámetros de la cabeza del nervio óptico y grosor de la CFNR en los cuatro cuadrantes peripapilares (protocolo de escaneo 3D disco óptico 6.0x6.0mm).

RESULTADOS

En la base de datos general encontramos una distribución bastante homogénea en cuanto a sexo, con 106 niños (51.2 %) y 101 niñas (48.8%). En el grupo de hipermetropía se han incluido 65 ojos de niños y 42 ojos de niñas y en el grupo control 41 ojos de niños y 59 ojos de niñas.

La media de equivalente esférico en el grupo hipermetrope fue de $+4.7 \pm 1.80$ dioptrías y de $+1.00 \pm 0.77$ dioptrías en el grupo control. La longitud axial media en el grupo hipermetrope fue de 21.34 mm y de 22.62 mm en el grupo control. Observándose diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la longitud axial entre los grupos siendo ésta menor en el grupo hipermetrope ($p < 0.001$) Existían diferencias significativas en cuanto a la longitud axial entre niños y niñas, tanto en el grupo control como en el hipermetrope, siendo la media de longitud axial en niños mayor que en niñas. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas con respecto al equivalente esférico en los dos grupos entre niños y niñas.

El grosor macular medio en el grupo hipermetrope fue de 287 μm y de 279.38 μm en el grupo control. Las diferencias entre el grupo control y el hipermetrope se apreciaron sobretodo en la mácula central ($p < 0.05$) y el anillo exterior ($p < 0.001$) donde el grupo hipermetrope tenía una media mayor. En cuanto al sexo la única variable significativa fue el

mínimo foveal siendo el grosor mínimo foveal menor en niñas en los dos grupos.

El grosor medio de la CFNR en el grupo hipermetrope fue de 111.89 μm frente a 104.70 μm en el grupo control. Destaca que en el sector temporal no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos, mientras en el resto de los cuadrantes sí se objetiva que el grosor en paciente hipermetropes es significativamente mayor.

Respecto a los parámetros de la cabeza del nervio óptico, el diámetro vertical papilar medio del grupo hipermetrope fue de 2.06 mm y de 1.93 mm en el grupo control. El diámetro horizontal papilar medio del grupo hipermetrope fue de 1.85 mm y de 1.73 mm en el grupo control. La excavación papilar media del grupo hipermetrope fue de 0.12 mm frente a 0.22 mm en el grupo control. , Así pues, se observaron diferencias estadísticamente muy significativas tanto en los diámetros papilares como en la media de excavación (tabla 58 y figura 4.4.1.5-1), siendo de media la papila más grande en el grupo hipermetrope pero con menor excavación papilar.

Así mismo se objetivaron valores en el grupo control significativamente diferentes a los publicados anteriormente.

CONCLUSIONES

Existe diferencia estadísticamente significativa de grosor macular y CFNR peripapilar en los pacientes pediátricos hipermetropes con respecto al grupo control siendo los grosores significativamente más elevados en el grupo hipermetrope.

En lo relativo a los parámetros de la cabeza del nervio óptico evaluada con 3DOCT2000, los ojos de niños hipermétropes presentan, en este estudio, diámetros papilares mayores con respecto a los ojos de los niños emétropes pero con excavaciones menores.

Cada dispositivo de OCT precisa de unos datos normativos propios en lo referente al grosor macular, capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros de la cabeza del nervio óptico en población pediátrica. No pudiéndose intercambiar datos en valor absoluto entre los dispositivos de las diferentes casas comerciales.



LISTADO DE ABREVIATURAS

CCD: “Charge- couple device” dispositivo de carga acoplada.

CFNR: Capa de fibras nerviosas de la retina.

CFNR sup: Capa de fibras nerviosas de la retina en el cuadrante superior.

CFNR inf: Capa de fibras nerviosas de la retina en el cuadrante inferior.

CFNR nasal: Capa de fibras nerviosas de la retina en el cuadrante nasal.

CFNR temp: Capa de fibras nerviosas de la retina en el cuadrante temporal.

Dt/ Desv típ: Desviación típica.

ES: Equivalente esférico.

Ext inf: Sector inferior del anillo externo macular.

Ext nasal: Sector nasal del anillo externo macular.

Ext sup: Sector superior del anillo externo macular.

Ext temp: Sector temporal del anillo externo macular.

Gmm: Grosor macular medio.

Int inf: Sector inferior del anillo macular interno.

Int nasal: Sector nasal del anillo macular interno.

Int sup: Sector superior del anillo macular interno.

Int temp: Sector temporal del anillo macular interno.

ISNT: Inferior, superior, nasal, temporal.

LA: Longitud axial.

LASER: “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación.

LCD: “Liquid Crystal Display”, pantalla de cristal líquido.

LED: “Light- Emitting Diode”, diodo emisor de luz.

Mc: Sector macular central.

Mf: Mínimo grosor foveal.

OCT:” Optic coherence tomography”, tomografía de coherencia óptica.

PS-OCT: “Polarization sensitive optic coherence tomography”, tomografía de coherencia óptica sensible a polarización.

SD-OCT: “Spectral domain optic coherence tomography”, tomografía de coherencia óptica de dominio espectral.

TD-OCT: “Time domain optic coherence tomography”, tomografía de coherencia óptica de dominio temporal.

Volmac: Volumen macular.

3D: Tres dimensiones.

3D-OCT : “Three dimension optic coherence tomography” tomografía de coherencia óptica en tres dimensiones.

LISTADO DE TABLAS

Pág

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Equivalencias para los distintos métodos de notación de agudeza visual..... | 41 |
| Tabla 2. Grosor de los distintos sectores de la mácula según diversos estudios..... | 85 |
| Tabla 3. Capa de fibras nerviosas de la retina en los distintos sectores del nervio óptico según diversos estudios..... | 86 |
| Tabla 4. Parámetros de la cabeza del nervio óptico en niños normales según diversos estudios (todos medidos con Stratus-OCT)..... | 87 |
| Tabla 5. Distribución según sexo en los distintos grupos a estudio..... | 118 |
| Tabla 6. Análisis descriptivo por edad de todos los casos..... | 119 |
| Tabla 7. Análisis descriptivo por edad de los casos hipermétropes y de los casos control..... | 119 |
| Tabla 8. Distribución de edades por grupos..... | 119 |
| Tabla 9. Distribución por grupos de edad para cada grupo de estudio..... | 119 |
| Tabla 10. Equivalente esférico en los distintos grupos..... | 120 |
| Tabla 11. Longitud axial en los distintos grupos..... | 121 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 12. Grosor medio, mínimo foveal, volumen macular y grosor por secciones de ETDRS medidos en μm (salvo el volumen macular, medido en mm^3)..... | 121 |
| Tabla 13. Grosos en los distintos sectores ETDRS, medidos en μm (salvo el volumen macular, medido en.....) | 123 |
| Tabla 14. Grosos de los distintos cuadrantes peripapilares medidos en μm en todos los pacientes..... | 124 |
| Tabla 15. Grosor medio y por cuadrantes (μm) en el grupo hipermetrope y control..... | 124 |
| Tabla 16. Características de la cabeza del nervio óptico en el grupo total de pacientes..... | 125 |
| Tabla 17. Características de la cabeza del nervio óptico en los distintos grupos..... | 126 |
| Tabla 18. Grosor medio (μm), volumen macular (mm^3) y grosos en los distintos sectores de ETDRS (μm) en el grupo control..... | 127 |
| Tabla 19. Grosor de la CFNR peripapilar (μm) en el grupo control..... | 128 |
| Tabla 20. Características de la cabeza del nervio óptico en el grupo control (mm)..... | 129 |
| Tabla 21. Kolmogorov- Smirnov para las variables en el grupo control..... | 130 |
| Tabla 22. Correlaciones de Pearson significativas..... | 131 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23. Grosor medio, volumen macular y grosores en los distintos sectores de ETDRS en el grupo hipermetrope, medidos en μm salvo el volumen macular medido en mm^3 | 134 |
| Tabla 24. Grosor medio y por cuadrantes de la CFNR peripapilar (μm)..... | 135 |
| Tabla 25. Características de la papila en el grupo hipermetrope..... | 136 |
| Tabla 26. Kolmogorov-Smirnov de las variables para el grupo hipermetrope..... | 137 |
| Tabla 27. Correlaciones de Pearson significativas..... | 138 |
| Tabla 28. Distribución de pacientes en cada grupo corregido..... | 140 |
| Tabla 29. Distribución de pacientes hipermetros1 y control1 en cada grupo de edad..... | 141 |
| Tabla 30. Equivalente esférico (dioptrías) en los grupos a estudio corregidos..... | 141 |
| Tabla 31. Longitud axial (mm) en los grupos a estudio corregidos..... | 141 |
| Tabla 32. Grosores maculares (μm) y volumen macular (mm^3) en los grupos a estudio corregidos..... | 142 |
| Tabla 33. Grosor de la CFNR (μm) en los grupos a estudio corregidos..... | 144 |
| Tabla 34. Características papilares (mm) en los grupos a estudio corregidos..... | 144 |
| Tabla 35. Kolmogorov-Smirnov para las variables en los grupos corregidos..... | 145 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 36. Distribución de casos para los dos subgrupos hipermétropes..... | 146 |
| Tabla 37. Distribución de sexos para los dos subgrupos de hipermétropes..... | 146 |
| Tabla 38. Media de edad, mínimo, máximo y desviación típica para los dos subgrupos de hipermetropía..... | 147 |
| Tabla 39. Longitud axial en los dos subgrupos de hipermétropes..... | 147 |
| Tabla 40. Grosos maculares, en μm , medio y en los distintos sectores y volumen macular , en mm^3 , de los dos subgrupos hipermétropes..... | 148 |
| Tabla 41. Grosor medio y de los distintos cuadrantes peripapilares (μm) de la CFNR peripapilares en los dos subgrupos de hipermétropes..... | 149 |
| Tabla 42. Características de la cabeza del nervio óptico de los dos subgrupos de hipermétropes..... | 149 |
| Tabla 43. Kolmogorov-Smirnov para los grupos hipermétropes..... | 150 |
| Tabla 44. Correlaciones con la variable ES y LA..... | 151 |
| Tabla 45. Distribución de pacientes control e hipermétropes según grupos de edad..... | 153 |
| Tabla 46. Equivalente esférico (dioptrías), Edad (años) y Longitud axial (mm) en el grupo de 5 a 8 años tanto en controles como en hipermétropes..... | 155 |
| Tabla 47. Equivalente esférico (dioptrías), Edad (años) y Longitud axial (mm) en el grupo de 8 a 14 años tanto en controles como en hipermétropes..... | 155 |
| Tabla 48. Grosos maculares (μm) y volumen | |

| | |
|--|-----|
| macular (mm ³) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 5 a 8 años | 156 |
| Tabla 49. Grosos maculares (μm) y volumen macular (mm ³) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 9 a 14 años | 157 |
| Tabla 50. Grosor de CFNR (en μm) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 5 a 8 años | 158 |
| Tabla 51. CFNR (en μm) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 9 a 14 años..... | 158 |
| Tabla 52. Características papilares en ambos grupos en el rango de edad de 5 a 8 años..... | 159 |
| Tabla 53. Características papilares en ambos grupos en el rango de edad de 9 a 14 años..... | 159 |
| Tabla 54. Significación de los test de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks para las variables en los grupos de edad | 160 |
| Tabla 55. T- Student y U de Mann-Whitney para las variables en el grupo control e hipermetrope según sexo..... | 163 |
| Tabla 56. T-Student y U de Mann- Whitney para las variables de grosor macular..... | 165 |
| Tabla 57. T-Student para CFNR en ambos grupos..... | 165 |
| Tabla 58. Comparación de las características de la cabeza del nervio óptico entre grupo control e hipermetros..... | 166 |
| Tabla 59. Contraste de las dos muestras Hipermetrope1 y Control1 con t -Student y U de Mann-Whitney..... | 169 |
| Tabla 60. T-Student para CFNR en ambos grupos | 170 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 61. Comparación de las características de la cabeza del nervio óptico entre grupo control 1 e hipermetrope1 | 171 |
| Tabla 62. Comparación de medias con T-Student entre los grupos hipermetros..... | 173 |
| Tabla 63. Significación de T-Student y U de Mann-Whitney (resultados con *) entre los grupos hipermetrope y control según rango de edad para las medias de grosor macular..... | 176 |
| Tabla 64. Significación de T-Student entre los grupos hipermetrope y control según rango de edad para las medias de grosor de la CFNR..... | 178 |
| Tabla 65. Significación de T-Student y U de Mann-Whitney (resultados con *) entre los grupos hipermetrope y control según rango de edad para las características papilares..... | 179 |
| Tabla 66. Longitud axial (mm) y grosores maculares (μm) del grupo control y diferentes datos normativos publicados..... | 189 |
| Tabla 67. T-Student comparando medias de grosor macular de grupo control con diferentes artículos. Significación..... | 190 |
| Tabla 68. T-Student comparando medias de grosor macular de grupo control de 5-7 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad..... | 191 |
| Tabla 69. T-Student comparando medias de grosor macular de grupo control de 8-13 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad..... | 192 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 70. Equivalente esférico (dioptrías), longitud axial (mm) y grosor medio y de diferentes sectores de la CFNR peripapilar (μm), tanto en el grupo control como en los diferentes artículos publicados..... | 194 |
| Tabla 71. Equivalente esférico (dioptrías), longitud axial (mm) y grosor medio y de diferentes sectores de la CFNR peripapilar (μm), tanto en el grupo control como en los diferentes artículos publicados..... | 194 |
| Tabla 72. T-Student comparando medias de grosor de CFNR del grupo control con diferentes datos normativos publicados (1)..... | 195 |
| Tabla 73. T-Student comparando medias de grosor de CFNR del grupo control con diferentes datos normativos publicados (2)..... | 197 |
| Tabla 74. T-Student comparando medias de grosor de CFNR grupo control de 5-7 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad..... | 196 |
| Tabla 75. T-Student comparando medias de grosor de CFNR grupo control de 8-13 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad..... | 196 |
| Tabla 76. Longitud axial (LA) en mm, área papilar (mm^2) y excavación papilar en mm en nuestro grupo control y en los distintos artículos publicados..... | 198 |
| Tabla 77. T-Student comparando medias de longitud axial, área papilar y ratio ex/papila..... | 198 |

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 | EL SISTEMA VISUAL..... | 6 |
| 1.1.1 | Anatomía ocular..... | 6 |
| 1.1.2 | Neuroanatomía del Sistema Visual..... | 14 |
| 1.1.3 | Proceso de Maduración Visual..... | 27 |
| 1.2 | DEFECTOS DE REFRACCIÓN..... | 30 |
| 1.2.1 | Óptica geométrica..... | 30 |
| 1.2.2 | Miopía, Hipermetropía y Astigmatismo..... | 34 |
| 1.2.3 | Epidemiología de los errores de refracción..... | 38 |
| 1.2.4 | Exploración de Agudeza Visual..... | 39 |
| 1.2.5 | Cálculo y Tratamiento de las Ametropías..... | 41 |
| 1.3 | HIPERMETROPÍA..... | 49 |
| 1.4 | BIOMETRÍA OCULAR..... | 55 |
| 1.5 | TOMOGRAFIA DE COHERENCIA ÓPTICA..... | 57 |
| 1.5.1 | Óptica cuántica..... | 58 |
| 1.5.2 | Interferómetro de Michelson..... | 64 |
| 1.5.3 | Diferentes Tipos de OCT..... | 69 |
| 1.5.4 | 3D OCT 2000..... | 73 |
| 1.5.5 | Instrumentos Análogos y Utilidad Clínica de la OCT..... | 79 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 1.5.6 | Reproducibilidad y Repetitividad..... | 84 |
| 1.5.7 | OCT en Pacientes Pediátricos..... | 84 |
| 2. | JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS..... | 89 |
| 2.1. | JUSTIFICACIÓN..... | 91 |
| 2.2. | HIPÓTESIS..... | 93 |
| 2.3. | OBJETIVOS..... | 94 |
| 3. | PACIENTES Y MÉTODOS..... | 97 |
| 3.1. | METÓDICA..... | 99 |
| 3.2. | TOMOGRÁFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA (OCT)..... | 102 |
| 3.2.1 | Unidad de exploración..... | 102 |
| 3.2.2. | Protocolos de escaneo..... | 106 |
| 3.2.3. | Análisis y Presentación de datos..... | 107 |
| 3.3. | CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE PACIENTES..... | 111 |
| 3.3.1 | Grupos y variables a estudio..... | 112 |
| 3.4. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 113 |
| 4. | RESULTADOS..... | 115 |
| 4.1. | DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS OBTENIDA..... | 117 |
| 4.2 | RESULTADOS DESCRIPTIVOS..... | 118 |
| 4.3. | ANÁLISIS POR GRUPOS..... | 127 |
| 4.3.1 | Análisis del grupo control..... | 127 |
| 4.3.1.1 | Análisis descriptivo..... | 127 |
| 4.3.1.2 | Normalidad..... | 130 |
| 4.3.1.3 | Independencia entre las variables..... | 131 |
| 4.3.2 | Análisis del grupo hipermetrope..... | 134 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.3.2.1 | Análisis .descriptivo..... | 134 |
| 4.3.2.2 | Normalidad..... | 137 |
| 4.3.2.3. | Independencia de las variables..... | 138 |
| 4.3.3. | Grupos control e hipermetrope corregidos..... | 140 |
| 4.3.3.1 | Análisis descriptivo..... | 140 |
| 4.3.3.2 | Normalidad..... | 145 |
| 4.3.4 | Grupos según el grado de hipermetropía..... | 146 |
| 4.3.4.1 | Análisis descriptivo..... | 146 |
| 4.3.4.2. | Normalidad..... | 150 |
| 4.3.4.3. | Independencia de las variables..... | 151 |
| 4.3.5. | Grupos de edad..... | 153 |
| 4.3.5.1 | Análisis descriptivo..... | 153 |
| 4.3.5.2 | Normalidad..... | 160 |
| 4.4. | CONTRASTE DE MEDIAS..... | 162 |
| 4.4.1 | COMPARACIÓN ENTRE GRUPO CONTROL Y GRUPO HIPERMÉTROPE..... | 162 |
| 4.4.1.1 | Según sexo..... | 162 |
| 4.4.1.2 | Longitud axial..... | 164 |
| 4.4.1.3 | Grosor macular..... | 164 |
| 4.4.1.4. | Grosor de la CFNR Peripapilar..... | 165 |
| 4.4.1.5. | Características de la cabeza del nervio óptico..... | 166 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.2. COMPARACIÓN ENTRE GRUPO HIPERMÉTROPE1 Y GRUPO CONTROL1..... | 168 |
| 4.4.2.1. Longitud axial..... | 168 |
| 4.4.2.2. Grosor macular..... | 168 |
| 4.4.2.3. Grosor de la CFNR..... | 170 |
| 4.4.2.4 Características de la cabeza del nervio óptico..... | 171 |
| | |
| 4.4.3. COMPARACIÓN ENTRE HIPERMÉTROPES MODERADOS Y ALTOS..... | 172 |
| | |
| 4.4.4 COMPARACIÓN SEGÚN GRUPOS DE EDAD..... | 175 |
| 4.4.4.1 Longitud axial..... | 175 |
| 4.4.4.2. Grosor macular..... | 175 |
| 4.4.4.3. Grosor de la CFNR..... | 177 |
| 4.4.4.4 Características de la cabeza del nervio óptico..... | 179 |
| | |
| 5. DISCUSIÓN..... | 183 |
| | |
| 6. CONCLUSIONES..... | 209 |
| | |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 215 |
| | |
| 8. ANEXOS..... | 237 |

| | |
|---|-----|
| 8.1. ANEXO 1: Consentimiento informado para participar en el estudio: Hoja de información al paciente hipermetrope..... | 237 |
| 8.2. ANEXO 2: Consentimiento informado para participar en el estudio: Hoja de información al paciente Control..... | 241 |



1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

Todo ser vivo necesita de los órganos sensoriales para conocer su medio y así poder interactuar con él de manera efectiva.

El sistema visual es el sentido que, en el ser humano, se estima aporta alrededor de un 90% de la información que recibe el individuo de su entorno. Está compuesto de un sistema óptico, el globo ocular, capaz de transformar las radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda entre 380 y 780 NM (luz visible en la especie humana) en energía eléctrica. Estas señales eléctricas se transmiten por vías nerviosas hasta centros integradores en el cerebro siendo aquí donde se realiza la percepción visual (sensación que se hace consciente).

Los errores más comunes de este complejo son las inexactitudes del sistema óptico, debidas, en su mayoría, a una longitud axial del globo ocular no equilibrada con la potencia refractiva de los instrumentos oculares convergentes del haz luminoso recibido del exterior (1). Estos desequilibrios son llamados ametropías.

En la población infantil, el defecto refractivo más frecuente es la hipermetropía (2) (3) (4) ya que ésta, si es leve, se considera fisiológica.

La hipermetropía es un defecto de refracción en el cual la imagen refractada se enfoca por detrás de la retina. Esto puede ser debido a que el sistema óptico del ojo es demasiado débil para enfocar la imagen en la retina o a que la distancia focal, es decir, la longitud axial del ojo es demasiado corta. La córnea y cristalino no tienen al nacer las características del ojo del adulto y, por otro lado, el ojo del niño es más corto que el ojo de un adulto. Es, por tanto, considerado normal un cierto grado de hipermetropía en el niño.

Sin embargo, la hipermetropía elevada se asocia con mayor riesgo de desarrollar ambliopía y estrabismo (5). Por esta razón, es importante realizar un diagnóstico precoz y un estrecho seguimiento de los pacientes pediátricos que padecen una hipermetropía elevada. Y, en estos casos, sería de gran ayuda, no sólo conocer las medidas normales del grosor macular y de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) peripapilar sino también saber si debemos esperar un grosor diferente en pacientes con hipermetropía elevada.

Por otro lado, los avances tecnológicos nos ofrecen novedades en aparatos médicos de modo casi constante. La perfección en el manejo de la tecnología láser (acrónimo del inglés "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", en castellano "Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación") hoy día ha desembocado en la creación de la Tomografía de Coherencia Óptica cuyo funcionamiento

se basa en la medición de la latencia y de la intensidad de una onda lumínica reflejada tras incidir sobre un tejido.

La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) es un dispositivo que nos permite obtener imágenes de las estructuras del ojo de forma no invasiva por lo que es casi indispensable para el diagnóstico, seguimiento y tratamiento de enfermedades retinianas (6) y neurooftalmológicas (7) (8) (9). La rapidez de obtención de éstas imágenes la hacen, además, muy útil en la exploración de pacientes pediátricos.



1.1 EL SISTEMA VISUAL

1.1.1 Anatomía ocular

El globo ocular es un órgano casi esférico cuya longitud axial es de 21 mm a 24mm (algo menor el diámetro vertical). Forma con la órbita un ángulo de 23° en posición primaria de la mirada.

Anteriormente, el globo ocular, está protegido por los párpados, dos pliegues cutáneos con una apertura entre ellos: la hendidura palpebral. Su misión es proteger el globo ocular y distribuir de forma homogénea la película lagrimal.

En la porción nasal del borde libre, tanto en el párpado inferior como en el superior, hay dos orificios que corresponden a los puntos lagrimales y que son origen de los canaliculos lagrimales, uno inferior y otro superior (figura 1.1.1-1), que tras unirse, desembocan en el saco lagrimal que a su vez expulsa su contenido al meato inferior de las fosas nasales. En el canto externo de ambos párpados superiores se encuentra alojada la glándula lagrimal, encargada de la secreción refleja de la lágrima (gracias a su inervación vegetativa).

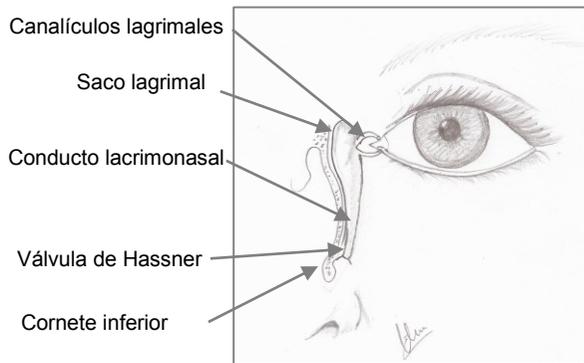


Figura 1.1.1-1 Vía lagrimal

La conjuntiva (figura 1.1.1-2) es una membrana transparente que se extiende desde el borde palpebral, creando el saco conjuntival o fórnix (uno superior y otro inferior). Dispone de varias glándulas y células mucínicas responsables de la secreción lacrimal basal. Bajo la conjuntiva se extiende un tejido remanente de la aracnoides llamada cápsula de Tenon. Rodeados por esta cápsula se encuentran los músculos extraoculares encargados del movimiento del globo ocular, los músculos rectos medio, lateral, superior e inferior y los oblicuos superior e inferior.

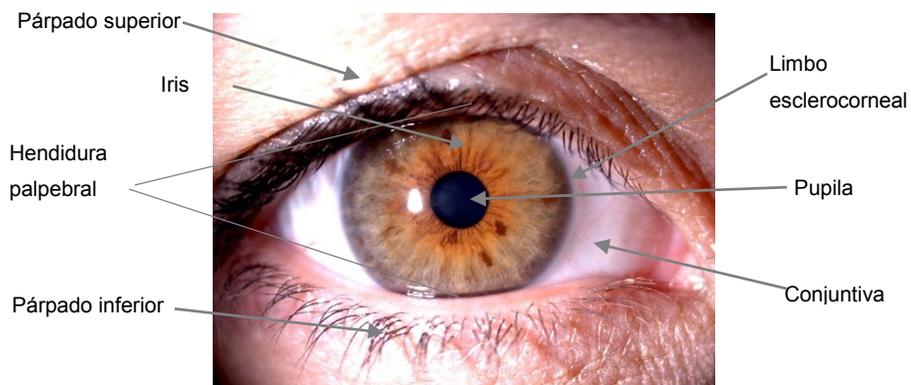


Figura 1.1.1-2 Ojo humano

La esclerocórnea se diferencia en una parte anterior transparente llamada córnea, y el resto, posterior, se denomina esclera y es mucho mayor. El lugar donde se unen la córnea y la esclera se denomina limbo esclero-corneal (10).

La esclera forma parte del “esqueleto” del globo ocular (ocupa los cinco sextos posteriores). De color blanco, está formada por tejido fibroso muy resistente, presentando únicamente un orificio perforado posterior de 1.5 mm de diámetro: la lámina cribosa, por la que las fibras nerviosas de la retina emergen del globo ocular. La esclera también se encuentra perforada por vasos y otras fibras nerviosas.

Por otro lado, la córnea es un tejido fibroso avascular y transparente (ocupa un sexto anterior del globo) con rica inervación sensitiva, a cargo, como el resto del ojo, de la rama oftálmica del V par craneal o Nervio Trigémino. Mide unos 11 mm de diámetro, y es más delgada según nos aproximamos al centro, donde su espesor es de unos 550 μm . Está formada por cinco capas histológicas, el Epitelio con su membrana basal (capa más anterior, en contacto con la película lagrimal), la Capa de Bowman, el Estroma, la Membrana de Descemet y el Endotelio (capa más posterior en contacto con el Humor acuoso). Sus funciones principales son la protección estructural y la capacidad óptica tanto de transmisión (transparencia) como de convergencia del haz luminoso. De hecho, la córnea posee una capacidad de convergencia de 43.25 dioptrías (11). Para su adecuado funcionamiento óptico y preservación de la integridad celular del epitelio necesita una película lagrimal estable en su superficie externa (Figura 1.1.1-3).

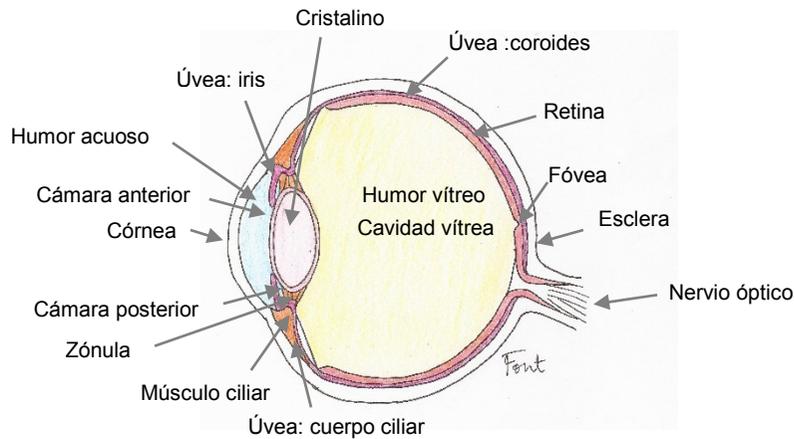


Figura 1.1.1-3 Esquema de ojo humano

La capa uveal o úvea es un tejido muy inmunógeno y tapiza la esclera por su parte interior. Está muy vascularizada y su función principal es la nutrición vascular de casi todo el globo ocular. Está formada por tres estructuras: el Iris, el Cuerpo Ciliar y la Coroides. La región más anterior, el iris, forma un disco en el plano coronal, cuya raíz es más o menos coincidente con el limbo esclero-corneal, y a su orificio central anterior se le denomina Pupila (figura 1.1.1-2). El iris es un tejido muy pigmentado que actúa como un diafragma móvil, regulando la cantidad de luz que llega a la retina (12). Esto lo consigue gracias a que, en su estroma, se encuentran el músculo dilatador y el músculo constrictor de la pupila, que adecuarán el tamaño de la pupila gracias a la inervación del sistema nervioso vegetativo. El estímulo parasimpático contrae la pupila “miosis” (en condiciones de alta luminosidad), mientras que la dilatación “midriasis” (en la oscuridad) acontece o bien por la ausencia de estímulo parasimpático o bien por acción del simpático

cervical. Esta apertura se puede modificar entre 1.5 y 8 mm de diámetro, por lo que varía hasta en treinta veces la cantidad de luz que penetra por ella (13).

El iris se continúa posteriormente con el Cuerpo Ciliar, en el que diferenciamos la mitad anterior, “Pars Plicata”, de la mitad posterior, “Pars Plana”. La primera de ellas se caracteriza por la presencia de los Procesos Ciliares. Los procesos ciliares se encargan de la producción del Humor Acuoso, del que hablaremos más tarde. Además constan de una banda circular de músculo liso llamado Músculo Ciliar que, junto a los ligamentos suspensorios o zónula de Zinn, se encarga de la acomodación visual. La zónula de Zinn se compone de fibras acelulares que discurren longitudinalmente desde la pars plana hasta la pars plicata y se anclan en el ecuador del cristalino. Estas fibras mantienen sujeto al cristalino y aplanado. Con la contracción del músculo ciliar, las fibras de la zónula se relajan permitiendo el abombamiento del cristalino y por tanto la acomodación.

La parte más posterior de úvea (la de mayor extensión: 2/3 del globo) se sitúa interiormente respecto a la esclera y recibe el nombre de Coroides. La unión entre la pars plana del cuerpo ciliar y la coroides se llama Ora Serrata, límite entre la retina ciega y la retina visual (12).

Las funciones de la coroides son principalmente nutritivas y se diferencia en varias capas: Supracoroides, Estroma, Coriocapilar y Membrana de Bruch. La más externa es la supracoroides. Por el estroma de la capa coroides discurren los vasos sanguíneos más gruesos. La capa coriocapilar se encarga de la nutrición de las dos capas más externas de la retina y está en relación con la membrana de Bruch, membrana basal

fuertemente unida al epitelio pigmentario de la retina que forma la barrera hemato-retiniana (14).

La retina es la estructura más interna del globo ocular. La retina ciega ocupa el tercio anterior y es sólo epitelio pigmentario que recubre interiormente el iris y el cuerpo ciliar y termina en la ora serrata. La retina visual se extiende desde la ora serrata hasta el nervio óptico. La porción más posterior de la retina, alineada con el centro de la pupila, se llama la Mácula (mancha en latín) o mácula lútea (mancha amarilla) (figura 1.1.1-4). Recibe este nombre porque contiene pigmentos carotenoides, principalmente zeaxantina y luteína que le da un color más oscuro que el resto de la retina (12). En la porción central de la mácula, de 1.5mm de diámetro, se encuentra la fovea, que, por su anatomía y composición en fotorreceptores, está especializada para la elevada agudeza espacial y la visión de color. Dentro de la fovea hay una fosita central conocida como foveola, una región de 0.35 mm de diámetro. Dentro de la foveola hay una pequeña depresión conocida como Umbo u ombligo (15).

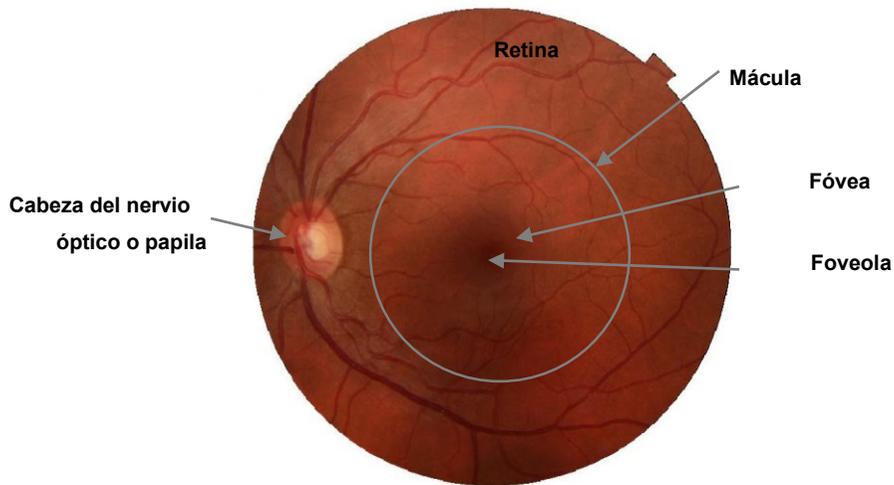


Figura 1.1.1-4 Fotografía del fondo de ojo

El Cristalino es un cuerpo transparente y avascular que, junto con la córnea, enfoca la luz incidente en los elementos sensoriales de la retina. Es una lente biconvexa de unos 9 mm de diámetro situado posteriormente al iris y mantenido en esa posición por la zónula de Zinn, cuyo ligamento anular divide al ojo en una parte anterior la cual contiene humor acuoso, y otra posterior, la Cámara vítrea, que contiene humor vítreo.

La función del cristalino es óptica, aportando unas 20 dioptrías, pero además, la contracción de los músculos ciliares de la zónula es capaz de cambiar el poder dióptrico, aumentando su eje antero-posterior para poder enfocar adecuadamente objetos cercanos gracias al sistema parasimpático o bien disminuyendo en el mismo eje para enfocar los objetos lejanos gracias a la acción del simpático.

El ojo tiene tres compartimentos: la cámara anterior, la cámara posterior y la cavidad vítrea. La cámara anterior, que es el espacio entre

el iris y la córnea, contiene el humor acuoso, cuya composición es similar a la del plasma. Mide aproximadamente 3 mm de profundidad, con un volumen medio de 250 μ l.

La cámara posterior es más pequeña que la cámara anterior y también contiene humor acuoso, es posterior al iris y cuerpo ciliar y anterior al cristalino. El Humor Acuoso se genera en el cuerpo ciliar y se drena por el ángulo camerular o iridocorneal, lugar donde confluyen la raíz del iris y la córnea. El drenaje se realiza por dos vías: bien a través de la malla trabecular hacia el conducto de Schlemm que lo conduce a las venas episclerales, o bien, en menor medida, por la vía úveo-escleral que finaliza en el espacio supracoroideo, entre la capa supracoroides y la esclera.

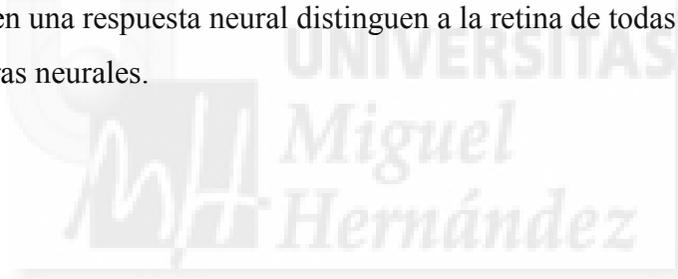
El mayor compartimento del ojo es la cavidad vítrea, que supone más de dos tercios del volumen del ojo (5-6 ml) y contiene el gel vítreo. El volumen del ojo adulto medio es de aproximadamente 6.5-7 ml. El humor vítreo, es una matriz transparente formada por colágeno, ácido hialurónico y agua. En la base del vítreo, las fibras de colágeno son especialmente densas; se implantan en una zona que se extiende 2 mm por delante y 3 mm por detrás de la ora serrata. El vítreo también se halla unido con firmeza a los vasos retinianos, el nervio óptico y la mácula.

Tanto el humor acuoso como el vítreo cumplen funciones ópticas, no sólo por su transparencia, sino también porque aportan cierto poder de convergencia.

1.1.2 Neuroanatomía del Sistema Visual

Para que se realice la percepción visual es necesario que se produzcan tres fenómenos, también llamados momentos. El momento físico consiste en la llegada de la luz a la retina por medios ópticos (a través de la córnea, humor acuoso, cristalino, humor vítreo). El momento físico-químico o fisiológico acontece cuando los pigmentos visuales se modifican por los fotones generando, tras unas reacciones proteicas en cadena, una descarga eléctrica. El último eslabón es el momento psíquico, cuando la información llega a la corteza cerebral y se percibe.

La captación de la luz y la conversión de su diminuta cantidad de energía en una respuesta neural distinguen a la retina de todas las demás estructuras neurales.



La retina se puede dividir anatómicamente en diez capas superpuestas según sus células. En un corte transversal, desde la retina externa hasta la interna, distinguimos las siguientes capas (12) (Figura 1.1.2-1):

1. Epitelio pigmentario de la retina y su membrana basal.
2. Segmentos interno y externo de bastones y conos.
3. Membrana limitante externa
4. Capa nuclear externa (núcleos de los fotorreceptores)
5. Capa plexiforme externa
6. Capa nuclear interna
7. Capa plexiforme interna
8. Capa de células ganglionares.
9. Capa de fibras nerviosas (axones de las células ganglionares)
10. Membrana limitante interna

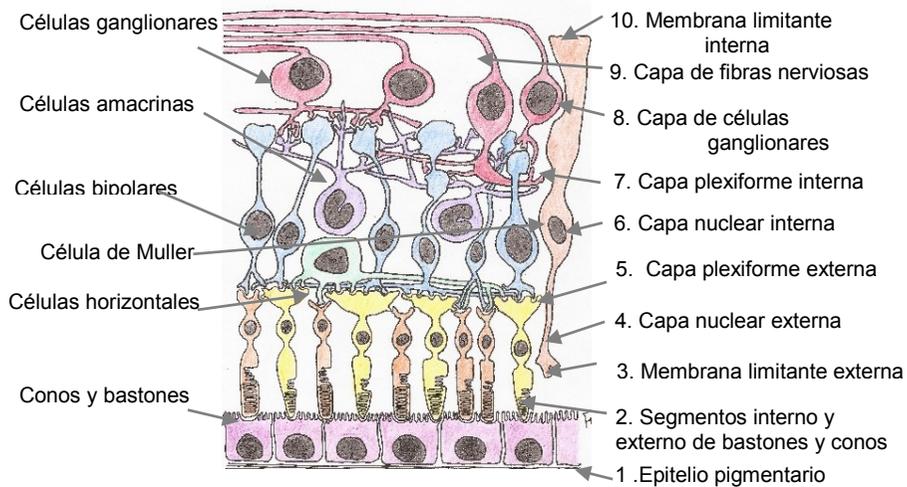


Figura 1.1.2-1. Capas de la retina

La más externa es el Epitelio Pigmentario, que permite que el ojo sea una cámara oscura, evitando así reflexiones de luz no deseables y obligando a que las diferentes longitudes de onda incidan en los fotorreceptores. Está formado por una monocapa de células hexagonales que se extiende en dirección anterior desde la papila hasta la ora serrata, donde se fusiona con el epitelio pigmentario del cuerpo ciliar. Su integridad es fundamental para la correcta función metabólica de las partes externas de los conos y bastones, las cuales forman la siguiente capa, la de los fotorreceptores o capa bacilar (16).

Los Fotorreceptores son células neuroepiteliales muy especializadas. En la retina, existen dos tipos de fotorreceptores, conos (visión fotópica) y bastones (visión escotópica) (Figura 1.1.2-2). Cada cono y cada bastón consta de cuatro partes: un segmento externo, un segmento interno, el cuerpo celular y la terminal sináptica. De hecho la capa de fotorreceptores sólo contiene los segmentos externo e interno de

los fotorreceptores. Los conos, especialmente densos en la mácula, pueden ser de tres clases según el fotopigmento que contengan en su extremo externo; eritrolábiles que reaccionan ante la longitud de onda del color rojo, deuterolábiles que lo hacen ante la longitud de onda del color verde y otros, cianolábiles, que se estimulan con el azul. Los bastones contienen un fotopigmento llamado rodopsina, derivado de la vitamina A, que es muy sensible a la luz siendo la visión que transmiten correspondiente a la escala de grises. Su máxima densidad, y por tanto la máxima sensibilidad lumínica, se sitúa en un anillo elíptico perifoveal que atraviesa el disco óptico (15).

Los segmentos externos de los conos tienen una morfología diferente dependiendo de su localización en la retina y el cuerpo sináptico de los conos (o pedículo) es más complejo que el de los bastones (o esférula) (Figura 1.1.2-2).

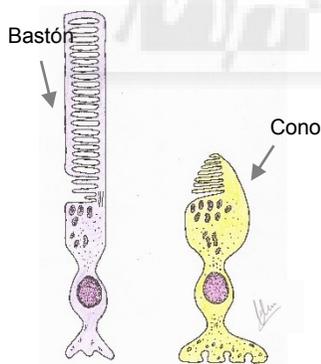


Figura 1.1.2-2 Fotorreceptores

La Membrana Limitante Externa (tercera capa retiniana) se forma de la prolongación externa de células de glía llamadas células de Müller, cuya función es de sostén a las demás células de la retina.

Los núcleos de los fotorreceptores, más internamente, forman la capa granular o nuclear externa y sus segmentos internos sinaptan con las células bipolares, las células horizontales y la prolongación externa de las células interplexiformes configurando la Capa Plexiforme Externa.

Los núcleos de las células bipolares, horizontales, las células de Müller, células interplexiformes y las amacrinas forman la Capa Granular o Nuclear Interna.

La sinapsis entre las células bipolares, las interplexiformes, las ganglionares y las amacrinas, constituye la Capa Plexiforme Interna (figura 1.1.2-1).

Los somas de las células ganglionares configuran la capa que llevan su nombre. Sus axones forman la capa de fibras nerviosas de la retina y constituyen la vía centripeta de la retina respecto al sistema nervioso central.

Una fina membrana constituida por la prolongación interna de las células de Müller limita y separa la capa de fibras nerviosas de la retina del vítreo, formando la Capa Limitante Interna, que es la capa más interna y última de la retina (figura 1.1.2-1).

La nutrición de las dos capas externas de la retina depende de la difusión de nutrientes desde los vasos de la coriocapilar, mientras que el resto, más internamente, se nutre a través de los vasos procedentes de la arteria central de la retina tributaria de la arteria oftálmica. Esta última vascularización utiliza dos circuitos en planos diferentes, uno entre la capa nuclear interna y plexiforme externa, y otro en la capa de fibras nerviosas. Los 0.3 mm centrales de la mácula constituyen el Clivus

avascular, nutriéndose únicamente del plexo vascular coriocapilar adyacente. Esto es así para que el área central tenga las menores interferencias posibles y para ello tampoco posee las diez capas retinianas. En el área central van desapareciendo progresivamente las capas celulares hasta que, en el clivus avascular, no hay más que las porciones externas de unos 35.000 conos y ni siquiera los núcleos de estos, lo que determina el punto de máxima agudeza visual.

En la parte más posterior de la retina, a 15-18° nasales de la mácula, distinguimos la papila óptica, lugar de encuentro de todos los axones de las células ganglionares en su discurrir hacia el cerebro, lo que genera un punto ciego en el campo visual temporal ya que carece de células retinianas.

La retina es la encargada del análisis de las imágenes visuales gracias a los seis tipos celulares, nombrados anteriormente, que sinaptan entre sí.

Los rayos de luz, con sus diferentes longitudes de onda, convergen en la retina gracias al sistema óptico que forma el segmento anterior del ojo. La luz atraviesa todas las capas de la retina hasta llegar al epitelio pigmentario de la retina que la refleja hacia los segmentos externos de los fotorreceptores. Los distintos pigmentos de los fotorreceptores se degradan con la luz desencadenando un cambio de potencial eléctrico de la célula. Acontece entonces una transducción que media en el resto de células retinianas. Entre ellas distinguimos células verticales (células bipolares y células ganglionares) y células horizontales (células horizontales, amacrinas e interplexiformes) cuya función es la de inhibir o facilitar la transmisión del impulso eléctrico.

Estas últimas, modelando la trasmisión, son capaces de formar contrastes entre zonas vecinas y definir los campos receptivos.

Por otro lado, mientras se estima que existen 130 millones de fotorreceptores en cada retina, únicamente hay algo más de un millón de células ganglionares lo que determina diferentes tipos de sinapsis. Así, en la retina periférica, un numeroso grupo de fotorreceptores se corresponden con varias células bipolares y éstas con una sola célula ganglionar mientras que en el área central las sinapsis son 1 a 1: un fotorreceptor articula con una bipolar y ésta con una ganglionar. Este hecho determina el concepto de Campo Funcional que es el área que cubre una célula ganglionar tanto si es estimulada en el centro del campo como en la periferia. Son campos grandes en la retina periférica, porque una célula ganglionar depende de muchos fotorreceptores, pero pequeños en la central, por lo que las células de la fovea pueden discriminar contrastes hasta en 0.5 minutos de arco del campo visual.

El tipo de respuesta (On-Off) de una célula ganglionar ante un estímulo preciso del campo visual se denomina campo receptor. El campo receptor retiniano está compuesto de un centro y un anillo circundante y si el centro es de respuesta On el anillo circundante es Off y viceversa (figura 1.1.2-3).

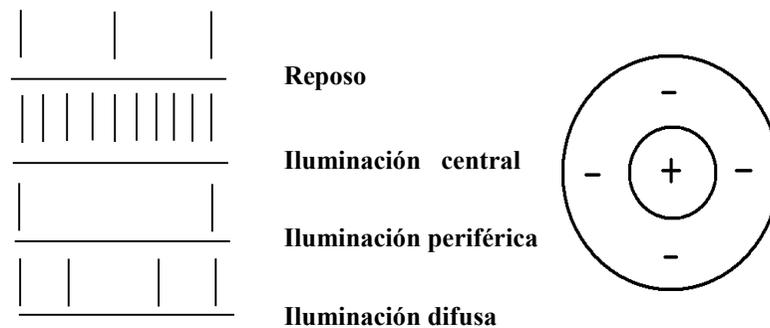


Figura 1.1.2-3. Esquema de un campo receptivo ON, y sus respuestas eléctricas según el estímulo.

De este modo, cuando en un campo de centro On se ilumina la zona central la célula ganglionar On emite una fuerte respuesta (alta frecuencia de impulsos), en cambio, al iluminar el anillo periférico hay una disminución de frecuencia o ninguna. Por otra parte, si se ilumina todo el campo apenas existen cambios, por ello se considera que la base de la visión no está en la simple detección o no de luz de una forma puntual (como se pensaba antiguamente) sino que la retina se dedica fundamentalmente a detectar contrastes y, en definitiva, cambios de iluminación lo que determina la forma y el movimiento (figura 1.1.2-3).

Las células ganglionares se pueden dividir también en Grandes (o Magni o M) y Pequeñas (Parvi o P). Cada uno de estos tipos puede dividirse, a su vez, en ON y OFF.

Las células M están sobre todo en la retina periférica. Son las menos numerosas (5%), tienen una respuesta transitoria y velocidad de conducción rápida. Su campo anatómico es amplio y por tanto pequeños estímulos visuales las pueden disparar. Codifican forma y movimiento.

Las células ganglionares P son la más numerosas (55%) y son de respuesta mantenida, velocidad lenta y campo anatómico pequeño, por lo que sólo responden ante estímulos específicos resolviendo con bastante exactitud la forma y el color. Además de existir células P OFF y OFF, las células P desarrollan su proceso oponente para diferentes colores (longitudes de onda). Los pares de colores antagónicos son el rojo/verde y el azul/amarillo (17).

Todos los axones de las células ganglionares constituyen la capa de fibras nerviosas retinianas y se reúnen en el disco óptico disponiéndose de forma característica según de la zona de dónde provengan (18)(figura 1.1.2-4). Estos axones se colocan en la periferia del disco óptico formando un reborde denominado anillo neuroretiniano, dejando un espacio vacío central denominado excavación papilar. Se ha visto que en la mayoría de papilas sanas, el grosor del anillo neuroretiniano es mayor en el área inferior, seguido de la superior, siendo el reborde más fino en el cuadrante temporal (regla ISNT, acrónimo de inferior, superior, nasal, temporal) (19). Aunque ésta regla no se cumple siempre, sobretodo en niños (20) sirve para el screening de glaucoma (21).

En el disco óptico, de 1.5 mm de diámetro, los axones pasan por los poros de la lámina cribosa (figura 1.1.2-5) generándose el nervio óptico o II par craneal. A partir de aquí el nervio se rodea de mielina (figura 1.1.2-6), por ello el diámetro del nervio óptico aumenta 1.5 mm más, hasta tener 3 mm de diámetro.

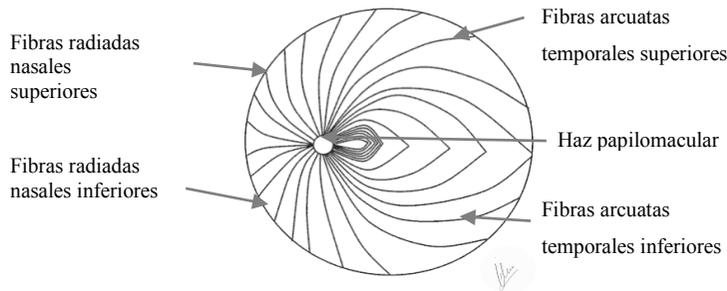


Figura 1.1.2-4 Disposición de los axones de las células ganglionares en la retina.

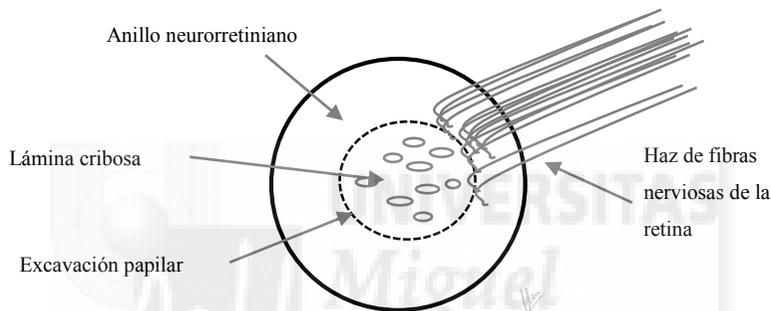


Figura 1.1.2-5 Esquema de la cabeza del nervio óptico

Los nervios ópticos procedentes de cada ojo efectúan un recorrido posterior y medial, penetran en la cavidad craneal a través de los agujeros ópticos y se unen formando el quiasma óptico (figura 1.1.2-6). En el quiasma, los axones de las células ganglionares situadas en las hemirretinas nasales (que captan imágenes del campo visual temporal) se cruzan al lado contrario.

El quiasma se continúa con los tractos ópticos o cintillas ópticas, una a cada lado, de unos dos centímetros de longitud lo que otorga al quiasma una configuración en forma de equis (figura 1.1.2-6). Cada cintilla discurre posteriormente a lo largo de las superficies del

hipotálamo y el pedúnculo, y penetra por la superficie ventral del núcleo geniculado lateral. En este punto los axones de las células ganglionares hacen sinapsis con neuronas de tercer orden.

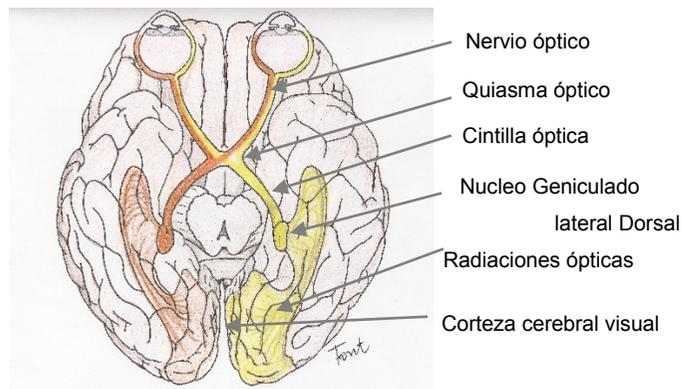


Figura 1.1.2-6. Vía visual primaria (vía geniculada).

Cada Núcleo Geniculado Lateral Dorsal recoge información del hemicampo visual contralateral no siendo las conexiones aleatorias, sino que guardan una disposición retinotópica precisa del campo visual (como en toda la vía geniculada), así en una amplia zona del centro del geniculado se proyectan las fibras retinianas maculares, mientras que lateralmente lo hacen las fibras originadas en el resto de la retina; por otra parte, los axones que conducen información del hemicampo visual superior sinaptan en la mitad lateral del geniculado mientras que los que llevan información del hemicampo visual inferior lo hacen en la mitad medial del mismo.

El Núcleo Geniculado Lateral consta de seis capas principales (figura 1.1.2-7). Cada capa recibe fibras nerviosas provenientes de la retina nasal contralateral o de la temporal ipsilateral. De este modo, las

capas 1, 4 y 6 recogen proyecciones contralaterales, y las 2, 3 y 5 ipsilaterales. Además, las capas 1 y 2 se llaman capas magnocelulares por el tamaño de sus células, las células Y, y reciben conexiones de las células ganglionares M. Las capas 3, 4, 5 y 6 se denominan capas parvocelulares, siendo sus somas más pequeños y corresponden a células X (80%) y recibiendo éstas conexiones de las células ganglionares P. También hay células biestratificadas pequeñas (10%) pertenecientes al sistema Konio.

El sistema parvocelular, compuesto por células X, codifica el color, el contraste, la forma y el tamaño. El sistema magnocelular, compuesto por células Y, transmite información relativa a la forma, al movimiento y localización espacial. El sistema Konio determina movimientos direccionales (22).

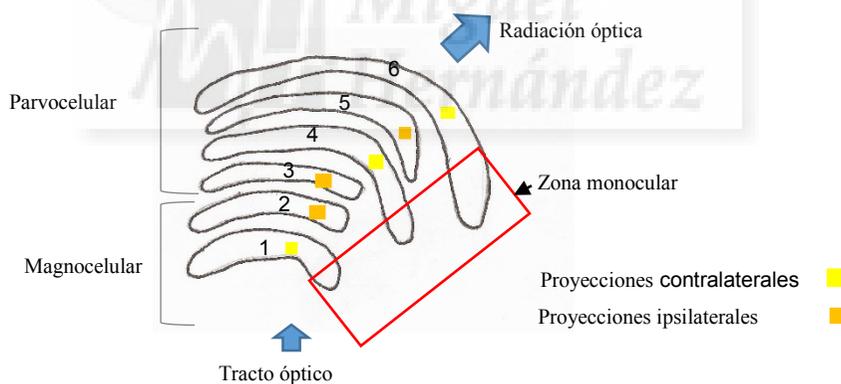


Figura 1.1.2-7. Capas neuronales del núcleo geniculado lateral dorsal.

Este núcleo, además de las aferencias ganglionares retinianas, recibe también aferencias nerviosas desde la corteza (fibras corticófugas) y desde las áreas reticulares del mesencéfalo, siendo ambos circuitos

inhibidores, lo cual permite filtrar la información favoreciendo o no su transmisión hacia la corteza.

Las eferencias del Núcleo Genuculado Lateral constituyen las radiaciones ópticas o tracto geniculo-calcarino que, tras realizar una curva en el lóbulo temporal, denominada asa de Meyert, se dirigen hacia la corteza cerebral occipital donde sinaptan alrededor de la cisura calcarina (20), en concreto al área 17 de Brodmann o corteza visual primaria (V1), también conocida como corteza estriada ya que contiene una estría horizontal muy visible, denominada línea de Gennari.

En general, podemos distinguir al menos tres vías principales entre la corteza visual primaria y la de asociación según la imagen que procesen: la del movimiento, la del color, y la de la forma. Más allá, todas las áreas visuales están conectadas con otras zonas asociativas del cerebro para integrar diversas funciones como lenguaje y memoria entre otras (23).

En el cuerpo calloso se decusan un gran número de fibras que permiten que ambos hemisferios reciban campos visuales.

Algunas fibras nerviosas se desprenden de los tractos ópticos antes de que éstos aborden al Ganglio Genuculado Lateral constituyendo la vía extrageniculada, para dirigirse a otras estructuras bien diencefálicas, como el Núcleo Pulvinar que a su vez proyecta al córtex visual secundario o a los núcleos supraópticos hipotalámicos, que regulan los ritmos circadianos, o bien a los núcleos pretectales para regular la acomodación de la luz, así como a los colículos superiores los cuales se encargan de los movimientos simultáneos de los ojos y la cabeza para seguir los objetos no sólo ante un estímulo visual sino también un auditivo (15).

1.1.3 Proceso de Maduración Visual.

El desarrollo del sistema visual, que incluye los componentes tanto oculares como neurales, es incompleto en el nacimiento, incluso en recién nacidos a término sanos.

El desarrollo estructural del ojo incluye la maduración de la región macular y la fovea de la retina y el crecimiento del globo ocular. La diferenciación de la fovea se inicia a las 6 semanas y continúa hasta los 8 meses de edad (24). La densidad de conos en la fovea, importante para una visión precisa, aumenta a más del doble desde la primera semana de vida hasta el adulto. La migración de conos desde la periferia de la retina hasta el área macular contribuye al aumento de la densidad.

El diámetro corneal medio en los lactantes nacidos a término es de 9.8 mm. Gran parte del crecimiento corneal ocurre durante el primer año de vida, el valor medio del adulto (11.7 mm) se alcanza hacia los 7 años de edad. El ojo neonatal mide aproximadamente 16 mm de largo. La mayor parte del aumento de la longitud axial ocurre durante los primeros 18 meses de vida, llegando a 20.3 mm de media. El resto de la elongación axial ocurre en la fase de crecimiento infantil (entre los 2 y 5 años) y la fase de crecimiento juvenil (entre los 5 y 13 años) (25) hasta llegar a medir aproximadamente 24 mm. Este crecimiento axial del ojo podría representar un cambio refractivo de más de 40 dioptrías, por lo que es necesario que venga compensado con los cambios corneales y del cristalino para mantener estable el estado refractivo del ojo (26). Desde los tres meses hasta los 14 años el cristalino adelgaza en su eje anteroposterior y se expande en el ecuador, aplanándose las curvaturas de éste y, por consiguiente, perdiendo potencia (26) . El proceso que

mantiene el balance entre los componentes de la refracción ocular durante el crecimiento está todavía estudiándose. Se piensa que es el propio defecto de refracción al nacer, de hipermetropía, el que desencadena el estímulo de crecimiento axial (27). Un posible mecanismo para relacionar el crecimiento de la longitud axial con la visión durante el proceso de emetropización en recién nacidos implica la estimulación del sistema dopaminérgico a través de la retina (28).

En cuanto a la maduración de los componentes del sistema nervioso central, el Ganglio Geniculado Lateral es inmaduro al nacimiento, se observa un rápido aumento de las superficies postsinápticas durante los primeros años de vida, que se ralentiza a los 2 años de edad. La sinaptogénesis en la corteza también es rápida tras el nacimiento, con una densidad sináptica máxima hacia los 8-9 meses, seguida de una pérdida de sinapsis, que se estabiliza aproximadamente a los 11 años de edad (29). Aunque la significación funcional precisa de la pérdida de sinapsis no está clara, se cree que está relacionada con la reducción de la plasticidad del sistema nervioso central (24).

La capacidad visual depende de la función normal de los componentes tanto oculares como neurológicos. El desarrollo de ésta capacidad es lento y progresivo. Esquemáticamente podemos distinguir en su evolución cuatro etapas.

En la etapa motora, del nacimiento hasta el mes de edad, existen movimientos oculares no coordinados, regidos básicamente por mecanismos propioceptivos vinculados con la posición de la cabeza y originados por el aparato vestibular. El reflejo foveal de fijación comienza a hacerse presente a partir de la tercera semana de vida (30).

En la etapa sensorial, del primer al sexto mes, empiezan a evidenciarse movimientos sinérgicos óculo-cefálicos que aseguran una adecuada fijación del estímulo luminoso. Aparece el reflejo foveal de seguimiento. Alrededor del segundo mes es posible provocar el reflejo de parpadeo.

En la etapa perceptual, del sexto mes hasta los cuatro años, la percepción se va haciendo consciente. Aparece la sinergia ojo-mano. Comienza a manifestarse la sincinesia de convergencia, acomodación y miosis. Aparecen además los reflejos de fusión y visión estereoscópica (30).

En la etapa de estabilización sensorial, de los 4 a los 8 años, todos los mecanismos de visión binocular están presentes pero son lábiles. La estabilización definitiva se alcanza alrededor de los 8 años.

Aunque cada etapa necesita del correcto desarrollo de la anterior, éstas suceden simultáneamente, de hecho, es conocido que a las tres semanas de vida ya existen columnas de dominancia ocular en la corteza calcarina.

Hoy día se sabe que, en general, existe plasticidad cerebral hasta el final de la vida (31). Pero lo cierto es que en el desarrollo y refinamiento de los estímulos visuales existe una edad en cada individuo, a partir de la cual cada hito del desarrollo que se establece y ya no puede ser modificado de manera significativa posteriormente.

1.2 DEFECTOS DE REFRACCIÓN

Para entender los defectos de refracción es necesario estudiar la refracción de la luz a través de cuerpos limitados por dos superficies, por ejemplo, de láminas gruesas de caras paralelas, de prismas y de diferentes clases de lentes.

1.2.1 Óptica Geométrica

La naturaleza de la luz ha sido un tema de debate durante siglos. Una escuela de pensamiento defendía la teoría ondulatoria, formulada inicialmente por Christian Huygens (1678) y desarrollada por Young y Maxwell. En oposición a esta corriente figuraban aquellos que abogaban por la teoría corpuscular, nacida con Newton (1666) y apoyada por Planck. Sin embargo, en definitiva, para explicar todos los fenómenos asociados a la luz hacen falta ambas teorías.

En la actualidad, la descripción de fenómenos ópticos queda dividida en tres áreas: la óptica física, la óptica geométrica y la óptica cuántica. La óptica física se encarga de aquellos fenómenos más fáciles de comprender según las propiedades ondulatorias de la luz. La óptica geométrica concibe la luz como integrada por rayos y se ocupa de las propiedades correspondientes a la formación de imágenes por las lentes y los espejos. La óptica cuántica se dedica a la interacción de la luz con la materia y considera a la luz dotada de características propias de una onda y de una partícula (fotón).

Existen, por tanto, varios puntos de vista para estudiar la luz. Nos centraremos, de momento, en la óptica geométrica.

La ley de la propagación en línea recta afirma que la luz sin cambiar de medio sigue un camino en línea recta llamado rayo. El rayo de luz es el concepto fundamental en la óptica geométrica. Aunque el concepto de rayo luminoso se sostiene hoy difícilmente, siendo sustituido por un conjunto de rayos que forman un haz, para las construcciones ópticas elementales, para explicarnos la conducta de la luz que llega a diferentes medios, como espejos, prismas o lentes, seguimos dibujando y hablando de rayos luminosos que siguen diferentes caminos.

Cuando un rayo de luz choca contra una superficie de contacto, lo habitual es que parte de esa luz se transmita a través de ésta, parte se refleje y parte se absorba o se convierta en calor por su acción. La cantidad de luz transmitida, reflejada y absorbida depende de diversos factores.

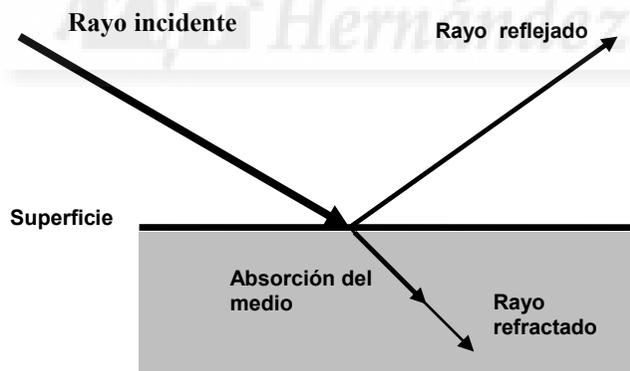


Figura 1.2.1-1 Esquema explicativo de los conceptos de reflexión, refracción, y absorción.

Los sistemas dióptricos son en los que idealmente sólo intervienen fenómenos refractivos, mientras que en los sistemas catóptricos sólo interviene la reflexión. Nos centraremos en sistemas dióptricos.

En la refracción, la dirección del rayo refractado guarda relación con la dirección del rayo incidente y el índice de refracción. En los distintos medios, la luz viaja a velocidades diferentes. Avanza con mayor rapidez en el vacío y de forma más lenta cuando recorre cualquier material. El índice de refracción de un medio óptico es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y su velocidad en ese medio. El índice de refracción depende en gran medida de la composición química de una sustancia, la temperatura y presión barométrica, y también varía con la longitud de onda de la luz.

De un modo práctico, el índice de refracción se calcula midiendo la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refracción del haz (antes y después de ingresar al nuevo material).

Un(a) lente es un medio u objeto transparente limitado por dos superficies que concentra (o converge) o hace divergir los rayos de luz. Según la forma de ambas superficies los rayos emergentes pueden conseguir una trayectoria convergente o divergente.

La lente, según su índice de refracción y su forma, tendrá más o menos poder de desviación (o refracción) del rayo de luz.

Se llama Dioptría al poder refringente (convergente o divergente) de cualquier sistema o aparato óptico con un metro de foco. Así, una lente de una dioptría de potencia positiva converge los rayos de luz a un metro de distancia. A la distancia entre el foco y el centro de la lente se le denomina distancia focal. La distancia focal de un sistema óptico es la inversa del número de dioptrías.

Tomando como ejemplo una lente esférica convergente, su poder dióptrico es medido según a la distancia a la que se forme el punto donde

converjan los rayos de luz del sistema recibidos desde el infinito paralelos al eje principal de la lente. Así tenemos un foco objeto, en el infinito por el cual pasan rayos paralelos, y un foco imagen (o simplemente foco), donde convergen los haces tras pasar por la lente (figura 1.2.1-2).

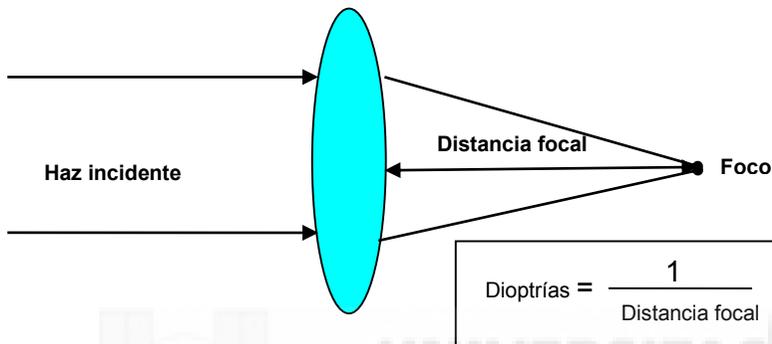


Figura 1.2.1-2. Lente convergente.

Con las lentes divergentes, no existe foco pero sin embargo la luz se separa como si procediese de un punto y se genera un foco virtual como si fuese su origen. Su potencia se expresa en dioptrías negativas (32).

Las lentes cilíndricas únicamente hacen converger la luz en un meridiano, por lo que producen una línea focal y no un punto, desviando los rayos de luz únicamente en un plano. Las lentes cilíndricas se miden igualmente en dioptrías pero añadiendo el eje del cilindro, que se separa 90° del eje de la línea focal.

Cabe destacar que en las lentes convergentes el resultado de los puntos focales de los diferentes rayos de luz provenientes de todas las direcciones del espacio es una imagen invertida (figura 1.2.1-3).

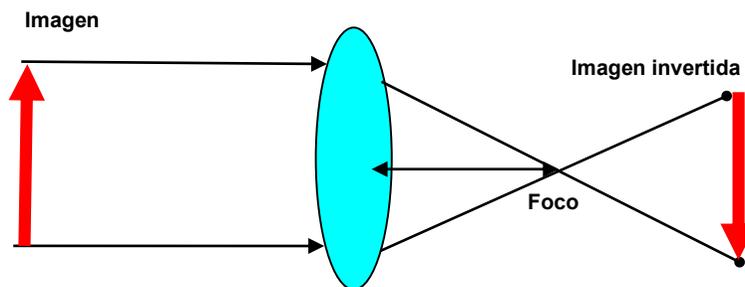


Figura 1.2.1-3. Inversión de la imagen a partir del foco

1.2.2 Miopía, Hipermetropía y Astigmatismo

Para crear una imagen sobre la retina el ojo necesita tener un poder dióptrico positivo que le permita hacer converger los rayos luminosos. Para ello no consta de una sola lente, sino de tres sistemas ópticos unidos.

En primer lugar está la córnea, una lente convexa en su cara anterior y cóncava en la posterior con un índice de refracción de 1.38. En total aporta unas 43 dioptrías positivas, debido a que en el paso de la luz desde el aire a la córnea (en su cara anterior) se produce mayor cambio de índice de refracción que de córnea a humor acuoso (en su cara posterior, que aporta potencia negativa ya que esa cara es cóncava), por lo que predomina la potencia positiva de la interfase aire-córnea. El humor acuoso tiene un índice de refracción de 1.33 y aporta cierto poder convergente.

El cristalino, con un índice de refracción de aproximadamente 1.40, aporta 18-20 dioptrías y tiene como característica la capacidad de modificar su poder de refracción mediante el cambio de su morfología debido a las contracciones musculares lisas del cuerpo ciliar. Así permite

el enfoque tanto de imágenes en el infinito como imágenes cercanas. Un niño es capaz de cambiar ese poder incluso en 16 dioptrías, mientras que un adulto joven tan solo en 3. En un sujeto emélope (sin defectos de refracción), a partir de los cuarenta años de edad se comienza a perder la nitidez en la visión cercana ya que el cristalino acomoda por debajo de las tres dioptrías necesarias para enfocar a 33 cm. Y a partir de los sesenta años el cristalino ya no tiene elasticidad alguna para poder acomodar, situación que se denomina presbicia.

El humor vítreo tiene un índice de refracción de 1.34, que al ser menor que el índice de refracción del cristalino, aporta poder convergente (33). Las primeras capas de la retina también aportan un pequeño poder óptico.

Como consecuencia de estos tres sistemas ópticos centrados, los rayos luminosos que llegan al ojo paralelos entre sí y también paralelos al eje anteroposterior del mismo, se desvían hacia el eje, primero en la córnea, después en el cristalino y por último en el vítreo.

La pupila, cuya función principal es regular la entrada de luz al interior del ojo, también puede cambiar la profundidad de foco del sistema de lentes. Cuando la pupila está muy dilatada cualquier cambio en la posición del punto focal respecto a la retina producirá una estimulación retiniana muy extensa para un único punto, por lo que la imagen será borrosa. Sin embargo, con una pupila miótica, estos cambios de la posición del punto focal modificará poco la imagen retiniana, ya que los rayos centrales siempre están enfocados.

Con el fin de poder realizar cálculos rápidos de óptica, se han simplificado los esquemas a un solo sistema óptico. A este esquema se

le ha llamado Ojo reducido (de Donders). Este Ojo reducido está formado por una sola sustancia cuyo índice de refracción, 1.33, es igual al del agua. El radio de curvatura de la córnea es de 5 mm y el centro óptico se encuentra a 5 mm de la superficie. La distancia focal anterior es de 15 mm y la posterior de 20 mm. (33) (figura 1.2.2-1).

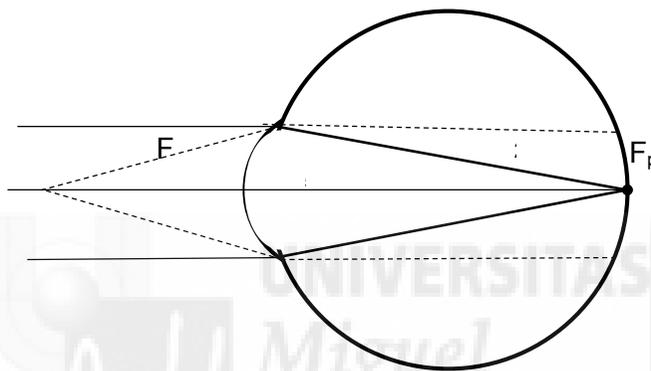


Figura 1.2.2-1. Ojo reducido de Donders.

La emetropía es el estado refractivo en el que unos rayos de luz paralelos procedentes de un objeto alejado quedan enfocados sobre la retina en el ojo sin necesidad de acomodar.

La ametropía, es decir, ausencia de emetropía, puede clasificarse como axial o refractiva según su presunta etiología.

En la ametropía axial, el globo ocular es desmesuradamente largo o corto. En la ametropía refractiva, la longitud del ojo es estadísticamente normal, pero su poder de refracción no.

Las ametropías también pueden dividirse según la naturaleza del desajuste entre el poder óptico y la longitud axial.

En la miopía, el ojo posee un poder óptico excesivo para su longitud axial. En el ojo miope, los rayos lumínicos procedentes de un objeto situado en el infinito convergen demasiado pronto y, por tanto, quedan enfocados delante de la retina, derivando en una imagen desenfocada sobre ella.

En la hipermetropía, patología que se desarrollará con más detalle en el apartado siguiente, el ojo carece de un poder óptico suficiente para su longitud axial. En el ojo hipermetrope un objeto situado en el infinito enfocará su luz detrás de la retina, lo que da lugar una vez más a una imagen desenfocada sobre ella (figura 1.2.2-2).

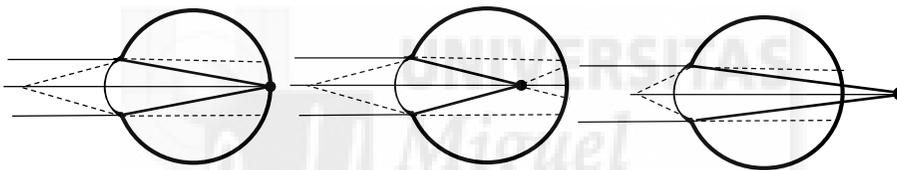


Figura 1.2.2-2 Emetropía, Miopía e Hipermetropía

En el ojo astigmático las variaciones de la curvatura de la córnea o del cristalino según los diversos meridianos impiden enfocar los rayos de luz en un solo punto. En estas condiciones no existe un solo punto focal sino un conjunto de dos líneas focales.

Cada ojo astigmático puede clasificarse según la orientación y la posición relativa que adopten estas dos líneas. Si una de ellas queda enfocada delante de la retina y la otra sobre ésta, el defecto recibe el nombre de astigmatismo miope simple. Si ambas líneas focales se hallan delante de la retina, se llama astigmatismo miope compuesto. Si una línea focal se enfoca detrás de la retina y la otra se encuentra enfocada sobre ésta, se denomina astigmatismo hipermetrópico simple. Si ambas

líneas focales quedan enfocadas detrás de la retina, se tratará de astigmatismo hipermetrópico compuesto. Si una línea se enfoca delante de la retina y la otra detrás, se clasifica como astigmatismo mixto.

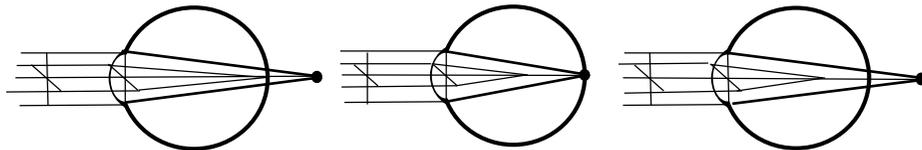


Figura 1.2.2-3 Astigmatismo hipermetrópico simple, Astigmatismo miópico simple, Astigmatismo mixto.

Este defecto óptico no se describe tan solo con el número de dioptrías del defecto, sino que habrá que añadir el ángulo en el cual se encuentra. El más frecuente es el astigmatismo con la regla, que se refiere a un astigmatismo en el eje horizontal, a 0° (hay que tener en cuenta que la manifestación óptica sucede a 90° del ángulo dado). Otros tipos son el astigmatismo contra la regla, a 90° , y los oblicuos.

1.2.3. Epidemiología de los errores de refracción

La interacción entre la potencia de la córnea y del cristalino, la profundidad de la cámara anterior y la longitud axial determina el estado refractivo de una persona. Estos cuatro elementos cambian con el crecimiento del ojo.

Como promedio, los recién nacidos tienen unas 3 dioptrías de hipermetropía. Durante los primeros meses, esta situación puede acentuarse un poco, pero después la hipermetropía disminuye hasta llegar a una media de 1 dioptría de hipermetropía a la edad de 1 año,

debido a las acusadas variaciones en la potencia de la córnea y del cristalino, lo mismo que al crecimiento axial. A finales del segundo año, el segmento anterior alcanza las proporciones del adulto; sin embargo, las curvaturas de las superficies de refracción siguen modificándose.

La longitud axial al nacer es de entre 15.5 mm y 18 mm y alcanza a los 14-15 años prácticamente el tamaño del adulto que oscila entre los 23 y 24,5 mm. Desde el nacimiento hasta la edad de los 6 años, la longitud axial del ojo crece unos 5 mm pero existe a su vez una pérdida compensadora de 4 dioptrías en la potencia de la córnea y de 2 dioptrías en la del cristalino (34) que mantiene la mayoría de los ojos próximos a la emetropía (26) (35). Parece que el ojo humano inmaduro evoluciona así para reducir los errores de refracción.

Los estudios de población demuestran una tendencia general al aumento de la hipermetropía hasta aproximadamente los 7 años de edad. Más adelante la tendencia se invierte hacia la miopía hasta la vida adulta (25).

1.2.4. Exploración de Agudeza Visual

La Agudeza Visual es la capacidad del sistema visual para reconocer o discriminar los detalles de un objeto en condiciones de alto contraste y buen nivel de iluminación.

Hay multitud de maneras de examinar el funcionamiento visual. Se puede evaluar el umbral visible mínimo, esto es, la luminosidad mínima necesaria para que pueda distinguirse un blanco de su fondo o determinar el umbral mínimo separable, es decir, el ángulo visual más pequeño con el que pueden con el distinguirse dos objetos diferentes. También se

puede estudiar el menor grado de desalineación detectable entre dos segmentos lineales, es decir, agudeza de Vernier. Y, por último, se puede examinar el funcionamiento visual determinando la capacidad de un paciente para identificar letras o formas cada vez más pequeñas, esto es, el umbral legible mínimo.

En la práctica clínica la agudeza visual se evalúa como el mínimo ángulo de resolución (MAR), esto es, el ángulo más pequeño que debe subtender entre dos puntos para que puedan ser percibidos como separados (figura 1.2.4-1)

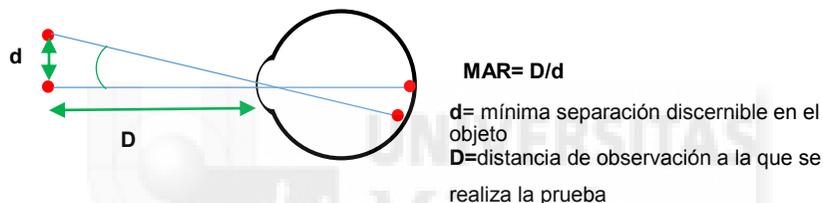


Figura 1.2.4-1 Mínimo ángulo de resolución.

La tabla de Snellen, optotipo utilizado, está diseñada para medir la agudeza visual en términos angulares (cada letra subtiende 5 minuto de arco y cada uno de sus trazos componentes subtiende 1 minuto de arco) (figura 1.2.4-2).

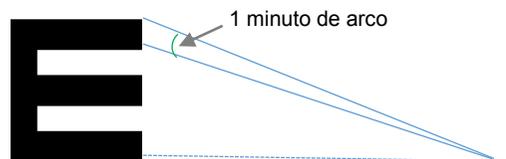


Figura 1.2.4-2. Letra utilizada en la tabla Snellen

Sin embargo, el resultado no emplea valores angulares sino un cociente en el que el numerador es la distancia de examen (en metros o en pies) y en el denominador está la distancia a la que la letra subtiende el ángulo visual estándar de 5 minutos. Por tanto, en la línea 20/20, (6/6 en metros, mínimo ángulo de resolución 1, o agudeza visual 1), las letras subtienden un ángulo de 5 minutos al observarlas desde 20 pies de distancia (36) (tabla 1). En este estudio se utilizará la notación decimal.

| Pies | Metros | Estándar de 4 metros | Mínimo ángulo de resolución (MAR) | LogMAR | Notación decimal |
|--------|--------|----------------------|-----------------------------------|--------|------------------|
| 20/20 | 6/6 | 4/4 | 1 | 0 | 1 |
| 20/30 | 6/9 | 4/6 | 1.5 | 0.2 | 0.7 |
| 20/40 | 6/12 | 4/8 | 2 | 0.3 | 0.5 |
| 20/60 | 6/18 | 4/12 | 3 | 0.5 | 0.3 |
| 20/100 | 6/30 | 4/20 | 5 | 0.7 | 0.2 |
| 20/200 | 6/60 | 4/40 | 10 | 1 | 0.1 |

Tabla 1. Equivalencias para los distintos métodos de notación de agudeza visual.

1.2.5. Cálculo y Tratamiento de las Ametropías

El cálculo de una ametropía se puede lograr de un modo subjetivo u objetivo.

Las técnicas de refracción subjetivas cuentan con la respuesta del paciente para obtener aquella corrección de la refracción que proporcione la mejor agudeza visual. Si todos los errores de refracción fueran esféricos puros la refracción subjetiva no plantearía ningún problema. Sin embargo, la determinación del defecto astigmático resulta

más compleja. Con este fin se utiliza la técnica del reloj astigmático o la del cilindro cruzado de Jackson.

En la técnica del reloj astigmático, se presenta al paciente una pantalla con una imagen parecida a los radios de una bicicleta. Para evitar la confusión generada por la acomodación se recurre al emborronamiento de la imagen mediante colocación de lentes positivas delante del ojo, con la visión emborronada, la acomodación lo único que puede hacer es desdibujar más las líneas y, por tanto, el paciente tiende a relajarla. Aquellos radios del reloj que sean paralelos a los meridianos principales del astigmatismo ocular aparecerán configurando una línea nítida que corresponde a las líneas focales. Se colocará entonces un cilindro negativo cuyo eje sea paralelo a la línea focal anterior (el cilindro negativo se coloca perpendicular al meridiano más oscuro). En este momento se quita positividad a la esfera hasta obtener la mejor agudeza visual.

El cilindro cruzado de Jackson (CCJ) consiste en una lente que tiene en uno de los meridianos principales una potencia negativa (0.25; 0.50; 1.00DP) e idéntica potencia pero positiva en el otro meridiano. El primer paso en la refracción mediante el cilindro cruzado consiste en adaptar la esfera para alcanzar la mejor agudeza visual sin acomodación. Se coloca entonces, arbitrariamente el cilindro cruzado a 90° y a 180°. Si se descubre que hay una posición de giro predilecta, el cilindro añadido tiene su eje paralelo al eje positivo o negativo correspondiente del cilindro cruzado hasta que las dos opciones de giro sean idénticas. Una vez hallada cualquier potencia del cilindro el eje se perfecciona colocando el cilindro cruzado con sus meridianos principales a 45° de los meridianos principales del cilindro corrector. Presente al paciente unas

posibilidades de giro alternativas y rote el eje del cilindro hacia el eje positivo o negativo correspondiente del cilindro cruzado. Se repite este procedimiento hasta que las opciones parezcan iguales.

La refracción objetiva se realiza mediante esquiascopia o mediante autorrefractómetro.

La Esquiascopia (figura 1.2.5-1) o retinoscopia es un método sencillo que permite explorar la refracción de una forma objetiva y con un grado de exactitud que, aunque está en relación directa con la experiencia del explorador, es siempre elevado. Se realiza utilizando una fuente luminosa suministrada por una bombilla especial que posee un filamento recto encargado de formar una franja al proyectarse. El foco luminoso debe colocarse al mismo nivel que el ojo explorado y algo por detrás del plano frontal del paciente, de forma que no ilumine directamente su ojo. La luz se proyectará sobre un espejo que sostiene el examinador. El espejo tiene un pequeño agujero central que permite al explorador una observación coaxial al haz luminoso. Puede ser plano o cóncavo, aunque está mucho más extendido el uso del espejo plano.

Actualmente, el foco luminoso y el espejo pueden ser sustituidos por un solo aparato llamado Retinoscopio, que reúne todas las cualidades del foco y el espejo conjuntamente. .

La franja proyectada, que forma una imagen borrosa del filamento sobre la retina del paciente, puede tomarse como si fuera una nueva fuente de luz que regresa hacia el ojo del examinador. Las características de este reflejo determinan el estado de refracción del paciente. Si el paciente es emétrope, los rayos lumínicos saldrán paralelos. Si es miope, saldrán convergentes hacia un punto remoto, entre el examinador y el paciente, y volverán a divergir hacia el examinador, por tanto el

examinador verá que el reflejo de la retina del paciente se desplazará en sentido opuesto al movimiento de barrido que realiza el examinador con el esquiascopio. Si el paciente es hipermetrope, los rayos lumínicos saldrán reflejados desde la retina del paciente de modo divergente, el punto remoto no se encontrará entonces entre el paciente y el examinador y éste verá el reflejo en la retina moverse en el mismo sentido que el barrido. El examinador irá colocando lentes convergentes o divergentes entre él y el paciente hasta que al realizar el barrido la luz no se mueva, situación que indica que se ha llegado a neutralizar la miopía o hipermetropía del paciente.



Figura 1.2.5-1. Esquiascopio (derecha).

El autorrefractómetro (figura 1.2.5-2) es un instrumento computarizado utilizado para medir la refracción del paciente de forma objetiva. Esta técnica se basa en el estudio de la reflexión de la luz sobre la retina del ojo motivo de estudio añadiendo convenientemente lentes entre éste y el observador. Hoy en día los auto-refractómetros alcanzan aceptables niveles de precisión, en poco tiempo, proporcionan al especialista una información bastante fiable sobre la óptica ocular de la persona examinada (37) . Sin embargo la experiencia ha demostrado que, en general, hay que perfeccionar subjetivamente los resultados objetivos

automáticos que emplean la luz infrarroja para obtener mejores resultados (36).



Figura 1.2.5-2. Autorrefractómetro

En condiciones ideales, el error de refracción se mide una vez relajada la acomodación, cuyo tono habitual cambia su magnitud de una persona a otra, dependiendo también de la edad. En niños se aconseja la parálisis de acomodación mediante cicloplejia (parálisis del músculo ciliar) completa (38). El músculo ciliar está inervado por el sistema nervioso parasimpático, en el que el neurotransmisor a nivel de las terminaciones neuromusculares es la acetilcolina. Por lo tanto, para su paralización deberán utilizarse drogas parasimpaticolíticas, que bloqueen los receptores colinérgicos de las fibras musculares del músculo ciliar. En la práctica oftalmológica actual, son cuatro las drogas ciclopléjicas utilizadas: Atropina, Homatropina, Ciclopentolato y Tropicamida.

La Atropina produce midriasis a la media hora de su instilación, que durará una semana. La cicloplejia, sin embargo, no se produce hasta las dos horas y desaparece a los dos o tres días.

La Homatropina se diferencia de la Atropina en que es de acción más rápida pero de efecto menos duradero. Sin embargo está demostrado

que en los niños generalmente no es capaz de producir una parálisis total de la acomodación.

El Ciclopentolato tiene las mismas acciones que la atropina pero actúa con mayor rapidez (desde media hora a una hora), y su efecto desaparece antes (24 horas).

La Tropicamida al igual que el Ciclopentolato, tiene acciones midriática y ciclopléjica similares a las de la atropina pero de mayor rapidez y menor duración. El efecto máximo se produce a los 20 minutos, y empieza a desaparecer a los 40 minutos. El efecto desaparece totalmente a las 6 horas.

Una vez conocido el defecto de refracción pasaremos a corregirlo. Lo más usual para corregir los defectos ópticos es la colocación de lentes correctoras entre el ojo y el objeto, como son las gafas y las lentes de contacto.

La miopía se corrige con lentes divergentes. La miopía es un defecto de refracción progresivo, que suele aumentar con la edad. Es preciso efectuar refracciones con frecuencia e introducir cambios periódicos de graduación. En general debería corregirse el error de refracción en su integridad aunque algunos oftalmólogos prefieren infracorrectarla siguiendo la teoría de que la acomodación prolongada acelera o potencia la aparición de miopía, pero esta teoría no ha sido demostrada y existen artículos que la descartan (39) (40).

Una hipermetropía leve es fisiológica en niños y no precisaría corrección si el pequeño esfuerzo acomodativo no provoca complicaciones tales como cefalea, estrabismo o ambliopía. Sin embargo es más frecuente que produzca estas complicaciones si es superior a 3

dioptrías. La hipermetropía se corrige con lentes esféricas positivas o convergentes.

El astigmatismo en la infancia se debe corregir en su totalidad, sobre todo en astigmatismos superiores a 1 dioptría. El astigmatismo se corrige con lentes cilíndricas, positivas o negativas. El cilindro negativo, utilizado con más frecuencia, se coloca con su eje perpendicular al eje que se desea corregir. Al nombrar la potencia de corrección del cilindro siempre tendremos que indicar a qué eje se coloca la lente.



Figura 1.2.5.-3. Lentes y montura de pruebas.

La corrección con gafas es el modo mejor tolerado y menos agresivo para el ojo (41). Prácticamente no existen límites para la cantidad de dioptrías capaces de corregir, más que lo que sea capaz de tolerar el paciente. Sin embargo, producen aberraciones ópticas, reflejos y limitación del campo visual nítido dependiendo de la montura utilizada. La corrección con lentes de contacto es una buena solución a estos problemas.

Otro sistema es el moldeado de la curvatura corneal mediante cirugía o la modificación del espesor estromal con láser. Existen multitud de técnicas diferentes, pero hoy día el más utilizado es el LASIK.

En otras ocasiones se colocan lentes en el interior del ojo, tanto en la cámara anterior como en la posterior.

Por último, la cirugía del cristalino transparente, que consiste en la sustitución del cristalino por una lente intraocular (como en la cirugía de cataratas), es otra opción disponible hoy día, en determinadas situaciones.



1.3. HIPERMETROPÍA

La hipermetropía es una ametropía en la que los rayos procedentes de un punto objeto distante (rayos paralelos de luz) se enfocan por detrás de la retina en ausencia de acomodación. En la retina se forman círculos de difusión que producen una imagen borrosa. La hipermetropía tiene un origen genético (42) aunque existen estudios que la relacionan con factores ambientales (43) (44).

La hipermetropía de entre +0'25 dioptrías y +0'75 dioptrías es el estado refractivo más frecuente en la población (35.6%) (2) (3) (4), por lo que se le denomina hipermetropía fisiológica. Dos tercios de las hipermetropías son menores de +3'00 dioptrías.

Existen diversos estudios sobre la prevalencia de hipermetropía en la infancia pero aparece una gran dificultad a la hora de hacer una comparación entre ellos. Esto es, en parte, debido a la metodología de cada estudio. No existe consenso en el punto de corte para diagnosticar a un niño de hipermetropía no fisiológica (45). La prevalencia de hipermetropía no fisiológica disminuye con la edad, siendo un 5 % a la edad de 7 años, 2-3% entre 9 y 14 años y alrededor de un 1% a los 15 años (45).

El 80% de los recién nacidos son hipermétropes entre +1'50 dioptrías y +2'75 dioptrías. A medida que progresa su desarrollo corporal, el eje anteroposterior del ojo se alarga y, a su vez, existen cambios en las características de la córnea y cristalino, de modo que, una vez pasada la adolescencia, un gran porcentaje de los ojos son emétopes. Esta emetropización, de hecho, se piensa que está

desencadenada por la propia hipermetropía del recién nacido, siendo la imagen desenfocada sobre la retina la que estimularía el aumento de la longitud axial del ojo (27).

Sin embargo existe una variabilidad substancial en la extensión de la emetropización en niños con hipermetropía. Se ha visto que la mayoría de pacientes hipermétropes que exceden de +5 dioptrías tienden a no emetropizar de forma efectiva (46).

Atendiendo a las diferentes condiciones estructurales del ojo, la hipermetropía puede ser axial o refractiva.

En la hipermetropía axial el eje anteroposterior del ojo es demasiado corto en relación a la potencia del sistema óptico. Este acortamiento no es muy grande y casi nunca supera los 2mm. Una dioptría de error refractivo equivale a 0'37mm de error en la formación de la imagen con respecto a la retina.

En la hipermetropía refractiva existe una menor potencia refractiva en relación a la longitud axial. Esto puede ser debido a que exista una menor curvatura de las superficies refractivas (radios de curvatura de la córnea o del cristalino demasiado grandes), en este caso sería hipermetropía de curvatura (el aumento de 1 mm en el radio de curvatura produce una hipermetropía de aproximadamente +6'00 dioptrías) o a que exista una alteración del índice de refracción de alguna estructura (generalmente disminuye el índice de refracción del cristalino y por tanto su potencia refractiva) en la hipermetropía de índice. Si la distancia entre el cristalino y la córnea aumenta, también se produce una hipermetropía de refracción conocida como hipermetropía de posición.

Por otro lado, la acomodación es un factor importante a tener en cuenta cuando hablamos de la hipermetropía. La acomodación es el mecanismo de ajuste que tiene el sistema óptico de nuestro ojo para enfocar imágenes en la retina de objetos a distintas distancias. El cristalino es capaz de cambiar su curvatura anterior y posterior y su grosor, gracias al músculo ciliar y la zónula, para así aumentar su poder refractivo y poder enfocar en la retina objetos cercanos. La potencia de acomodación también se mide en dioptrías.

En condiciones normales, de relajación, existe una acomodación tónica de + 1.5 dioptrías. Cuando el objeto se acerca, se pone en marcha la sincinesis de miosis, convergencia de los dos ojos y acomodación. Ésta última se consigue gracias a la contracción del músculo ciliar, que a su vez provoca una relajación de los filamentos que constituyen la zónula. La zónula mantiene al cristalino sujeto y además al estirar de él, lo mantiene a tensión, al relajarse los filamentos de la zónula el cristalino adquiere más curvatura tanto anterior como posterior y se engruesa en su eje anteroposterior (47). Esta variación puede aumentar su potencia en hasta 16 dioptrías.

En los ojos hipermétropes, la imagen puede seguir estando enfocada sobre la retina si este esfuerzo acomodativo se realiza tanto de lejos como de cerca, sobre todo en hipermetropías moderadas y bajas. Pero este esfuerzo puede provocar cefaleas e incluso estrabismo. Si se refracciona a un paciente hipermetrope sin relajar su acomodación, el resultado puede no coincidir con su defecto total. Por este motivo surgen los conceptos hipermetropía latente, manifiesta, facultativa y absoluta.

La hipermetropía latente es la que se compensa por el tono fisiológico del músculo ciliar. Sólo podremos conocerla con la parálisis de la acomodación.

La hipermetropía manifiesta es la que no puede ser compensada por el tono del músculo ciliar. Dentro de éste concepto podremos hablar de hipermetropía facultativa, es la hipermetropía que, a pesar de no ser compensada por el tono del músculo ciliar sí que puede llegar a compensarse realizando un esfuerzo acomodativo (48). La hipermetropía absoluta es la que no puede ser compensada tampoco realizando un esfuerzo de acomodación, sólo con lentes positivas.

Entre las asociaciones sistémicas de la hipermetropía destaca la cefalea, más acusada por las tardes o tras un esfuerzo acomodativo prolongado. Se ha llegado a relacionar la hipermetropía con hipertensión arterial esencial pero esta relación fue posteriormente desmentida por los mismos autores (49).

Podemos encontrar hipermetropía elevada en casos extremos de longitud axial corta como es el caso de microftalmos o nanoftalmos (50) (51) (52), asociándose en estos casos un diámetro corneal disminuido.

Clásicamente la hipermetropía se ha considerado un factor de riesgo para el desarrollo de glaucoma de ángulo cerrado (53), sin embargo nunca se ha podido demostrar dicha relación, siendo la profundidad de la cámara anterior y no el estado refractivo del paciente lo que está en relación con el riesgo para desarrollar glaucoma de ángulo cerrado (54).

También se ha asociado la hipermetropía a degeneración macular senil de temprana aparición (55).

Entre las asociaciones oculares de la hipermetropía más importantes podemos encontrar ambliopía. La hipermetropía es una de las causas más frecuentes de ambliopía (comúnmente llamada “ojo vago”) en niños. Actualmente podemos definir la ambliopía como una disminución de la agudeza visual sin causa orgánica aparente pero debida al mal desarrollo de la corteza cerebral visual durante la infancia, y que a partir de los 7 o 10 años de edad no mejora a pesar de la resolución de la causa que la produjo, generando una invalidez permanente.

La prevalencia de la ambliopía en la población de estima ente un 2 y un 4%, por ello es la principal causa de déficit de agudeza visual en niños y adultos jóvenes (56) (57). Una ambliopía puede producirse por una percepción borrosa, inadecuada para el buen desarrollo visual, como ocurre en el caso de hipermetropía elevada, o por una diferencia en la calidad de la visión de cada ojo; ya sea por una disparidad del tamaño de las imágenes (en el caso de diferencias refracción elevadas, anisometropía, entre los ojos) o por correspondencias anormales retinianas (no existe un campo visual único, cada ojo tiene el suyo, como en un estrabismo).

La hipermetropía también se asocia a estrabismo, tanto exotropía (58) como endotropía (5) siendo ésta última la desalineación ocular más frecuentemente asociada. De hecho la hipermetropía es la causa principal de la endotropía puramente acomodativa. Los niños con hipermetropía mayor de +3.5 dioptrías tienen un riesgo aumentado (20%) de presentar esotropía acomodativa. Se piensa que el esfuerzo acomodativo precipita la disalineación ocular en convergencia ya que el elevado esfuerzo acomodativo conlleva, por la sincinesia de acomodación, convergencia

y miosis, una convergencia de acomodación también elevada (índice de convergencia de acomodación por acomodación AC/A elevado).

La endotropía acomodativa con un índice AC/A elevado y alta hipermetropía tiene un pico de incidencia a los 2-3 años de edad (5). La prevalencia aumenta en relación con las dioptrías de hipermetropía: 12% para hipermetropías de entre +2 y +3 dioptrías ; 38% para aquellas entre + 3 y +4 dioptrías; 73% para hipermetropías de entre +4 y +5 dioptrías; y 60 % para aquellas de más de 5 dioptrías (59).

Debido a la importancia de las patologías asociadas a la hipermetropía y a la gran frecuencia de aparición de la hipermetropía en niños, es crucial un estudio más detallado de los ojos con este defecto de refracción.



1.4. BIOMETRÍA OCULAR

La ecografía ocular constituye una herramienta diagnóstica de valor incalculable en la oftalmología. Se utiliza tanto en la detección y estudio de lesiones intraoculares como en la medición de los distintos compartimentos y longitud axial del ojo.

La ecografía se basa en ondas sonoras, cuyo comportamiento es similar al de las ondas lumínicas (36).

El sonido surge cuando una partícula oscilante colisiona contra otra partícula vecina, provocando su oscilación a la misma frecuencia. La frecuencia del sonido se mide en Hercios. Los ultrasonidos poseen una frecuencia superior a 20 kHz (20.000 ciclos por segundo), lo que rebasa el intervalo audible.

En un ecógrafo los ultrasonidos nacen de la sonda ecográfica mediante la oscilación de un cristal piezoeléctrico, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Se propagan en un frente de ondas que avanza desde el cristal emisor pudiendo quedar atenuadas por la distancia desde el cabezal de la sonda, la absorción de los distintos medios y por superficies acústicas del medio que originan fenómenos de reflexión, refracción o dispersión del sonido. Así pues las ondas sonoras emitidas, tras ser parcialmente absorbidas por las distintas superficies o interfaces acústicas son reflejadas hacia la sonda como señales ultrasónicas, de forma que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Estas señales se procesan electrónicamente y son mostradas en una pantalla como ultrasonogramas. Cada interfase acústica refleja el sonido según unos patrones característicos. La córnea, el cristalino y la esclerótica son ejemplos de interfaces muy reflectantes. La intensidad de

la señal reflejada es mayor cuando el haz lleva un trayecto perpendicular a la superficie de reflexión (36).

En Medicina pueden utilizarse cuatro tipos de ecografía: la de imagen tipo A, la de tipo B, la modalidad time motion (TM) y el Doppler. Las más utilizadas en oftalmología son la de imagen modo A y B.

La Modalidad A o Ecografía Unidimensional emplea un único haz paralelo sin enfocar que se emite a partir de un cristal piezoeléctrico de 8 MHz. Se representa en la pantalla con una línea horizontal mediante picos cuya altura está en relación con la intensidad del eco reflejado. Mediante la ecografía unidimensional puede llevarse a cabo una determinación biométrica, midiendo el plazo de tiempo transcurrido en milisegundos antes de observar una señal concreta. A continuación, este valor puede convertirse en milímetros (36).

La Modalidad B o Ecografía Bidimensional utiliza un cristal enfocado situado en una sonda oscilante, el cristal piezoeléctrico pivota sobre un eje creando un plano de ultrasonidos. Se realiza una interpretación bidimensional de múltiples sondas unidimensionales (60). La ecografía bidimensional del globo ocular puede llevarse a cabo mediante técnicas de inmersión o de contacto.

En la práctica clínica la ecografía unidimensional se utiliza para medir los distintos compartimentos del ojo, la longitud axial o calcular la potencia de las lentes intraoculares mientras que la ecografía bidimensional se utiliza para definir la topografía general de una lesión intraocular u orbitaria, localización de cuerpos extraños, localización de un desprendimiento de retina en medios opacos etc.

1.5. TOMOGRAFIA DE COHERENCIA ÓPTICA

La Tomografía de coherencia óptica, cuyas siglas en inglés son OCT, es una técnica diagnóstica de enorme importancia en oftalmología. Hoy en día no solo es indispensable para el diagnóstico de algunas patologías sino también para la toma de decisiones terapéuticas (61). Esta técnica de reciente aparición (la primera OCT fue realizada en el año 1989) tiene la capacidad de obtener imágenes de la retina y nervio óptico, que, aun siendo virtuales, recrean la morfología tisular como si de un corte histológico se tratara y en tiempo real. Nos permite además hacer mediciones de gran fiabilidad (resolución de hasta 5 μm) y reproducibilidad (61).

Para entender su funcionamiento tendremos que centrarnos en la teoría electromagnética de la luz u óptica cuántica, que considera la luz dotada de características propias de una onda y de una partícula (fotón).

1.5.1 Óptica Cuántica

El modelo corpuscular de la luz propuesto por Plank en 1900 según el cual la luz está constituida por fotones y el modelo ondulatorio propuesto por Huygens en 1678 según el cual la luz consiste en la propagación del campo electromagnético, se pudieron integrar años más tarde gracias a De Broglie. En 1924 De Broglie, en su tesis doctoral propuso el concepto dualidad onda-corpúsculo.

Los fotones son las partículas “fundamentales” de la luz, así como los electrones son las partículas fundamentales de la materia, esta analogía es la que sirvió para realizar el descubrimiento del carácter cuántico de la luz. Por esta misma analogía, años después, De Broglie desarrolló la teoría, apoyada por Einstein más tarde, que formula que la materia también tiene un carácter ondulatorio.

Las características fundamentales de una onda son su longitud, su amplitud y su frecuencia. La longitud de onda está determinada por la distancia que separa las crestas. La amplitud es el valor máximo alcanzado por el campo eléctrico durante su propagación. La frecuencia es el número de crestas que atraviesa un punto fijo cada segundo (36) (62)(figura 1.5.1-1).

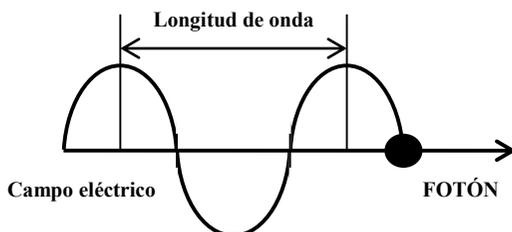


Figura 1.5.1-1. Campo eléctrico creado por un fotón al avanzar en el espacio.

La coherencia de la luz expresa la capacidad que dos ondas luminosas tiene para interferir entre sí en el tiempo y en el espacio. Cuando dos ondas de luz coherente coinciden totalmente “en fase” diremos que son totalmente coherentes y su superposición se traduce en una duplicación de la intensidad lumínica, sin embargo si son incoherentes se anulan entre ellas anulándose la una a la otra por lo que su suma produce menos intensidad lumínica que cada una por separado.

La luz visible por el ojo humano abarca un rango de longitudes de onda de entre 380 y 760 NM, las cuales determinan los colores. El color violeta corresponde para la percepción humana a las frecuencias más altas (menor longitud de onda), seguido por el azul, el verde, el amarillo y por último el rojo (figura 1.5.1-2).

La radiación electromagnética con una longitud de onda justo inferior a lo visible es la luz ultravioleta, y por debajo de ésta están los rayos X, gamma y cósmicos. Más allá del rojo, por encima de nuestro límite de percepción, están inmediatamente la luz infrarroja y más allá las frecuencias utilizadas para las comunicaciones (microondas, radar, radio, televisión...) (figura 1.5.1-2). La luz blanca es la que contiene todos los colores en similares proporciones. El término radiación óptica incluye tanto a la luz visible como a los rayos ultravioletas e infrarrojos.

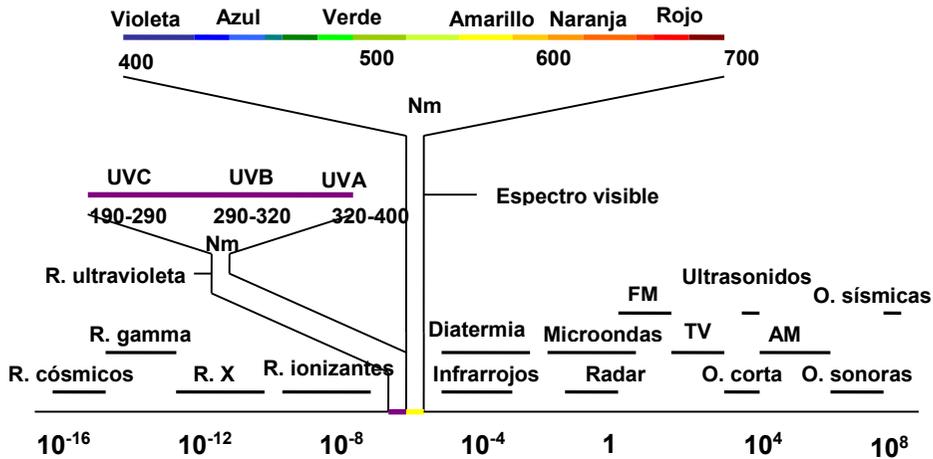


Figura 1.5.1-2. Tipos de rayos (R) y ondas (O) según la frecuencia (longitud de onda), que está expresada en metros (excepto en las ampliaciones, Nm: nanómetros).

En 1916 Albert Einstein estableció los fundamentos para el desarrollo de los láseres pero no fue hasta 1928 cuando Rudolf Landenburg obtuvo la primera evidencia del fenómeno de emisión estimulada de radiación. La teoría fue demostrada definitivamente tras la Segunda Guerra Mundial por Willis Eugene Lamb y R. C. Rutherford. Sobre esta base se asienta la tecnología LASER. Este término es el acrónimo del inglés cuyo significado es “Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación”.

La emisión estimulada de radiación se basa en unos átomos excitados por la aplicación de energía externa, por ejemplo eléctrica (láseres de gas y diodos) u otras fuentes de luz (láseres sólidos y líquidos). Esta energía externa produce una mayor proporción de átomos excitados que de átomos en estado basal. Estos átomos excitados emiten

otro fotón de idénticas características al primero, de modo que amplifica la energía que recibe.

Las emisiones láser poseen unas características únicas. Son capaces de generar haces de luz de gran potencia.

La luz que genera es casi colimada, es decir, los rayos casi son paralelos entre sí, apenas existiendo dispersión de los rayos y es coherente tanto espacial como temporalmente. La coherencia espacial se corresponde con la capacidad de un haz para permanecer con un pequeño tamaño al transmitirse por el vacío en largas distancias y la coherencia temporal se relaciona con la capacidad para concentrar la emisión en un rango espectral muy estrecho (luz monocromática).

Desde su invención no han cesado de aparecer aplicaciones de esta tecnología: medicina, industria pesada, almacenamiento de información etc., casi todas basadas en la elevación de la temperatura que provoca al ser parcialmente absorbido por las superficies en las que incide.

La primera aplicación clínica en oftalmología del láser fue con el láser de rubí en 1961 (63). Desde entonces el uso del láser en oftalmología está ampliamente extendido como método terapéutico según estos principios (64). Cabe destacar que produce alteración de los tejidos biológicos mediante fenómenos fotoquímicos.

Existen varios tipos de dispositivos generadores de luz láser, también llamados a sí mismos láser, según el material que genera la emisión estimulada. Existen láseres cuyo medio activo es un material en estado sólido, como el Nd: YAG (acrónimo de “Neodymium-doped yttrium aluminum garnet”) (65) que emite en el espectro infrarrojo (figura 1.5.1-3).



Figura 1.5.1-3. Láser Yag acoplado a una lámpara de hendidura.

Existen láseres de gases, unos que se basan en transiciones electrónicas, como el argón, también muy utilizado en oftalmología (figura 1.5.1-4) (66), y otros que se basan en transiciones vibracionales de los átomos, como el láser de CO₂ (67).



Figura 1.5.1-4. Láser argón de uso oftalmológico.

La diferencia entre los diferentes tipos de láser es la longitud de onda (o frecuencia), que le proporciona al haz unas características de

absorción, penetrancia, etc. Esto, junto a la potencia de la emisión es lo que confiere la utilidad a cada uno de ellos (figuras 1.5.1-5).

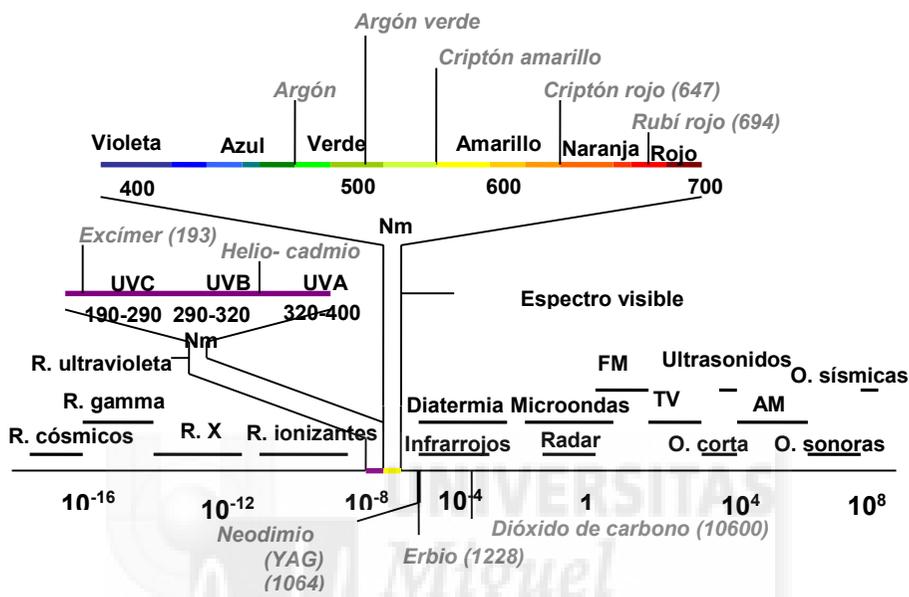


Figura 1.5.1-5. Tipos de láser según la longitud de onda (en nanómetros).

El funcionamiento de la OCT se basa en la medición de la latencia y la intensidad de la onda que se refleja tras hacer incidir una onda lumínica desde un dispositivo láser sobre un tejido determinado. El retraso de tiempo que existe entre la onda incidente y la reflejada no se puede medir directamente (como se hace con el sonido en un ecógrafo, por ejemplo) debido a la gran velocidad de las ondas lumínicas, por esta razón se utiliza un aparato denominado interferómetro de Michelson.

1.5.2 Interferómetro de Michelson

En 1889 Michelson y Morley desarrollaron el primer interferómetro. Lo utilizaron en un experimento intentando demostrar la inexistencia del éter. Descubrieron que la velocidad de la luz en el vacío es constante, independientemente de si procede de un objeto en reposo o en movimiento, así como de su longitud de onda.

El funcionamiento del interferómetro de Michelson se basa en la división de un haz coherente de luz en dos haces para que recorran caminos diferentes y luego converjan nuevamente en un punto. De esta forma se obtiene lo que se denomina la figura de interferencia que permitirá medir pequeñas variaciones en cada uno de los caminos seguidos por los haces. El haz se separa en dos partes mediante un prisma semiespejado. El primero es reflejado y se proyecta hasta el espejo móvil, del cual vuelve, atraviesa la superficie semiespejada y llega al detector. El segundo rayo atraviesa el divisor de haz, se refleja en el espejo de referencia luego es reflejado en el prisma semiespejado y llega al detector o pantalla.

El espacio entre el semiespejo y cada uno de los espejos se denomina brazo del interferómetro. Usualmente uno de estos brazos permanecerá inalterado durante un experimento, mientras que en el otro se colocarán las muestras a estudiar.

Hasta el observador llegan dos haces, que poseen una diferencia de fase dependiendo fundamentalmente de la diferencia de camino óptico entre ambos rayos. Esta diferencia de camino óptico puede depender de la posición de los espejos o de la colocación de diferentes materiales en

cada uno de los brazos del interferómetro. Esta diferencia de camino hará que ambas ondas puedan sumarse constructivamente o destructivamente, creando un patrón de franjas brillantes y oscuras, patrón de interferencia.

Si los espejos se encuentran a la misma distancia del prisma semiespejado, el camino recorrido por ambos rayos es el mismo, y por tanto llegarán en fase al detector y la interferencia en cualquier punto será máxima o mínima pero constante en el tiempo, lo que nos permite observar el patrón de interferencia. Moviendo el espejo móvil cambiaremos esta situación. Si la distancia entre los espejos y el prisma se varía en un cuarto de longitud de onda, los haces en pantalla estarán en oposición de fase (desfasados 180°). Esto es debido a que el haz que va del prisma al espejo móvil recorre esa distancia dos veces, por lo que la diferencia de camino recorrido por los dos haces es de media longitud de onda: en la pantalla las posiciones de los máximos y mínimos estarán intercambiadas. Si se varía ahora la distancia en media longitud de onda, de nuevo los haces estarán en fase en la pantalla. El modelo de interferencia volvería a ser ahora como inicialmente. Así para una distancia determinada y contando el número de veces que el patrón de interferencia vuelve a ser como inicialmente, se puede saber la longitud de onda de la luz utilizada. Para una longitud de onda conocida podemos calcular la distancia a la que se mueve el espejo.

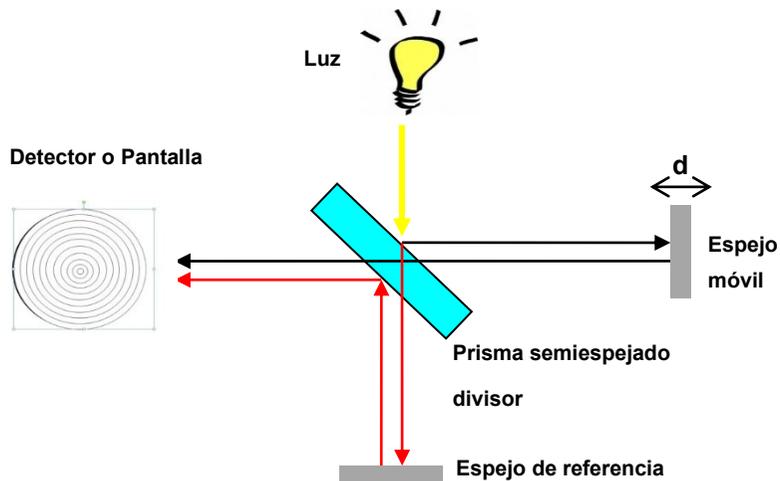


Figura 1.5.2-1. Esquema del Interferómetro de Michelson.

Bruning, en 1974, descubrió que, mediante la comparación del patrón de interferencia creado en cada punto del material con los patrones de referencia conocidos para cada distancia, sería posible el conocimiento rápido (con ayuda de computadoras) y muy preciso (10 amstrongs) de la forma de una superficie.

En la actualidad, un detector electrónico mide la fase de la luz incidente, al ser utilizada luz láser, y por lo tanto coherente, los patrones de interferencia son previamente conocidos utilizando la interferometría de detección de fase directa, y nos informa de la distancia recorrida por el haz.

Un campo de luz no puede interferir con una versión retardada de sí mismo si el tiempo de retraso es suficientemente grande. Para detectar interferencias la diferencia de longitud entre los dos caminos tiene que

ser menor a un determinado valor al que llamaremos longitud de coherencia.

La OCT está basada en la interferometría de baja coherencia. En la interferometría convencional, con la longitud de coherencia larga, la interferencia de la luz ocurre a una distancia de metros. En la OCT, esta interferencia es acortada a una distancia de micras, gracias al uso de fuentes de luz de banda ancha (fuentes que pueden emitir luz de una amplia gama de frecuencias). Los dispositivos actualmente usados proporcionan entre 3 y 7 micras, y los láseres de impulsos de femtosegundos optimizados para longitudes de coherencia cortas, 2 micrómetros. Los ultrasonidos de alta frecuencia ofrecen tan solo 100 micrómetros.

Por otro lado, cuando un haz de luz alcanza un medio turbio (como la retina) suceden tres fenómenos: el primero sería su absorción por los átomos del tejido, lo cual genera calor. El segundo, dispersión, por el que la luz cambia su dirección. A la parte de la luz dispersada que se dirige hacia la fuente de luz la llamamos luz reflejada cuya intensidad respecto a la de la luz enviada determina la reflectividad del material que la refleja. Por último, transmisión, por el que el haz continúa su trayecto inicial en la profundidad del medio en el que incide, si no se ha reflejado toda en la superficie o en las capas anteriores (68) (figura 1.4.2-5).

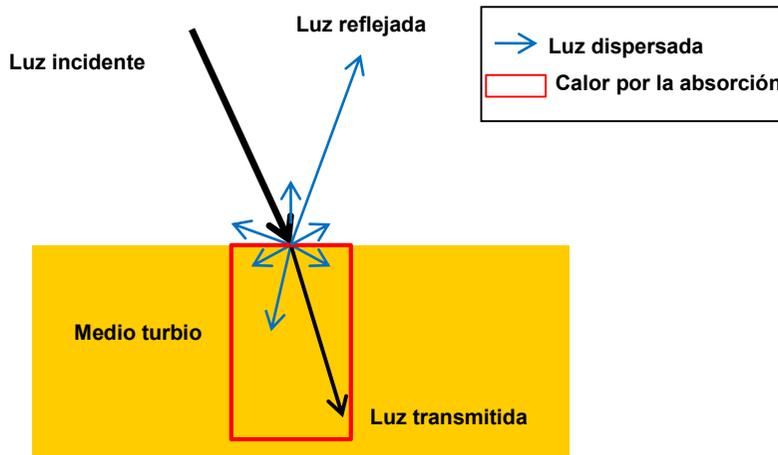


Figura 1.5.2-2. Comportamiento de la luz en un medio turbio

Lo que la OCT nos ofrece son imágenes del espesor del material a estudio, y esto sólo se puede hacer en objetos que no reflejen todo el haz en su superficie.

El patrón de interferencia producido por el haz láser procedente del tejido ocular, en nuestro caso, es diferente según el tiempo en el que lo observemos, ya que se está obteniendo el reflejo de las diferentes capas en profundidad a medida que avanza el tiempo. Las imágenes obtenidas dependerán de la reflectividad del tejido y vienen expresadas en una falsa escala de color donde el espectro blanco-rojo señala una alta reflectividad, mientras el azul-negro corresponde a una baja reflectividad (69) (70). Así obtenemos imágenes bi o tridimensionales del tejido hasta donde haya logrado penetrar el haz de luz.

1.5.3 Diferentes Tipos de OCT

La primera imagen retiniana se realizó en 1989 en el laboratorio de James G. Fujimoto, y David Huang. El montaje del primer prototipo oftálmico se realizó en el New England Eye Center, Tufts University Medicine School in Boston, Massachusetts, y las primeras imágenes in vivo capturadas fueron a partir de 1994. En ese mismo año, la tecnología fue patentada y transferida a Carl Zeiss Meditec, Inc. (Dublín, California).

El primer aparato comercializado en oftalmología irrumpió en el mercado en 1996, la OCT 1 (71). Este dispositivo fue mejorando hasta que en el año 2002 salió al mercado la OCT3 o Stratus OCT (72).

El Stratus OCT-3 (figura 1.5.3-1), con una cámara fundoscópica integrada, utiliza una fuente de luz láser de baja coherencia de 820 nm de longitud de onda (en el espectro infrarrojo, por lo que evita el discomfort visual) de 750 microwatios (73), generado por un diodo superluminiscente (LED superbrillante). Penetra unos dos milímetros en la retina y hace cortes transversales de varios milímetros. Está basado en la tecnología de dominio temporal (TD-OCT), en la que el espejo de referencia en el interferómetro se mueve para coincidir con el retraso que sufre la señal de la muestra en las diferentes capas de la retina (74). Como se conoce la distancia a la que se encuentra el espejo de referencia se puede determinar a la que está la estructura de la retina que ha generado un reflejo que coincide con el reflejo que proviene del espejo de referencia. Se realiza una gráfica con las diferentes distancias recibidas por el fenómeno de interferencia y se obtiene una imagen en sentido axial

(A-scan). El registro repetido de múltiples A-scan contiguos y su alineación apropiada permite construir una imagen bidimensional (70).

En el Stratus OCT, sin embargo, el espejo de referencia tiene que moverse un ciclo completo en cada barrido axial. La velocidad de obtención de las imágenes está limitada por la velocidad de oscilación del espejo del brazo de referencia (74).



Figura 1.5.3-1. Stratus OCT.

En 2006 se comercializó la primera OCT de alta velocidad y alta resolución llamada OCT de dominio espectral (SD-OCT), OCT de dominio Fourier o HSHR-OCT (*high speed-high resolution OCT*), todos estos nombres describiendo la misma tecnología.

La SD-OCT, adquiere toda la información de un único corte axial del tejido en profundidad, de forma simultánea. Esto lo consigue evaluando el espectro de frecuencias de la interferencia entre la luz reflejada y el espejo de referencia fijo. Este método permite tiempos de adquisición mucho más rápidos por lo que incrementa la cantidad de datos obtenidos de un determinado corte (72).

El patrón de interferencia es separado por un colimador según sus componentes de frecuencia. Estos componentes se detectan simultáneamente por un dispositivo de carga acoplada (charge-couple device o CCD). El CCD tiene un elenco de fotorreceptores, cada uno sensible a un rango de frecuencias específico. Cada frecuencia detectada corresponde a una determinada profundidad del tejido según la correlación de Fourier, permitiendo así que todos los puntos de un corte A-Scan se recojan simultáneamente. El conjunto de los A-scans se combinan para obtener un corte bidimensional o B-scan (72). La gran velocidad de adquisición de datos también permite sumar los B-scan y conseguir una imagen tridimensional (3D OCT).

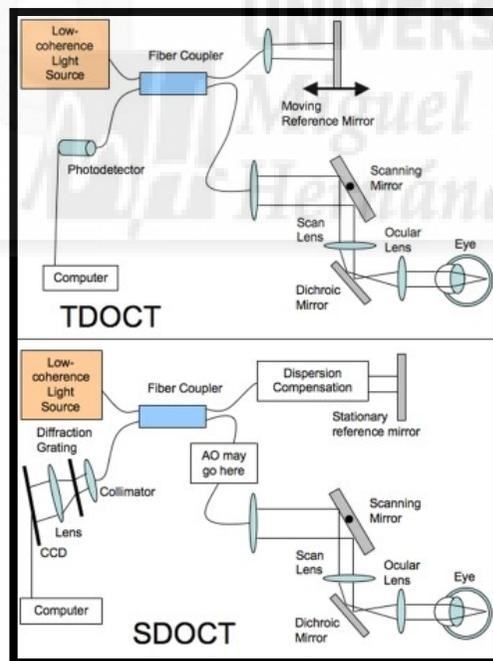


Figura 1.5.3-2 Esquema de TD-OCT y SD-OCT

El límite físico de la resolución axial de la OCT es la distancia de coherencia anteriormente explicada. Para que dos haces de luz coherente interfieran entre sí deben proceder de dos puntos situados a una distancia inferior a la mitad de la distancia de coherencia. La resolución axial del SD- OCT es de hasta 5μ mientras que en el Stratus OCT es de 10μ .

La resolución transversal, en cambio, depende de la anchura del haz incidente. Estará limitada por los medios opacos que atraviesa la luz. La resolución transversal del Stratus OCT es de $20\mu\text{m}$ y la del SD- OCT oscila entre $12\text{-}20\mu\text{m}$.

Existe también la posibilidad de artefacto por movimientos oculares o parpadeo. Con los SD-OCT este problema es menor por la gran velocidad de obtención de imágenes.

Actualmente podemos tener acceso a 3DOCT de diferentes casas comerciales siendo las más distribuidas la Cirrus™ HD-OCT de Zeiss , la 3DOCT 2000 de Topcon y Spectralis OCT de Heidelberg Engineering.

Existen otros tipos de OCT actualmente, como la tomografía de coherencia óptica sensible a la polarización (PS-OCT), que mejora el estudio de la capa de fibras nerviosas aprovechando sus propiedades birrefringentes junto con el retardo de la luz reflejada para calcular su grosor, ofreciendo, además, imágenes de alta resolución (75).

1.5.4 3D OCT 2000

La 3DOCT 2000 (Topcon) es una OCT de dominio espectral que utiliza una fuente de luz láser de baja coherencia de 840nm de longitud de onda generado por un diodo superluminiscente (figura 1.5.4-1). Tiene una resolución de menos de $6\mu\text{m}$ y una velocidad de escaneo de 50.000 A-scan por segundo lo que disminuye los artefactos por movimiento del paciente o parpadeo. Tiene además un dispositivo de seguimiento de movimientos oculares (auto-tracker) lo que disminuye aún más estos artefactos. Penetra 2.3mm en la retina y hace cortes transversales de varios milímetros (figura 1.5.4-2 y 1.5.4-3). Como su nombre indica es capaz de crear imágenes en tres dimensiones (figura 1.5.4-4) que, aunque no son reales, se correlacionan con gran exactitud con la anatomía del ojo (76). La visualización en 3D permite generar imágenes y vídeos 3D de los datos obtenidos.



Figura 1.5.4-1 Dispositivo 3D OCT2000

Lleva acoplada una cámara digital Nikon que es capaz de fotografiar el fondo del ojo a una distancia de 40.7 mm. Se trata de una cámara no midriática de

12.2 megapíxeles. El monitor incorpora una pantalla táctil lo que facilita el uso y toma de fotografías (figura 1.5.4-5).

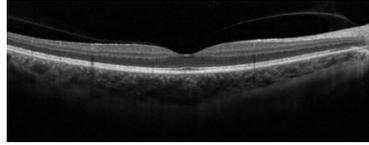


Figura 1.5.4-2 OCT macular en escala de grises.

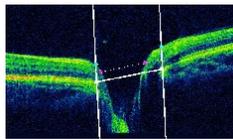


Figura 1.5.4-3 OCT nervio óptico

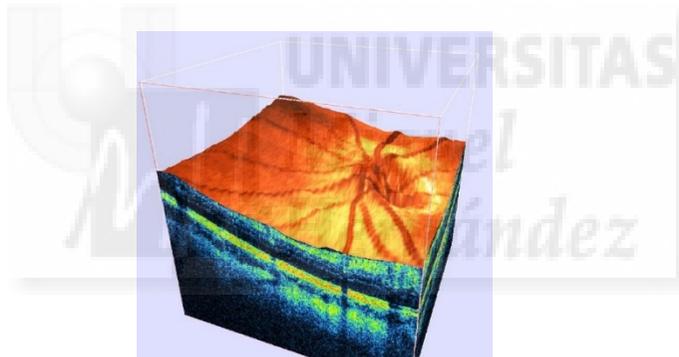


Figura 1.5.4-4 Imagen en tres dimensiones del nervio óptico y retina

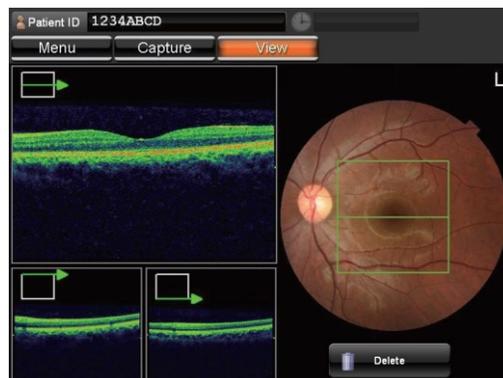


Figura 1.5.4-5 Pantalla táctil del dispositivo 3DOCT2000

Las imágenes obtenidas de OCT, como se ha explicado antes, son resultado de múltiples medidas de reflectividad de los puntos consecutivos en profundidad de un eje. La representación de las diferentes tipos de reflectividad se realiza mediante una escala cromática. Los tejidos que producen mayor reflexión son aquellos que se encuentran perpendiculares al haz de luz (como córnea, cristalino, capa de fibras nerviosas de la retina) o que están compuestas por células o uniones celulares heterogéneas (unión entre los segmentos internos y externos de fotorreceptores). Estos tejidos con alta reflectividad se representan en color rojo y blanco. Los tejidos compuestos por elementos que se sitúan paralelos al haz de luz reflejan menos la luz y se representan en color azul o negro (74).

Así, en una exploración normal, encontramos en la parte superior de una tomografía de la retina una zona de muy baja reflectividad, negra con algún ocasional moteado azul, que corresponde a la región más próxima al aparato y por lo tanto la más interna en el globo ocular, el vítreo (figura 1.5.4-6).

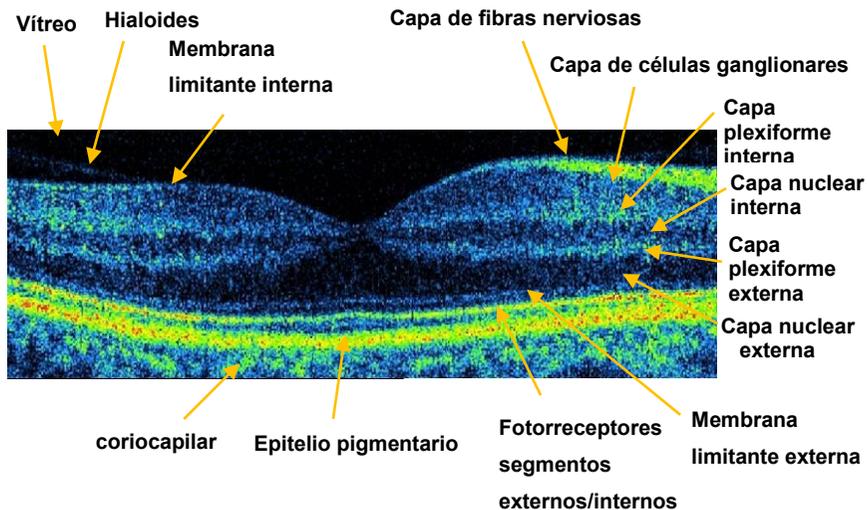


Figura 1.5.4-6. Retina normal. Bandas de reflectividad.

En la región parafoveal se puede apreciar una delgada línea azul en la parte superior de la retina que desaparece hacia la depresión foveal. Se trata probablemente de la Capa Hialoides. Tras ella se encuentra la Capa Limitante Interna.

La primera capa de alta reflectividad es la Capa de Fibras Nerviosas de la Retina (CFNR). Los vasos retinianos que circulan por esta capa generan una reflectividad máxima con bloqueo del haz de luz, dando lugar a una sombra posterior.

La siguiente capa, de reflectividad media es la Capa de Células Ganglionares seguida de la Capa Plexiforme Interna de reflectividad media-alta. En la 3D OCT 2000 se proporciona la medida del complejo de células ganglionares, constituido por la capa de fibras nerviosas de la retina, las células ganglionares y la plexiforme interna (74).

La Capa Nuclear Interna viene después, con reflectividad baja seguida de otra capa de reflectividad media que constituye la Capa Plexiforme Externa. Tras ella se encuentra una banda hiporreflectiva, en contacto con la depresión foveal, se trata de la capa Nuclear Externa. Se sigue de una estrecha línea de reflectividad media, la Membrana Limitante Externa (figura 1.5.4-6).

Tras la línea de la membrana limitante externa existe una línea de reflectividad elevada que corresponde a la unión entre los segmentos internos y los segmentos externos de los fotorreceptores. La línea de reflectividad alta que le sigue corresponde al Epitelio Pigmentario de la retina junto con la Membrana de Bruch. Tras esta línea los grandes vasos coroideos generan imágenes de baja reflectividad.

En algunos dispositivos de OCT se puede medir el grosor coroideo, el problema es que no hay un software especializado en la medida del grosor coroideo y éste debe calcularse manualmente (74) (77).

La distancia total entre la línea de la membrana limitante interna y la del epitelio pigmentario de la retina nos mide el grosor retiniano. El grosor macular se representa en un esquema por sectores, con un código cromático que representa la comparación de los distintos valores con respecto a los percentiles de distribución normal.

En cuanto a las imágenes de la cabeza del nervio óptico (figura 1.5.4-7) podemos distinguir la capa de fibras nerviosas de la retina, ésta tiene distinto grosor según el cuadrante en el que se halle. Así el sector Inferior es el más grueso, seguido del Superior, después el Nasal y por último el temporal. Se dice, pues, que sigue la regla ISNT (Inferior-Superior- Nasal- Temporal) cuando el grosor varía según dicho orden.

Los datos se comparan con una base de datos normativa en función de la edad y el tamaño de la papila. De nuevo, se utiliza un código cromático para representar dicha comparación.

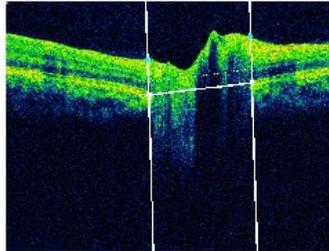


Figura 1.5.4-7 OCT de la cabeza del nervio óptico

La limitación que en la actualidad tienen los dispositivos de OCT es que no existen software con base de datos normativa para pacientes menores de 18 años. Se han realizado innumerables estudios (78; 79; 80; 81; 82; 83; 84; 85; 86; 87) para mediar la media de grosor retiniano macular por sectores y la capa de fibras nerviosas peripapilar en pacientes pediátricos pero estos datos aún no se encuentran incluidos en la base de datos de la OCT para una correcta comparación.

En los últimos años, se han desarrollado OCT para la exploración exclusiva del segmento anterior o diferentes adaptadores para los dispositivos que estudian el polo posterior (88). El 3DOCT 2000 dispone de dicho adaptador.

1.5.5 Instrumentos Análogos y Utilidad Clínica de la OCT

La capa de fibras nerviosas de la retina se puede estudiar mediante la fotografía de fondo de ojo. La fotografía de fondo de ojo fue introducida en 1920 y se ha utilizado de forma extensiva desde los años sesenta, primero como fotografía estándar basada en película de 35mm y luego como fotografía digital (89). La fotografía de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) puede ser considerada como una buena técnica para la evaluación inicial de dicha capa así como para el seguimiento de las patologías que dañan esta capa de fibras.

Resulta interesante destacar el hecho de que los colores con longitudes de onda larga como el rojo, penetran rápidamente en la CFNR, mientras que aquellos colores con longitud de onda corta (azul, verde) se reflejan mejor. De esto se deduce que la exploración de la capa de fibras con fotografía, si bien puede ser realizada bajo luz blanca, resulta más interesante en condiciones de luz aneritra (verde) (Figura 1.5.5-1). De esta manera los defectos de CFNR se observarán como áreas de brillo atenuado.



Figura 1.5.5-1. Fotografía con filtro aneritra del fondo de ojo normal

La desventaja de éste método de análisis de capa de fibras de la retina es el componente subjetivo del observador.

En la búsqueda de un método objetivo y reproducible para la valoración del fondo de ojo “in vivo”, se han desarrollado varios instrumentos diagnósticos de no contacto en las últimas dos décadas, basándose en la tecnología láser y en la interferometría.

En 1980 Webb et al, desarrollaron la oftalmoscopia con láser confocal. Esta técnica se utiliza predominantemente para la visualización y grabación digital de imágenes tridimensionales y en capas de la papila óptica y las fibras nerviosas de la retina (90).

Para ello, cada punto de la superficie de la retina es escaneado en diferentes planos de profundidad, mediante espejos oscilatorios, por un haz estrecho de luz láser (1mm) que se refleja y se mide. La tecnología óptica confocal permite adquirir la luz reflejada desde un plano deseado, eliminando la reflejada fuera de él. Ello se logra por la concentración del haz en un punto del plano de interés y filtrando la luz reflejada a través

de un orificio, que elimina la que no provenga de ese punto. Por medio de un disco giratorio agujereado se toma la imagen de múltiples puntos en un mismo plano. Si se cambia el enfoque o la posición de la rejilla o la muestra, se puede cambiar de plano.

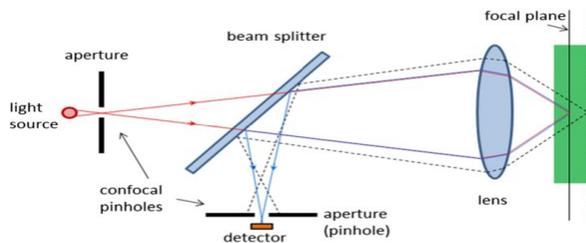


Figura 1.5.5-2 Principio de microscopía confocal.

El instrumento que utiliza esta tecnología es el HRT-II (acrónimo en inglés de Tomógrafo Retiniano de Heidelberg) (Figura 1.5.5-3). Éste utiliza un láser de diodo con una longitud de onda de 670 nm. y crea una imagen tridimensional (16 a 64 imágenes) de secciones ópticas consecutivas y equidistantes de hasta 2,5 mm de profundidad (91). Sin embargo tan solo ofrece 300 micrómetros de resolución (90).



Figura 1.5.5-3 HRT, aparato e imagen tridimensional de la retina reconstruida con HRT.

Por otro lado el Oftalmoscopio de Barrido con Láser (Scanning Laser Polarimeter o SLP) cuyo nombre comercial es Gdx Access™ mide la birrefringencia de la capa de fibras nerviosas de la retina in vivo y está basado en el principio por el que la luz polarizada sufre un cambio de fase medible, conocido como retraso, al pasar por un tejido birrefringente. Se utiliza un haz polarizado de un láser diodo GaAlAs de 780nm. En la capa de fibras nerviosas de la retina son las membranas celulares de los áxones, los microtúbulos, neurofilamentos y mitocondrias los que contribuyen a la birrefringencia (92). El retraso de la luz polarizada está linealmente relacionado con el grosor de la capa de fibras de la retina (93; 94). Los valores de birrefringencia retiniana tomados por el Gdx pueden correlacionarse con el grosor retiniano basándose en la conversión en la que 0.67nm de retraso equivalen a 1µm de fibra. El aparato es capaz de hacer la compensación de birrefringencias del ojo que no correspondan a la retina, como la birrefringencia en córnea, cristalino, epitelio pigmentario y esclera (95).



Figura 1.5.5-4. GDx.

Se utiliza para la evaluación y seguimiento objetivo de la capa de fibras nerviosas de la retina en pacientes con sospecha o diagnóstico de glaucoma, ya que las lesiones neuronales preceden en el tiempo a la clínica y a la alteración de los otros métodos de estudio como la valoración del campo visual.

El aparato estudia más de dieciséis mil puntos, y tras ser analizados, nos presenta los resultados en una escala cromática según el grosor medido, comparándolo con una base de datos de sujetos normales (figura 1.5.5-5). Las resoluciones que consigue esta útil herramienta son del orden de los 50 micrómetros.

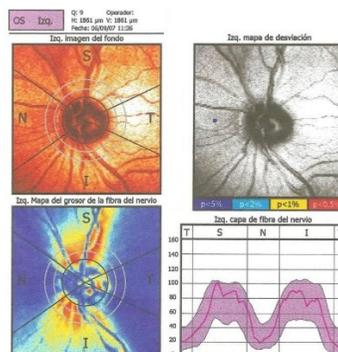


Figura 1.5.5-5. Análisis de la retina con GDx.

La OCT tiene multitud de aplicaciones oftalmológicas. Se utiliza para diagnóstico y seguimiento de patologías vítreo-maculares, como edemas maculares diabéticos, secundarios a enfermedades vasculares, uveítis, coriorretinitis serosas centrales, degeneración macular asociada a la edad, tumores, distrofias etc. También se utiliza la OCT en neurooftalmología para diagnóstico y seguimiento de neuritis ópticas, papiledemas y otras neuropatías. La OCT en la actualidad es una herramienta muy útil para diagnóstico y seguimiento del glaucoma.

1.5.6 Reproducibilidad y Repetitividad

Numerosos estudios han corroborado que la mediciones objetivas del espesor de CFNR y parámetros de disco óptico con OCT presentan una alta reproducibilidad y repetitividad, tanto en ojo normales como glaucomatosos (80) (96).

El análisis de la capa de fibras nerviosas en tomografía de coherencia óptica ha demostrado tener una buena correlación con estudios histológicos (97).

1.5.7. OCT en Pacientes Pediátricos

La base de datos de población que se encuentra en los dispositivos de OCT actualmente no incluye medidas en la población infantil. Por este motivo al realizar una OCT tanto de nervio óptico como de espesor retiniano macular, no nos podemos guiar por el código cromático sino que tendremos que comparar los distintos grosores medidos con las tablas de grosor publicadas en numerosos estudios (Tablas 2,3 y4) .

Como podemos observar los valores absolutos de los grosores maculares, espesores de la CFNR y medidas de las áreas papilares son diferentes según el estudio.

| Parámetro en μm | EEUU (98) ¹ | EEUU (99) | Australia (82) ² | Australia (84) ² | Líbano (100) ¹ | China (85) ² | España (79) ¹ | España (79) ¹ | España (79) ¹ |
|-----------------------------|------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Grosor macular medio | | | | | 280 | 250.6 | 281.5 | 284.1 | 285.4 |
| Mínimo foveal | | 189 | 161.1 | 161.6 | | 140 | | | |
| Macula central | 271.2 | | 193.6 | 197.4 | 249 | 178.5 | 246.3 | 255.5 | 260.5 |
| Grosor medio anillo interno | | | 264.3 | 271.9 | | 261.6 | | | |
| Temporal interno | 331.8 | 261 | 256.2 | 263 | 309 | 257.1 | 307.9 | 311.9 | 313.3 |
| Superior interno | 346.6 | 274 | 269.7 | 275.8 | 321 | 267.7 | 311.6 | 319 | 322.8 |
| Nasal interno | 334.9 | 270 | 264.8 | 275 | 321 | 260.4 | 320 | 325.9 | 329 |
| Inferior interno | 333.4 | 270 | 266.7 | 274.1 | 318 | 261.1 | 313.9 | 321.1 | 322.7 |
| Grosor medio anillo externo | | | 236.9 | 239.5 | | 239.6 | | | |
| Temporal externo | | 224 | 223.1 | 225.9 | 263 | 223.3 | 269.3 | 267.7 | 266.6 |
| Superior externo | | 241 | 239.5 | 242.3 | 282 | 241.7 | 295.7 | 290.3 | 289.2 |
| Nasal externo | | 259 | 254.1 | 258.4 | 298 | 259.2 | 302 | 302 | 304.8 |
| Inferior externo | | 236 | 230.9 | 231.5 | 270 | 234.2 | 281.0 | 278.1 | 274.6 |

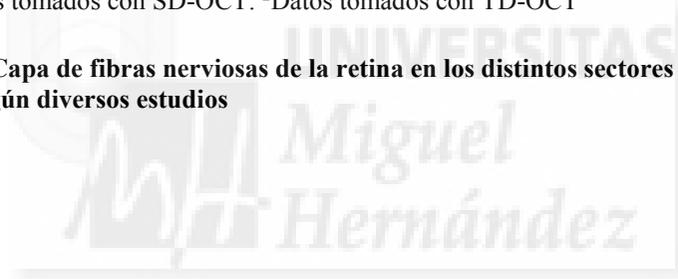
¹Datos tomados con SD-OCT. ²Datos tomados con TD-OCT

Tabla 2. Grosor de los distintos sectores de la mácula según diversos estudios.

| CFNR (µm) | EEUU (98) ¹ | EEUU (99) ² | Australia (84) ² | India (101) ² | Francia (102) ² | China (85) ² | Korea (78) ¹ | Libano (100) ¹ | España (79) ¹ 4-7 años | España (79) ¹ 8-13 años | España (79) ¹ 14-17 años |
|--------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Grosor medio | 107.6 | 108 | 103.6 | 160.11 | 104.3 | 112.36 | D:106.79 I:104.28 | 96 | 99 | 97.2 | 95.7 |
| Temp | 76.5 | 78 | 74.6 | 70.72 | 73.79 | 83.82 | D: 85 I:90.47 | 66 | 69.2 | 66.5 | 67.1 |
| Sup | 130.65 | 143 | 129.7 | 133.44 | 130.72 | 148.73 | D:132.73 I:132.75 | 121 | 126.9 | 125 | 120.6 |
| Nasal | 84.5 | 83 | 82.0 | 84.27 | 79.01 | 74.84 | D: 75.62 I: 63.65 | 70 | 69.8 | 69.1 | 71.4 |
| Inf | 136.2 | 129 | 128 | 134.1 | 132 | 142.08 | D:133.34 I:132.75 | 125 | 131.2 | 128.2 | 122.8 |

¹ Datos tomados con SD-OCT. ²Datos tomados con TD-OCT

Tabla 3. Capa de fibras nerviosas de la retina en los distintos sectores del nervio óptico según diversos estudios



| parámetros | 12 años Australia (84) | 6 años Australia (82) | 3-17 años EEUU (99) |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| Diámetro horizontal papila | 1.61(1.05-2.53) | 1.53(0.62-2.63) | |
| Diámetro vertical papila | 1.88 (0.85-3.00) | 1.79(0.61-2.72) | |
| Diámetro horizontal excavación | 0.70 (0.03-1.86) | 0.70(0.03-1.74) | |
| Diámetro vertical excavación | 0.73(0.01-1.70) | 0.73(0.06-1.71) | |
| Área papila mm ³ | 2.34 (1.18-4.67) | 0.48(0.007-2.22) | 2.42 |
| Área excavación mm ³ | 0.46(0.003-2.30) | 0.48(0.007-2.22) | 0.47 |
| Excavación/papila mm ³ | 0.21(0.009-0.84) | 0.22(0.002-0.72) | 0.20 |

Tabla 4. Parámetros de la cabeza del nervio óptico en niños normales según diversos estudios (todos medidos con Stratus_OCT).

Con respecto a la los defectos de refracción, existen numerosos estudios que afirman la existencia de una relación lineal del equivalente esférico con el grosor macular (excepto con el mínimo foveal) (99) (98) (85) y la capa de fibras nerviosas de la retina (excepto en los cuadrantes temporales) (82) (103) (104; 105) (106; 101; 100), siendo los ojos hipermétropes los que mayor grosor retiniano ostentan. Sin embargo la mayoría de los artículos señalan que, en realidad, es la longitud axial (estando ésta inversamente relacionada con el equivalente esférico) la que tiene una correlación marcadamente negativa con el grosor de la capa de fibras de la retina peripapilar y el grosor macular del anillo externo y grosor macular medio, existiendo un adelgazamiento retiniano en pacientes con longitud axial mayor.

2. JUSTIFICACIÓN, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



2.1. JUSTIFICACIÓN

La hipermetropía es el defecto refractivo más frecuente en la población infantil (3) ya que constituye una etapa normal en el desarrollo. La hipermetropía entre +0'25 dioptrías y +0'75 dioptrías se considera fisiológica.

Sin embargo, incluso hipermetropías leves o moderadas pueden asociar alteraciones sistémicas, como la cefalea, y oculares.

Entre las asociaciones oculares más importantes de la hipermetropía podemos encontrar la ambliopía. Esta patología, si no es diagnosticada y tratada a tiempo puede generar una invalidez permanente. De hecho es la principal causa de déficit de agudeza visual en niños y adultos jóvenes (56) (57).

Así como la miopía de menos de cuatro dioptrías no suele generar ambliopía, la hipermetropía y el astigmatismo son capaces de ambliopizar incluso con menos de tres dioptrías, sobre todo en casos de anisometropía (diferencia de más de una dioptría del estado de refracción entre los ojos).

La hipermetropía también se asocia a estrabismo. De hecho la hipermetropía es la causa principal de la endotropía acomodativa. Los niños con hipermetropía mayor de +3.5 dioptrías tienen un riesgo aumentado (20%) de presentar esotropía acomodativa.

Debido a la gran frecuencia de aparición de la hipermetropía en niños y a la importancia de las patologías asociadas a ésta, es crucial un estudio más detallado de este defecto de refracción.

Por otro lado la tomografía de coherencia óptica ha supuesto un avance en el campo de la oftalmología ya que con este instrumento podemos obtener de forma no invasiva imágenes in-vivo de las estructuras oculares, pudiendo realizar mediciones de gran precisión y reproductibilidad. La OCT es actualmente casi indispensable para el correcto diagnóstico, seguimiento y tratamiento de muchas patologías retinianas y neurooftalmológicas.

Al ser un instrumento que nos permite obtener mediciones de la retina y nervio óptico de forma rápida y no invasiva, no requiriendo en muchas ocasiones midriasis farmacológica, es ideal para su uso en niños. La limitación que tiene este uso es la falta de datos poblacionales infantiles en el software incluido. Existen numerosas publicaciones que tratan de aportar la base de datos de grosores retinianos y de la CFNR infantiles. Sin embargo muchos de estos estudios se han realizado con dispositivos de OCT de dominio temporal y los resultados no son equiparables a los datos tomados con OCT de dominio espectral (última generación). Además los estudios realizados con OCT de dominio espectral también difieren unos de otros.

Es necesario, pues, realizar un estudio del grosor retiniano macular, de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) y características del nervio óptico con el dispositivo del que disponemos, 3D OCT 2000 tanto en niños emétopes sanos como en el grupo de

pacientes pediátrico que nos interesa estudiar para así poder determinar si existe alguna característica especial esperable en estos ojos.

En estudios previos con SD-OCT se ha visto que la longitud axial del ojo es un factor a tener en cuenta en la medición de la retina ya que se correlaciona de forma negativa con los grosores maculares y de la CFNR. La longitud axial en niños es menor que en adultos, además si se trata de niños con hipermetropía axial es esperable que la longitud axial sea aún menor.

El presente trabajo pretende estudiar los grosores maculares y de la capa de fibras nerviosas peripapilares además de analizar las características del nervio óptico en niños hipermétropes.

2.2. HIPÓTESIS

Existe diferencia, estadísticamente significativa, en el grosor de los distintos sectores maculares, el grosor de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y las características de la cabeza del nervio óptico medidos mediante tomografía de coherencia óptica de dominio espectral entre los ojos de niños emétopes y los de los niños con hipermetropía.

2.3. OBJETIVOS

El objetivo del presente estudio es evaluar los hallazgos en la OCT en pacientes pediátricos hipermétropes, estudiando el disco óptico, la capa de fibras nerviosas peripapilares y el espesor macular en sus distintos sectores con 3D OCT 2000 de dominio espectral.

Se realizará, entonces, la comparación de los datos obtenidos para los distintos grosores de la retina y características de la cabeza del nervio óptico con pacientes pediátricos emétropes, sin patología ocular conocida.

Para ello se define hipermetropía como equivalente esférico mayor o igual a +2.50 dioptrías y emetropía como equivalente esférico mayor de -1.00 y menor de +2.50 dioptrías.

Por lo tanto los objetivos concretos del presente trabajo son los siguientes:

1. Medir mediante tomografía de coherencia óptica de dominio espectral 3DOCT2000 el espesor retiniano de todos los sectores maculares de niños hipermétropes.
2. Medir mediante 3DOCT2000 la capa de fibras nerviosas retiniana (CFNR) peripapilar y evaluar las características de la cabeza del nervio óptico de niños hipermétropes.

3. Comparar los datos obtenidos para los distintos grosores de la retina y características de la cabeza del nervio óptico con pacientes pediátricos emétopes.

4. Comparar los resultados obtenidos en ambos grupos según su longitud axial, grado de hipermetropía y edad.

5. Comparar el grosor macular, capa de fibras nerviosas peripapilares y características de la cabeza del nervio óptico de niños sanos emétopes medidos con OCT de dominio espectral 3DOCT2000 con los datos normativos publicados.





3. PACIENTES Y MÉTODOS

Se trata de un estudio prospectivo observacional sobre pacientes pediátricos con hipermetropía controlados en el Servicio de Oftalmología del Hospital Universitario de San Juan de Alicante.

3.1. METÓDICA

Para la realización de este estudio se reclutaron 217 ojos de pacientes pediátricos que acudieron a nuestras consultas en el Hospital de San Juan de Alicante como primeras visitas para la realización de un examen ocular, remitidos por su pediatra.

En nuestra Consulta de Oftalmología, en el Centro de Especialidades se les realizó una anamnesis para descartar la posible existencia de enfermedades generales, antecedentes oftalmológicos, antecedentes familiares de patología ocular y existencia de alergias o reacciones adversas a medicamentos.

A continuación se midió la agudeza visual. Con este fin se utilizó el optotipo MAV-L con letras Snellen en todos los casos (figura 3.1-1).



Figura 3.1-1. Optotipo MAV-L con letras Snellen

Se les realizó entonces una refracción aproximada con autorefractómetro (figura 3.1-2).



Figura 3.1-2. Autorefractómetro.

Tras ello, se instilaron 2 gotas de colirio ciclopléjico (figura 3.1-3) tres veces espaciadas de diez minutos. Transcurridos diez minutos desde la última instilación del ciclopléjico se procedió a la refracción más exacta con autorefractómetro y esquiасopia (siempre por el mismo explorador).



Figura 3.1-3. Colirio ciclopléjico utilizado.

Se realizó una exploración biomicroscópica del polo anterior del ojo, descartando anomalías corneales, cataratas, infecciones, uveítis... Además se exploró la retina visualizando el fondo de ojo por fundoscopia indirecta y se evaluaron los movimientos oculares externos (con y sin dilatación), el alineamiento ocular (cover test) y la convergencia.

Tras ello, se instilaron dos gotas de anestésico doble (tetracaína 0.1% y oxibuprocaina 0.4%) (figura 3.1-4) y se realizó la medición de la longitud axial con el biómetro de contacto Ocuscan, de Laboratorios Alcon. Se realizaron 10 mediciones para registrar la media de todas ellas (figura 3.1-5).



Figura 3.1-4 Anestésico doble



Figura 3.1-5 Biómetro Ocuscan. Laboratorios Alcon.

Una vez realizadas todas las pruebas y tras el consentimiento informado de los padres (Anexo 1 y 2), se citó al paciente para la exploración con 3DOCT2000; aparato sito en las Consultas Externas del Hospital De San Juan (figura 3.3-1). Esta prueba se llevó a cabo con objeto del presente estudio y como método complementario para la

evaluación del fondo de ojo. Siempre se realizó por el mismo investigador. No precisa midriasis farmacológica por lo que es una prueba inocua, sin efectos secundarios.

La información recogida, en consonancia con los requerimientos legales, se archivó de forma segura.

3.2. TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA (OCT)

3.2.1 Unidad de exploración

Para la realización del presente estudio se ha utilizado la Tomografía de coherencia óptica 3DOCT2000 (Topcon).

El sistema consiste en una unidad de exploración cuya mesa es capaz de subir o bajar de forma automatizada para un mayor confort del paciente. En un compartimiento inferior se encuentra una unidad de procesamiento central con un microprocesador Intel ® Core™ 2 quad CPU de 3.00 GHz, 3.50 GB de RAM y que soporta el sistema operativo Windows XP Profesional para la ejecución de sus funciones. Existe un compartimiento lateral reservado a una impresora y otro inferior extraíble para el teclado.

Sobre la superficie de la mesa encontramos una pantalla LCD y un teclado que el explorador utiliza para acceder a la base de datos de los pacientes (figura 3.2.1-1).

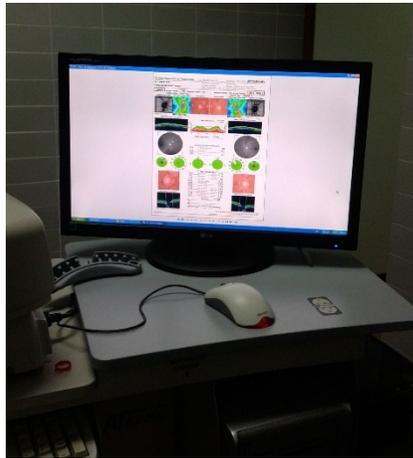


Figura 3.2.1-1 Pantalla LCD

Por último, a la izquierda del explorador se encuentra el instrumento adquirente de imágenes, el cuerpo de la OCT. El cuerpo de la OCT (figura 3.2.1-2) presenta una unidad principal en la que en la parte superior se acopla una cámara digital, en este caso Nikon D7100. En la parte central se encuentra una pantalla táctil gracias a la cual el examinador puede elegir fácilmente el protocolo de adquisición de imágenes, cambiar la forma de la diana de fijación interna, cambiar la iluminación al tomar la foto según el tamaño de la pupila, elegir la profundidad de escaneo (modo vítreo/ coroides), ver a tiempo real el fondo de ojo del paciente para una mejor captura de la imagen, supervisar la correcta adquisición de dicha imagen y borrar las imágenes no deseadas.



Figura 3.2.1-2 Cuerpo OCT, cámara digital acoplada y pantalla táctil.

En la parte inferior del cuerpo de la OCT nos encontramos con un pequeño panel de control (figura 3.2.1-3) donde se encuentran los mandos que controlan la mentonera del paciente, la luz de encendido, los mandos que controlan el movimiento de la diana de fijación interna, una manecilla de freno de la base y la palanca de mando con un pulsador en su parte superior que dispara la cámara de fotos.



Figura 3.2.1-3 Detalle de los mandos en la base de la OCT.

En la parte posterior, el lado en el que se coloca el paciente, se encuentra la apertura del objetivo de la lente de la cámara y la mentonera para el paciente (figura 3.2.1-4) con un fijador visual externo.



Figura 3.2.1-4 Unidad principal y unidad de mentonera para el paciente.

3.2.2. Protocolos de escaneo

Los protocolos de escaneo son presentados en la pantalla táctil de la unidad de OCT (figura 3.2.2-1). Para analizar la mácula podemos utilizar el protocolo modo lineal, radial, cross o 3D.



Figura 3.2.2-1 Protocolos escaneo

Para analizar la cabeza del nervio óptico tenemos 3D disco (6x6) y circle scan.

Para la realización de este estudio se ha utilizado el protocolo 3D macular, donde se analiza un cubo de 6x6 mm, 128 líneas de escáner horizontal con 512 escaners tipo A.

También se ha analizado la cabeza del disco óptico con el protocolo de glaucoma 3Ddisco.

Tras el análisis los resultados son presentados en una hoja resumen o “report” que incluye los dos ojos de cada paciente.

3.2.3. Análisis y Presentación de datos

El análisis “3D macular report” presenta espesores medios de diferentes áreas maculares basadas en la rejilla utilizada en Estudio de Tratamiento Precoz de Retinopatía Diabética (ETDRS, acrónimo de Early Treatment Diabetic Retinopathy Study). Esta rejilla consta de nueve áreas divididas por tres anillos concéntricos, en el anillo central se muestra el grosor foveal, el segundo anillo representa el grosor de los 3mm centrales de la mácula y se subdivide a su vez en cuatro áreas, una superior, inferior, temporal y nasal. El tercer anillo, el más periférico, representa el área de entre tres y seis milímetros de la mácula y a su vez también se divide en área superior externa, inferior externa, temporal externa y nasal externa (figura 3.2.3-1). Se representa en una escala cromática según los percentiles en la población normal. Pero no debemos guiarnos por dicha escala ya que no contempla los valores normales de la población menor de 18 años.

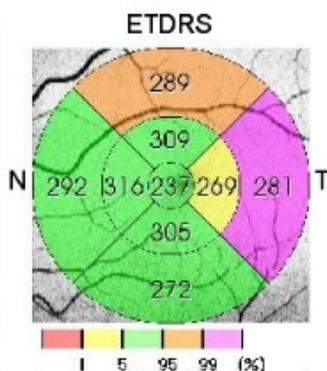


Figura 3.2.3-1 Rejilla ETDRS con espesores maculares

En la pantalla, en la parte superior del resumen, para cada ojo nos es dada la calidad de la imagen y la fecha de captura. A continuación aparece la fotografía del fondo de ojo con el área seleccionada a estudiar

y las coordenadas del punto central medido. Otra imagen del fondo de ojo señala el espesor en escala cromática del área seleccionada. Debajo de las fotos del fondo de ojo se representan los cortes, tanto horizontal como vertical de la mácula y la esquematización de los grosores de las distintas áreas ETDRS superpuestas a la fotografía de dicha área a medir.

El report también nos informa del grosor medio macular en μm , el grosor del punto central seleccionado en μm y el volumen total macular en mm^3 . Tras estos datos, al final del resumen aparece una imagen en tres dimensiones de la membrana limitante interna y del epitelio pigmentario de la retina, que son las capas entre las que se calcula el grosor retiniano (figura 3.2.3-2)

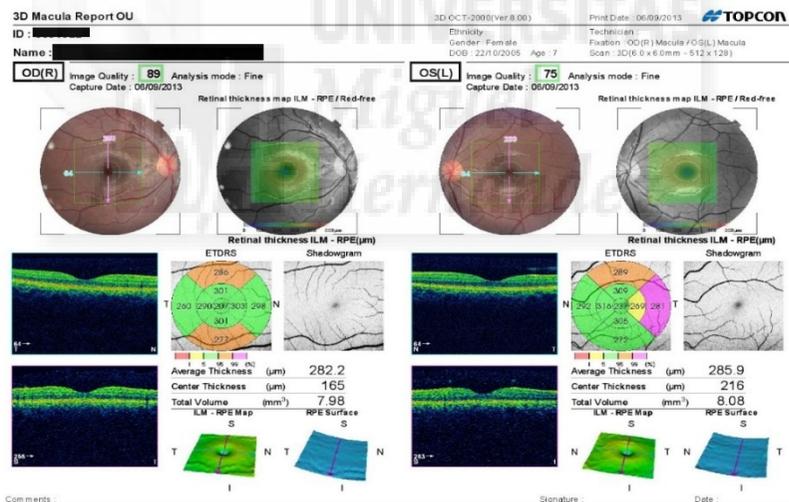


Figura 3.2.3-2 Pantalla con resultados en 3D mácula report

Por otro lado, el análisis de la cabeza del nervio óptico, tanto de sus características como del grosor de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) en los cuatro cuadrantes se realiza mediante “3D Disc report”. En la plantilla de resultados al igual que en el análisis 3D

macular, se pueden ver los datos del paciente, la fecha de captura y la calidad de la imagen.

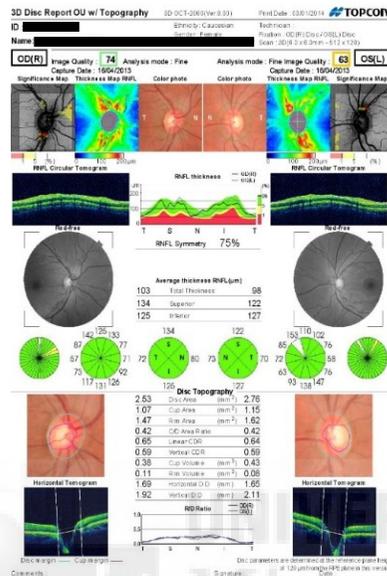


Figura 3.2.3-3 Pantalla con resultados en 3D disc report de ambos ojos.

Tras ello se muestran tres fotografías del nervio óptico, una de ellas en color, señala la zona escaneada, otra con el mapa de espesores superpuesto y otra en escala de grises con las zonas más adelgazadas señalan (mapa de significancia).

Debajo de estas fotografías se muestra el tomograma circular que señala los espesores retinianos a lo largo de la circunferencia del nervio óptico. Estos espesores se muestran en un diagrama comparando ambos ojos con los datos de referencia en una escala cromática.

A continuación aparece la fotografía aneritra del fondo de ojo donde es posible visualizar la capa de fibras nerviosas, más brillante.

También se muestran 3 diagramas circulares para cada nervio óptico que señalan los distintos grosores en los 4 cuadrantes, en 12 y 36 secciones con una escala cromática que compara estos grosores con los de la base de datos, los segmentos más gruesos serán blancos mientras que los más adelgazados serán rojos. En el centro se indican los valores numéricos para la media de grosor total, el cuadrante superior y el inferior (los más frecuentemente afectados por el glaucoma).

Seguidamente nos es presentado un análisis de las características de la cabeza del nervio óptico con una fotografía del área estudiada y su el B-scan correspondiente. Donde se señala el límite de la excavación (figura 3.2.3-3).

Los dispositivos OCT analizan las dimensiones de la papila y la CFNR en un scanner circular de 3.4mm de diámetro y centrado en la cabeza del nervio óptico. Las mediciones de la retina y de la cabeza del nervio óptico se basan en el ojo esquemático de Gullstrand (107). El ojo esquemático de Gullstrand es un modelo de un ojo estándar con radio de curvatura corneal de 7.7mm, refracción de 0 dioptrías, y longitud axial de 24.39 mm. Así el tamaño aparente de la cabeza del nervio óptico está magnificado en ojos hipermétropes (longitud axial menor) y minimizado en ojos miopes (longitud axial mayor). De acuerdo con esto, las medidas se deben corregir. Existen diversas fórmulas que corrigen la magnificación. La más utilizada es la fórmula de Littmann (108) (109) modificada por Bennet (110).

El dispositivo 3DOCT 2000 incorpora la corrección por longitud axial y equivalente esférico pero en este estudio no se ha utilizado esta opción ya que no permite la corrección por longitudes axiales menores a 21.50mm.

3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DE PACIENTES

Los pacientes son incluidos en el estudio de forma consecutiva al acudir para evaluación en el Centro de Especialidades subyacente al Servicio de Oftalmología del Hospital Universitario San Juan de Alicante, remitidos por su pediatra.

Para ser incluidos en este estudio los pacientes han de tener entre 5 y 14 años de edad. No se han incluido los niños menores de 5 años por falta de colaboración para realizar correctamente las pruebas diagnósticas.

Se incluirán en el grupo control todos los pacientes emétopes con equivalente esférico menor de +2.50 y mayor de -1.00 dioptrías. Su agudeza visual tendrá que ser superior a 0.8 en el ojo que se incluye en el estudio.

Se incluirán en el grupo a estudio los ojos de niños con hipermetropía de más de +2.50 dioptrías de equivalente esférico con agudeza visual mayor a 0.8.

Por otro lado, se excluirán todos los niños, tanto en el grupo control como en el grupo a estudio, que tengan o hayan sufrido alguna patología ocular, hayan sido intervenidos de alguna patología oftalmológica o sufran de ambliopía en el momento del estudio.

No participarán los niños cuyos padres o tutores legales verbalmente no aprueben la realización de la biometría y/o la OCT o la inclusión en el estudio.

Tampoco se incluirán los niños que no colaboren para una correcta ejecución de la prueba.

Se ha tenido en cuenta la Declaración de Helsinki y del Comité de Ética durante la investigación.

3.3.1 Grupos y variables a estudio

Se establecerán diferentes grupos para el análisis de los distintos objetivos.

A- Grupo total de pacientes con equivalente esférico (ES) mayor de +2.50 dioptrías.

Este grupo se subclasificará según el grado de hipermetropía en:

A.1- Hipermétropes con equivalente esférico igual o superior a +2.50 dioptrías hasta + 4.50 dioptrías

A.2- Hipermétropes con equivalente esférico superior a +4.50 dioptrías

B- Grupo control, que consta de pacientes con equivalente esférico menor de +2.50 dioptrías y mayor a -1.00 dioptrías.

En cada grupo se analizarán las siguientes variables:

1. Edad (años), se subclasificarán los grupos en:
 - De 5-8 años
 - De 9-14 años
2. Longitud axial (mm)
3. Grosor macular :
4. Grosor medio macular (μm)
5. Grosor mínimo foveal (μm)
6. Volumen macular (mm^3)
7. Grosor en los distintos cuadrantes ETDRS maculares tanto internos como externos (μm).

8. Grosor de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilares, tanto el grosor medio como por sectores superior, inferior, nasal y temporal (μm)
9. Características del nervio óptico: diámetro vertical, diámetro horizontal (mm) y excavación papilar (expresada como ratio papila/ excavación).

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez construida la base de datos pasamos a realizar los análisis estadísticos oportunos mediante el programa computerizado SPSS v20.0. (SPSS Inc, Chicago, Illinois, EEUU).

Se realizará un análisis univariante para la descripción de la muestra. Se calculará la media, desviación típica y otros valores descriptivos para variables continuas y análisis de frecuencias para variables categóricas.

A continuación, se aplicará un análisis para comprobar la normalidad de las variables mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Utilizaremos la prueba de Shapiro-Wilks para la evaluación de normalidad cuando las muestras sean inferiores a 30 casos. Analizaremos después las posibles correlaciones entre las variables a estudio, realizando para las variables normales una correlación de Pearson, y para las variables que no cumplen el criterio de normalidad, si es que las hay, una correlación de Spearman.

Tras ello, se comparará el grupo total de hipermétropes con el grupo control tanto para los grosores de los distintos sectores maculares, como para los grosores de la CFNR de los distintos cuadrantes de la cabeza del nervio óptico y sus características.

Además se comparará el grosor retiniano, el de la capa de fibras nerviosas peripapilares y las características de la cabeza del nervio óptico según los grupos de edad y grado de hipermetropía.

Cuando se comparen dos medias se utilizará el test de la T de Student para las variables que sigan un patrón de normalidad y la U de Mann-Whitney en caso contrario.

Salvo que se indique algo distinto, en todos los análisis la significación estadística se fija, como es habitual, en una P menor o igual de 0.05, asumiendo un riesgo del 5% de rechazar la hipótesis nula siendo esta cierta.



4. RESULTADOS



4.1. DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS OBTENIDA

Se incluyeron en este estudio los niños que acudieron a nuestro servicio en el centro de especialidades subyacente al área del Hospital de San Juan de Alicante y que pudieron asistir más tarde para realizarse la prueba de OCT en dicho hospital.

Tan solo 3 niños faltaron a la prueba de OCT en el Hospital de San Juan por lo que no se incluyeron en este estudio. Un padre se negó a que le hiciéramos la biometría a su hijo por lo que tampoco se incluyó en el estudio a este niño. Tan solo un niño fue rechazado por falta de colaboración en la prueba y un ojo en 5 niños (5 ojos en total) fue rechazado por tener la OCT imagen de captura de mala calidad en la prueba.

Dado que el presente estudio evalúa los ojos de forma independiente se hablará de número de ojos y no número de pacientes.

En el estudio del espesor macular se incluyeron los dos ojos de cada niño pero al ser el análisis del nervio óptico una prueba de más difícil colaboración, se eliminaron en ésta 6 ojos por mala calidad de captura de imagen. Para realizar el estudio pareado de mácula y nervio óptico se decidió también eliminar del trabajo el estudio macular de aquellos ojos eliminados en el estudio de la cabeza del nervio óptico.

Por tanto, se incluyeron 207 ojos en el presente estudio, 107 ojos en el grupo de hipermétropes y 100 en el grupo control.

4.2 RESULTADOS DESCRIPTIVOS

A continuación se detallarán los resultados tras analizar con el programa SPSS 20.0. (SPSS Inc, Chicago, Illinois,EEUU).

En la base de datos general encontramos una distribución bastante homogénea en cuanto a sexo, con 106 niños (51.2 %) y 101 niñas (48.8%). El reparto según grupos se muestra en la siguiente tabla (tabla 5).

| Sexo | | | | | |
|--------------|--------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| HIPERMETROPE | hombre | 65 | 60,7 | 60,7 | 60,7 |
| | mujer | 42 | 39,3 | 39,3 | 100,0 |
| | Total | 107 | 100,0 | 100,0 | |
| CONTROL | hombre | 41 | 41,0 | 41,0 | 41,0 |
| | mujer | 59 | 59,0 | 59,0 | 100,0 |
| | Total | 100 | 100,0 | 100,0 | |

Tabla 5. Distribución según sexo en los distintos grupos a estudio.

En el grupo de hipermetropía se han incluido 65 ojos de niños y 42 ojos de niñas y en el grupo control 41 ojos de niños y 59 ojos de niñas.

Las edades de los niños en este estudio están comprendidas entre 5 y 14 años, con una media de 8.08 años (dt: 1.971) y mediana de 8 (tabla 4.2-2) siendo en el grupo de hipermétropes la media de edad 7,69(dt: 1.84) y en el grupo control de 8,51(dt: 2.06) (tabla 4.2-3). La distribución

de edades para cada grupo de estudio queda señalada en las tablas 6,7,8 y 9.

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| Edad | 207 | 5 | 14 | 8,09 | 1,971 |

Tabla 6. Análisis descriptivo por edad de todos los casos.

| | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|--------------|------|-----|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPE | Edad | 107 | 5 | 13 | 7,69 | 1,804 |
| CONTROL | Edad | 100 | 6 | 14 | 8,51 | 2,062 |

Tabla 7. Análisis descriptivo por edad de los casos hipermétropes y de los casos control.

| Edad | Total | Porcentaje | Control | Porcentaje | Hipermetrope | Porcentaje |
|-------|-------|------------|---------|------------|--------------|------------|
| Total | 207 | 100 | 100 | 100 | 107 | 100 |
| 5 | 11 | 5 | 0 | 0 | 11 | 10 |
| 6 | 37 | 18 | 19 | 19 | 18 | 17 |
| 7 | 44 | 21 | 20 | 20 | 24 | 22 |
| 8 | 38 | 18 | 12 | 12 | 26 | 24 |
| 9 | 32 | 15 | 23 | 23 | 9 | 8 |
| 10 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 |
| 11 | 11 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| 12 | 8 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| 13 | 4 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 14 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 |

Tabla 8. Distribución de edades por grupos.

| | | grupos de edad | |
|--|--------------|----------------|------|
| | | 5-8 años | 9-14 |
| | HIPERMETROPE | 79 | 28 |
| | CONTROL | 51 | 49 |

Tabla 9. Distribución por grupos de edad para cada grupo de estudio.

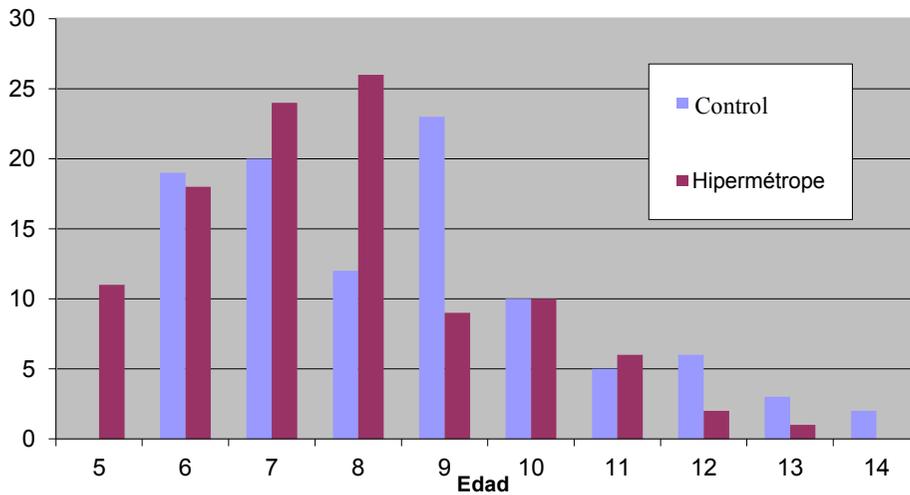


Figura 4.2-1. Distribución de los sujetos por edades y grupo.

En cuanto al equivalente esférico, en el grupo de hipermétropes la media del equivalente esférico fue de +4.7 dioptrías (dt:1.80) mientras que en el grupo control la media fue de +1,00 dioptría(dt: 0,77) (tabla 10).

| | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|--------------|----------------------|-----|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPE | equivalente esférico | 107 | 2,50 | 8,87 | 4,7 | 1,80 |
| CONTROL | equivalente esférico | 100 | -,81 | 2,38 | 1,00 | ,77 |

Tabla 10. Equivalente esférico en los distintos grupos.

La longitud axial media en el grupo hipermetrope fue de 21.34mm mientras que en el grupo control fue de 22.62 mm (tabla 11).

| C.E | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|--------------|----------------|-----|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPE | longitud axial | 107 | 19,22 | 22,85 | 21,34 | ,77 |
| CONTROL | longitud axial | 100 | 21,05 | 23,98 | 22,62 | ,78 |

Tabla 11. Longitud axial en los distintos grupos.

Con respecto a las variables del grosor macular, en la siguiente tabla (tabla 12) se muestran las descripciones para todos los pacientes.

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------------------|--------|--------|----------|------------|
| grosor macular medio | 250,40 | 382,80 | 283,3763 | 15,72478 |
| mínimo foveal | 149,00 | 247,00 | 183,6039 | 18,28224 |
| volumen macular | 7,06 | 9,18 | 7,9941 | ,40365 |
| macula central | 179 | 337 | 243,43 | 26,956 |
| intsup | 262 | 354 | 310,59 | 16,413 |
| intnasal | 268 | 348 | 312,01 | 14,977 |
| inttemp | 253 | 391 | 293,63 | 16,889 |
| intinf | 247 | 345 | 301,38 | 17,625 |
| extsup | 233 | 323 | 279,11 | 16,169 |
| extnasal | 241 | 339 | 292,97 | 16,384 |
| exttemp | 232 | 301 | 264,99 | 16,200 |
| extinf | 238 | 327 | 275,20 | 17,774 |

Tabla 12. Grosor medio, mínimo foveal, volumen macular y grosor por secciones de ETDRS medidos en μm (salvo el volumen macular, medido en mm^3).

Podemos ver en la tabla que los grosores maculares en el anillo interno son mayores que en el externo, en todos sus sectores. Y tanto en el anillo exterior como en el interior el grosor macular es máximo en el sector nasal, seguido del superior e inferior, siendo el sector temporal el más adelgazado. Se muestra con más claridad en la figura 4.2-2.

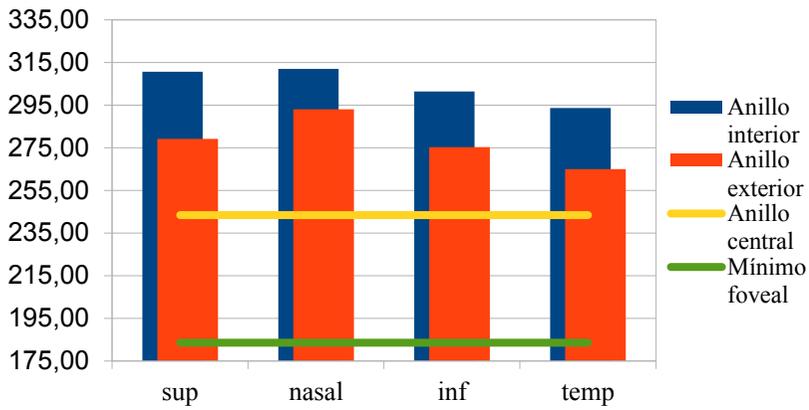


Figura 4.2-2 Grosor medio (μm) en las diferentes áreas de todos los pacientes



A continuación se muestra el análisis descriptivo para el grosor macular en el grupo de hipermétropes y en el grupo control (Tabla 13).

| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | |
|-----------------|----------------------|----------------------|--------|----------|------------|----------|
| HIPERMETROPE | grosor macular medio | 250,40 | 382,80 | 287,1084 | 17,62134 | |
| | mínimo foveal | 149,00 | 247,00 | 182,0093 | 18,52408 | |
| | volumen macular | 7,06 | 9,18 | 8,0833 | ,43353 | |
| | macula central | 179 | 337 | 247,43 | 29,951 | |
| | intsup | 262 | 354 | 310,93 | 18,441 | |
| | intnasal | 268 | 348 | 313,59 | 16,793 | |
| | inttemp | 253 | 331 | 292,46 | 17,440 | |
| | intinf | 247 | 345 | 300,77 | 20,752 | |
| | extsup | 251 | 323 | 282,84 | 16,825 | |
| | extnasal | 262 | 339 | 297,00 | 15,905 | |
| | exttemp | 232 | 301 | 269,02 | 17,110 | |
| | extinf | 238 | 327 | 280,58 | 18,485 | |
| | CONTROL | grosor macular medio | 252,80 | 305,80 | 279,3830 | 12,28373 |
| | | mínimo foveal | 150,00 | 247,00 | 185,3100 | 17,95544 |
| volumen macular | | 7,15 | 8,65 | 7,8987 | ,34642 | |
| macula central | | 195 | 317 | 239,14 | 22,707 | |
| intsup | | 269 | 350 | 310,24 | 14,006 | |
| intnasal | | 286 | 343 | 310,32 | 12,617 | |
| inttemp | | 265 | 391 | 294,89 | 16,273 | |
| intinf | | 261 | 332 | 302,04 | 13,581 | |
| extsup | | 233 | 309 | 275,12 | 14,483 | |
| extnasal | | 241 | 322 | 288,66 | 15,856 | |
| exttemp | | 233 | 295 | 260,68 | 14,011 | |
| extinf | | 238 | 313 | 269,44 | 15,056 | |

Tabla 13. Grosos en los distintos sectores ETDRS, medidos en μm (salvo el volumen macular, medido en mm^3).

En cuanto al grosor de la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR), los grosores medio, mínimo y máximo para todos los grupos (tabla 14), comparando el grupo hipermetrope y el grupo control (tabla 15) se muestran a continuación.

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|-----------|-----|--------|--------|--------|------------|
| CFNRmedio | 207 | 78 | 136 | 108,42 | 10,235 |
| CFNRsup | 207 | 94 | 174 | 129,05 | 14,304 |
| CFNRinf | 207 | 95 | 186 | 135,92 | 17,469 |
| CFNRnasal | 207 | 56 | 177 | 89,85 | 16,770 |
| CFNRtemp | 207 | 50 | 124 | 79,48 | 11,577 |

Tabla 14. Grosos de los distintos cuadrantes peripapilares medidos en μm en todos los pacientes.

Podemos observar que el sector más grueso es el inferior (135.92 dt 17.469) seguido del superior (129.05, dt 14.304), después el nasal (89.85 dt 16.77) y por último el sector temporal (79.48 dt 11.577) por lo que siguen la regla ISNT.

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | |
|--------------|-----------|--------|--------|-------|------------|--------|
| HIPERMETROPE | CFNRmedio | 107 | 93 | 136 | 111,89 | 9,589 |
| | CFNRsup | 107 | 94 | 174 | 131,39 | 15,037 |
| | CFNRinf | 107 | 101 | 186 | 140,12 | 17,765 |
| | CFNRnasal | 107 | 59 | 177 | 96,50 | 17,117 |
| | CFNRtemp | 107 | 56 | 124 | 80,64 | 11,513 |
| CONTROL | CFNRmedio | 100 | 78 | 125 | 104,70 | 9,620 |
| | CFNRsup | 100 | 96 | 162 | 126,55 | 13,092 |
| | CFNRinf | 100 | 95 | 161 | 131,42 | 16,049 |
| | CFNRnasal | 100 | 56 | 119 | 82,73 | 13,130 |
| | CFNRtemp | 100 | 50 | 105 | 78,24 | 11,575 |

Tabla 15. Grosor medio y por cuadrantes (μm) en el grupo hipermetrope y control.

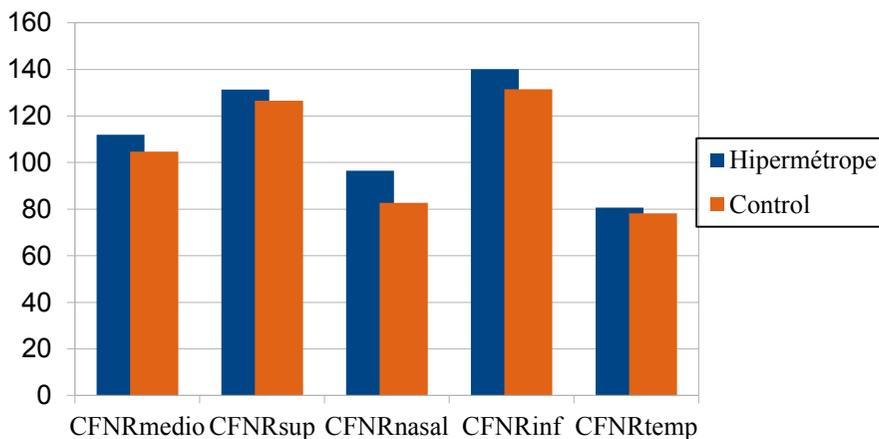


Figura 4.2-3 Grosor medio y por cuadrantes (μm) en el grupo hipermetrope y control.

Y, por último, en cuanto a las características del nervio óptico se muestran a continuación las tablas descriptivas en el grupo total de pacientes (tabla 4.2-12), hipermetrope y control (tabla 16).

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------------------|-----|--------|--------|-------|------------|
| Diámetro vertical | 207 | 1,02 | 3,00 | 1,99 | ,22 |
| Diámetro horizontal | 207 | 1,36 | 2,72 | 1,79 | ,21 |
| excavación | 207 | ,00 | ,47 | ,16 | ,14 |

Tabla 16. Características de la cabeza del nervio óptico en el grupo total de pacientes.

En el análisis de todos los pacientes nos encontramos una media de diámetro vertical de la papila mayor que de diámetro horizontal (tabla 17).

| C.E | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. Típ. |
|--------------|---------------------|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPE | Diámetro vertical | 1,45 | 3,00 | 2,06 | ,22 |
| | Diámetro horizontal | 1,42 | 2,72 | 1,85 | ,21 |
| | excavación | ,00 | ,45 | ,12 | ,12 |
| CONTROL | Diámetro vertical | 1,02 | 2,39 | 1,93 | ,20 |
| | Diámetro horizontal | 1,36 | 2,20 | 1,73 | ,18 |
| | excavación | ,00 | ,47 | ,22 | ,13 |

Tabla 17 Características de la cabeza del nervio óptico en los distintos grupos.

En el análisis por grupos nos encontramos con papilas ligeramente mayores en el grupo hipermetrope, sin embargo con excavaciones menores.



4.3. ANÁLISIS POR GRUPOS

4.3.1 ANÁLISIS DEL GRUPO CONTROL

4.3.1.1 Análisis descriptivo

En el grupo control se incluyeron 41 ojos de niños y 59 ojos de niñas con media de edad de 8,51 años (dt: 2.06), media del equivalente esférico de 1,21 dioptrías (dt: 0,91) y longitud axial media de 22.52 mm.

Con respecto al grosor macular, el grupo control presentaba un grosor medio macular de 279.38 μm (dt: 12.28). Los grosores de los distintos sectores maculares del grupo control quedan reflejados en la siguiente tabla (tabla 18).

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------|--------|--------|--------|------------|
| Gmm | 252,80 | 305,80 | 279,38 | 12,28 |
| Mf | 150 | 247 | 185,31 | 17,96 |
| Volmac | 7,15 | 8,65 | 7,90 | ,346 |
| Mc | 195 | 317 | 239,14 | 22,71 |
| Intsup | 269 | 350 | 310,24 | 14,00 |
| Intnasal | 286 | 343 | 310,32 | 12,62 |
| Inttemp | 265 | 391 | 294,89 | 16,27 |
| Intinf | 261 | 332 | 302,04 | 13,58 |
| Extsup | 233 | 309 | 275,12 | 14,48 |
| Extnasal | 241 | 322 | 288,66 | 15,86 |
| exttemp | 233 | 295 | 260,68 | 14,01 |
| extinf | 238 | 313 | 269,44 | 15,06 |

Tabla 18. Grosor medio (μm), volumen macular (mm^3) y grosores en los distintos sectores de ETDRS (μm) en el grupo control.

Al igual que ocurre en el análisis de todos los pacientes, podemos observar en el grupo control que los grosores maculares en el anillo interno son mayores que en el externo, en todos sus sectores. Y tanto en el anillo externo como en el interno el grosor macular es máximo en el sector nasal, seguido del superior e inferior, siendo el sector temporal el más adelgazado (tabla 18 y figura 4.3.1.1-1).

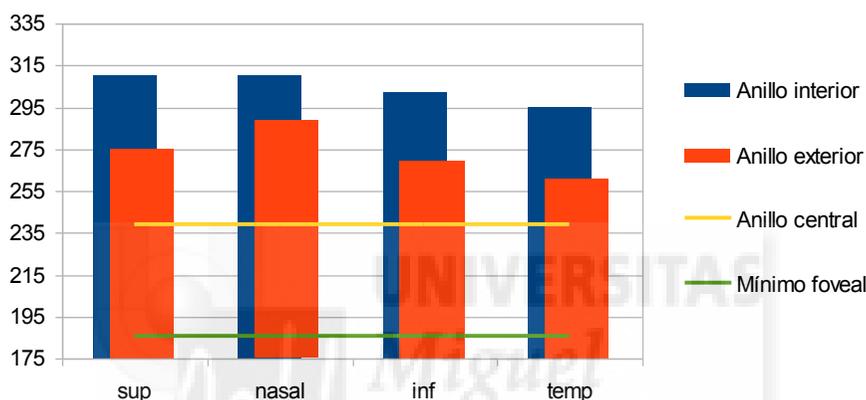


Figura 4.3.1.1-1 Grosor medio (µm) en los diferentes sectores del grupo control

En cuanto al grosor de la CFNR, el grosor medio en el grupo control fue de 104.70 µm y siendo el cuadrante inferior el más grueso (131.42 µm) seguido del superior (126.55 µm), nasal (82.73 µm) y por último el temporal (78.24 µm) por lo que siguen la regla ISNT (tabla 19) (figura 4.2.1.1-2).

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|-----------|--------|--------|--------|------------|
| CFNRmedio | 78 | 125 | 104,70 | 9,62 |
| CFNRsup | 96 | 162 | 126,55 | 13,09 |
| CFNRinf | 95 | 161 | 131,42 | 16,05 |
| CFNRnasal | 56 | 119 | 82,73 | 13,13 |
| CFNRtemp | 50 | 105 | 78,24 | 11,59 |

Tabla 19. Grosor de la CFNR peripapilar (µm) en el grupo control.

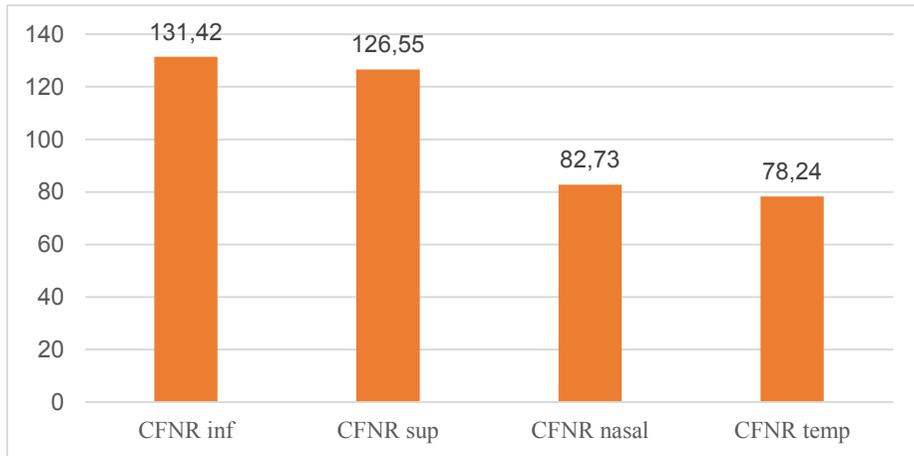


Figura 4.3.1.1-2 Grosor (μm) de la CFNR en los distintos cuadrantes del grupo control.

Con respecto a las características de la cabeza del nervio óptico, los resultados para el grupo control se muestran en la siguiente tabla (tabla 20).

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|-------------|--------|--------|-------|------------|
| DVert | 1,02 | 2,39 | 1,93 | ,20 |
| Dhorizontal | 1,36 | 2,20 | 1,73 | ,18 |
| expapila | ,00 | ,47 | ,22 | ,13 |

Tabla 20. Características de la cabeza del nervio óptico en el grupo control (mm).

4.3.1.2 Normalidad

Descrita la muestra, se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la distribución gaussiana o normalidad de las variables.

| Kolmogorov-Smirnov | | |
|--------------------|---------|------------------|
| | P valor | SIGNIFICACIÓN |
| Edad | 0,014 | Significativo |
| LA | 0,727 | No significativo |
| gmm | 0,734 | No significativo |
| mf | 0,034 | Significativo |
| volmac | 0,843 | No significativo |
| mc | 0,927 | No significativo |
| intsup | 0,527 | No significativo |
| intnasal | 0,370 | No significativo |
| inttemp | 0,598 | No significativo |
| intinf | 0,758 | No significativo |
| extsup | 0,638 | No significativo |
| extnasal | 0,847 | No significativo |
| exttemp | 0,968 | No significativo |
| extinf | 0,244 | No significativo |
| CFNRmedio | 0,820 | No significativo |
| CFNRsup | 0,913 | No significativo |
| CFNRinf | 0,653 | No significativo |
| CFNRnasal | 0,831 | No significativo |
| CFNRtemp | 0,914 | No significativo |
| DVert | 0,128 | No significativo |
| Dhorizontal | 0,315 | No significativo |
| excavación | 0,427 | No significativo |

Tabla 21. Kolmogorov- Smirnov para las variables en el grupo control.

Todas las variables excepto la edad y mínimo foveal tenían una distribución normal.

En la Figura "4.2-1 Distribución de los sujetos por edades y grupo" ya se apreciaba que la distribución por edad era claramente asimétrica por lo que se esperaba que la Edad no fuera normal.

4.3.1.3 Independencia entre las variables

Una vez comprobado que cumplen criterios de normalidad se aplicó un test de correlación de Pearson para conocer la relación entre las variables normales (Esto es, si un área resulta tener un determinado valor en un ojo, por ejemplo un grosor alto ¿el resto de áreas también tendrán un elevado espesor?).

Se realizó el test Rho de Spearman para las variables que no seguían una distribución normal.

En la siguiente tabla (tabla 22) se presentan las variables con valores significativos en la correlación de Pearson con la variable equivalente esférico:

| | ES | LA | intinf | mc | inttemp | CFNRtemp |
|---------|-------|-------|--------|-------|---------|----------|
| ES | 1,00 | -0,52 | -0,20 | -0,24 | -0,26 | -0,28 |
| LA | -0,52 | 1,00 | -0,05 | 0,24 | -0,10 | 0,01 |
| intinf | -0,20 | -0,05 | 1,00 | 0,22 | 0,50 | 0,27 |
| mc | -0,24 | 0,24 | 0,22 | 1,00 | 0,11 | -0,15 |
| inttemp | -0,26 | -0,10 | 0,50 | 0,11 | 1,00 | 0,32 |
| FNRtemp | -0,28 | 0,01 | 0,27 | -0,15 | 0,32 | 1,00 |

Tabla 22. Correlaciones de Pearson significativas.

La variable con mayor correlación en valor absoluto significativa estadísticamente con el equivalente esférico es la longitud axial, con correlación de Pearson $-0,52$. Esto es, a mayor equivalente esférico (más dioptrías positivas) menor longitud axial existe (figura 4.3.1.3-1).

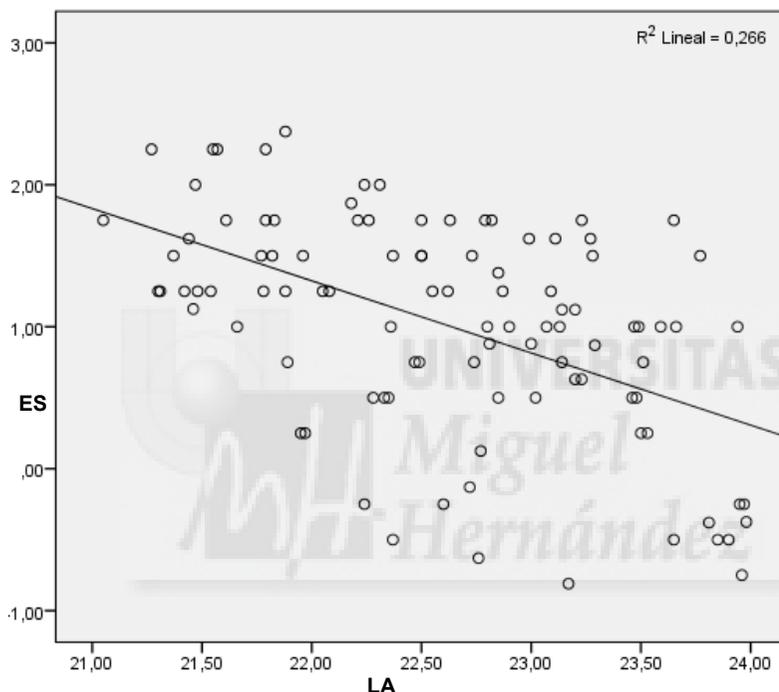


Figura 4.3.1.3-1 Dispersión del equivalente esférico según la longitud axial en el grupo control.

Al realizar esta matriz de correlaciones parciales entre todas las variables del grupo control eliminando el efecto de la longitud axial aparecen más correlaciones significativas con el equivalente esférico, sobre todo las variables de grosor macular (extinf e inttemp). En cuanto a la CFNR solo presenta un valor claramente significativo en la variable

CFNR temp. Los diámetros no presentan valores significativos con la variable equivalente esférico.

Estos resultados indican que sí existe una interrelación entre el grosor macular y el equivalente esférico aunque menos intensa que la interrelación entre la longitud axial y el equivalente esférico, en el grupo control.

Las variables de grosor macular tienen una interrelación significativa entre ellas, y lo mismo ocurre con las variables de diámetro horizontal y vertical.

Las variables del CNFR se relacionan todas con las de grosor macular en el sector externo, e interno, salvo el grosor de CFNR en el cuadrante nasal que no se correlaciona con los grosores maculares en su sector interno. Además, los grosores de la CFNR no están todos relacionados entre sí.

Para las variables que no cumplen criterios de normalidad (Edad y mínimo foveal) se realizó el test Rho de Spearman, no encontrándose relación entre éstas y las demás variables (la Edad con el Equivalente Esférico y con la longitud axial tienen una Rho no significativa).

4.3.2 ANÁLISIS DEL GRUPO HIPERMÉTROPE

4.3.2.1 Análisis descriptivo

En el grupo hipermetrope se incluyeron 65 ojos de niños y 42 ojos de niñas con media de edad de 7,69 años (dt: 1,84), media del equivalente esférico de 5,04 dioptrías (dt: 1,71) y longitud axial media de 21.33mm.

En cuanto al espesor macular, el grosor macular medio fue 287.11 μ m (dt 17.62). Los grosores de los distintos sectores quedan reflejados en la siguiente tabla (tabla 23) (figura 4.3.2.1-1).

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------|--------|--------|--------|------------|
| gmm | 250,40 | 382,80 | 287,11 | 17,62 |
| mf | 149 | 247 | 182 | 18,52 |
| volmac | 7,06 | 9,18 | 8,08 | ,43 |
| mc | 179 | 337 | 247,43 | 29,95 |
| intsup | 262 | 354 | 310,93 | 18,44 |
| intnasal | 268 | 348 | 313,59 | 16,79 |
| inttemp | 253 | 331 | 292,46 | 17,44 |
| intinf | 247 | 345 | 300,77 | 20,75 |
| extsup | 251 | 323 | 282,84 | 16,83 |
| extnasal | 262 | 339 | 297,00 | 15,90 |
| exttemp | 232 | 301 | 269,02 | 17,11 |
| extinf | 238 | 327 | 280,58 | 18,49 |

Tabla 23. Grosor medio, volumen macular y grosores en los distintos sectores de ETDRS en el grupo hipermetrope, medidos en μ m salvo el volumen macular medido en mm^3 .

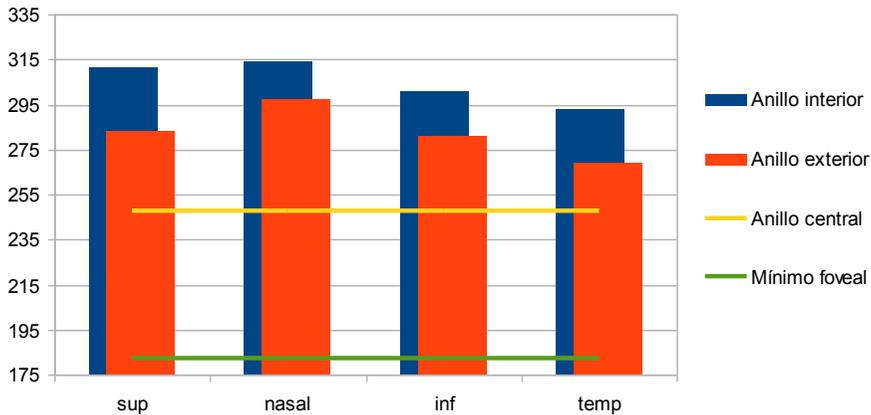


Figura 4.3.2.1-1 Grosor medio (μm) en las diferentes secciones maculares del grupo hipermetrope.

Se aprecia un comportamiento similar al observado en la figura 4.2.1.1-1, de grosor macular de todos los pacientes, pero en el grupo hipermetrope los grosores son mayores.

En lo que se refiere al grosor de la capa de fibras nerviosas (CFNR) peripapilares, el grupo de hipermétropes presentaba un grosor medio de $111.89 \mu\text{m}$ (dt9.59) siendo el cuadrante más grueso el inferior ($140 \mu\text{m}$), seguido del superior ($131 \mu\text{m}$), nasal ($96.50 \mu\text{m}$) y temporal ($80.64 \mu\text{m}$) por lo que al igual que el grupo control se sigue la regla ISNT (tabla 24).

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. tip. |
|-----------|-----|--------|--------|--------|------------|
| CFNRmedio | 107 | 93 | 136 | 111,89 | 9,59 |
| CFNRsup | 107 | 94 | 174 | 131,39 | 15,03 |
| CFNRinf | 107 | 101 | 186 | 140,12 | 17,77 |
| CFNRnasal | 107 | 59 | 177 | 96,50 | 17,12 |
| CFNRtemp | 107 | 56 | 124 | 80,64 | 11,51 |

Tabla 24. Grosor medio y por cuadrantes de la CFNR peripapilar (μm).

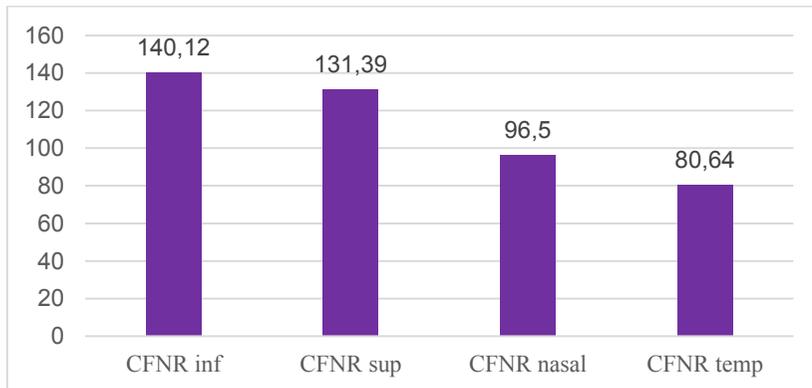


Figura 4.3.2.1-2 Grosor medio (µm) de la CFNR en los distintos cuadrantes en el grupo hipermetrope.

Por último, las características de la cabeza del nervio óptico en el grupo hipermetrope se muestran en la siguiente tabla (tabla 25).

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|-------------|--------|--------|-------|------------|
| DVert | 1,45 | 3,00 | 2,05 | ,22 |
| Dhorizontal | 1,42 | 2,72 | 1,85 | ,21 |
| expapila | ,00 | ,45 | ,11 | ,12 |

Tabla 25. Características de la papila en el grupo hipermetrope.

4.3.2.2 Normalidad

Descrita la muestra, se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la distribución gaussiana o normalidad de las variables.

| | Kolmogorov-Smirnov | |
|-------------|--------------------|-------------------|
| | P valor | Significación |
| Edad | 0,004 | Muy significativo |
| ES | 0.017 | significativo |
| LA | 0,737 | No significativo |
| gmm | 0,587 | No significativo |
| mf | 0,240 | No significativo |
| volmac | 0,814 | No significativo |
| mc | 0,092 | No significativo |
| intsup | 0,562 | No significativo |
| intnasal | 0,949 | No significativo |
| inttemp | 0,807 | No significativo |
| intinf | 0,776 | No significativo |
| extsup | 0,651 | No significativo |
| extnasal | 0,617 | No significativo |
| exttemp | 0,740 | No significativo |
| extinf | 0,585 | No significativo |
| CFNRmedio | 0,693 | No significativo |
| CFNRsup | 0,935 | No significativo |
| CFNRinf | 0,353 | No significativo |
| CFNRnasal | 0,683 | No significativo |
| CFNRtemp | 0,407 | No significativo |
| DVert | 0,068 | No significativo |
| Dhorizontal | 0,180 | No significativo |
| excavación | 0,006 | Muy significativo |

Tabla 26. Kolmogorov-Smirnov de las variables para el grupo hipermetrope.

4.3.2.3. Independencia de las variables

Se aplicó un test de correlación de Pearson para conocer la relación entre las variables que seguían una distribución normal.

Como cabría esperar las variables de grosor macular medio tiene correlaciones estadísticamente significativas con el resto de variables de grosor macular, y lo mismo ocurre con las variables de diámetro horizontal y vertical (tabla 27).

| | LA | mc | gmm | intsup | intinf | inttemp | extnasal | CFNRtemp |
|----------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| LA | 1 | ,174 | -,172 | -,143 | ,004 | ,007 | -,120 | -,060 |
| mc | -,174 | 1,00 | ,492 ^(**) | ,360 ^(**) | ,006 | ,366 ⁽⁺⁺⁾ | ,289 ^(**) | -,004 |
| gmm | -,172 | ,92 ^(**) | 1,00 | ,664 ⁽⁺⁺⁾ | ,420 ⁽⁺⁺⁾ | ,696 ⁽⁺⁺⁾ | ,755 ⁽⁺⁺⁾ | ,072 |
| intsup | -,143 | ,60 ^(**) | ,664 ⁽⁺⁺⁾ | 1,00 | ,563 ⁽⁺⁺⁾ | ,043 | ,838 ⁽⁺⁺⁾ | ,043 |
| intinf | ,004 | ,006 | ,420 ⁽⁺⁺⁾ | ,563 ⁽⁺⁺⁾ | 1,00 | ,587 ⁽⁺⁺⁾ | ,561 ⁽⁺⁺⁾ | ,025 |
| inttemp | ,007 | ,66 ⁽⁺⁺⁾ | ,696 ⁽⁺⁺⁾ | ,731 ⁽⁺⁺⁾ | ,587 ⁽⁺⁺⁾ | 1,00 | ,795 ⁽⁺⁺⁾ | -,017 |
| Extnasal | -,120 | ,89 ⁽⁺⁺⁾ | ,755 ⁽⁺⁺⁾ | ,838 ⁽⁺⁺⁾ | ,561 ⁽⁺⁺⁾ | ,795 ⁽⁺⁺⁾ | 1,00 | ,022 |
| CFNRtemp | -,060 | ,153 | ,072 | ,043 | ,025 | -,017 | ,022 | 1,00 |

Tabla 27. Correlaciones de Pearson significativas ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

El grosor de CFNR medio se relaciona de manera consistente y positiva con el grosor macular medio, el volumen macular, los grosores maculares internos (salvo el sector temporal) y todos los sectores externos maculares. También se relaciona con todos los grosores de CFNR en los distintos cuadrantes peripapilares y con los diámetros, tanto vertical como horizontal, de la papila.

Sin embargo entre los grosores de la CFNR en los distintos cuadrantes sólo tiene relación consistente con los grosores maculares el cuadrante inferior. El grosor del cuadrante superior peripapilar tiene relación menos significativa con los sectores externos maculares.

Entre los distintos cuadrantes peripapilares, sólo se correlacionan la CFNR del sector superior con el inferior. Solo tiene correlación con el equivalente esférico el grosor de la CFNR del cuadrante temporal.

Se realizó el test Rho de Spearman para las variables que no cumplían criterios de normalidad. La única variable correlacionada con el equivalente esférico estadísticamente significativa es la longitud axial, con una rho de Spearman de -0,536 (figura 4.3.2.3-1).

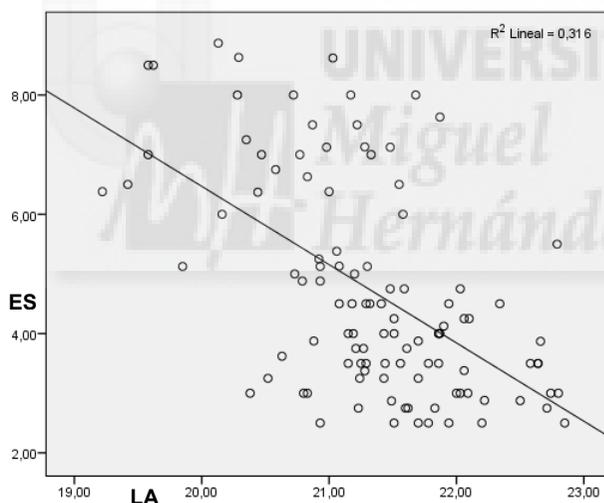


Figura 4.3.2.3-1 Correlación entre equivalente esférico y longitud axial en el grupo hipermetrope

Se observó también que las variables edad y longitud axial tenían una correlación estadísticamente significativa (rho de Spearman de 0,342). Mientras que éstas variables no tenían una correlación estadísticamente significativa en el grupo control.

4.3.3. GRUPOS CONTROL E HIPERMÉTROPE CORREGIDOS

La inclusión en el estudio de ambos ojos de sólo algunos pacientes, pero no de todos, podría llevar a error. Por esta razón, se decidió llevar a cabo el mismo análisis realizado pero ésta vez eliminando del estudio un ojo de los pacientes en los que se habían incluido ambos ojos. Del grupo hipermetrope se analizó sólo el ojo más hipermetrope y se desestimó aleatoriamente un ojo de los pacientes del grupo control en los que se analizaban ambos ojos.

Al grupo hipermetrope corregido se le denominó grupo Hipermetrope1 y al grupo control corregido se le denominó Control1.

4.3.3.1 Análisis descriptivo

En el grupo Hipermetrope1 se incluyeron 70 pacientes, 49 de éstos con edad comprendida entre 5 y 8 años y 21 con edad comprendida entre 9 y 14 años. El equivalente esférico medio de este grupo era de +4.60 dioptrías y la longitud axial media era de 21.36 mm (tablas 28, 29, 30 y 31).

En el grupo Control1 se incluyeron 57 pacientes, 29 de éstos con edad comprendida entre 5 y 8 años y 28 con edad comprendida entre 9 y 14 años. El equivalente esférico medio era de +1.05 dioptrías y la longitud axial media fue de 22.54mm (tablas 28, 29, 30 y 31).

| | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido |
|---------------|------------|------------|-------------------|
| HIPERMETROPE1 | 70 | 55,1 | 55,1 |
| CONTROL1 | 57 | 44,9 | 44,9 |
| Total | 127 | 100,0 | 100,0 |

Tabla 28. Distribución de pacientes en cada grupo corregido.

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido |
|---------------|----------------|------------|------------|-------------------|
| HIPERMETROPE1 | DE 5 A 8 AÑOS | 49 | 70,0 | 70,0 |
| | DE 9 A 14 AÑOS | 21 | 30,0 | 30,0 |
| | Total | 70 | 100,0 | 100,0 |
| CONTROL1 | DE 5 A 8 AÑOS | 29 | 50,9 | 50,9 |
| | DE 9 A 14 AÑOS | 28 | 49,1 | 49,1 |
| | Total | 57 | 100,0 | 100,0 |

Tabla 29. Distribución de pacientes hipermétropes1 y control1 en cada grupo de edad.

| C.E | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------------|----------------------|----|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPE1 | equivalente esférico | 70 | 2,50 | 8,87 | 4,60 | 1,86 |
| CONTROL1 | equivalente esférico | 57 | -,81 | 2,25 | 1,05 | ,77 |

Tabla 30. Equivalente esférico (dioptrías) en los grupos a estudio corregidos.

| C.E | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------------|----------------|----|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPE1 | longitud axial | 70 | 19,22 | 22,85 | 21,36 | ,77 |
| CONTROL1 | longitud axial | 57 | 21,05 | 23,98 | 22,54 | ,80 |

Tabla 31. Longitud axial (mm) en los grupos a estudio corregidos.

En cuanto al grosor macular medio el grupo Hipermétropes1 presentaba un grosor macular medio de 286.55 μm mientras que el grupo Control1 presentaba un grosor macular medio de 280.40 μm . El resto de medidas de grosor se muestran en la siguiente tabla (tabla 32).

| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------------|----------------------|--------|--------|--------|------------|
| HIPERMETROPEI | grosor macular medio | 251,80 | 319,50 | 286,55 | 14,92 |
| | mínimo foveal | 153,00 | 244,00 | 181,89 | 17,81 |
| | volumen macular | 7,12 | 9,03 | 8,10 | ,42 |
| | macula central | 183 | 337 | 247,33 | 29,484 |
| | intsup | 265 | 350 | 311,87 | 17,58 |
| | intnasal | 277 | 348 | 313,30 | 16,68 |
| | inttemp | 253 | 328 | 292,76 | 17,18 |
| | intinf | 253 | 345 | 300,54 | 20,07 |
| | extsup | 251 | 314 | 282,61 | 16,98 |
| | extnasal | 262 | 333 | 297,86 | 15,67 |
| | exttemp | 232 | 301 | 268,99 | 17,21 |
| extinf | 240 | 327 | 282,01 | 19,07 | |
| CONTROLI | grosor macular medio | 258,10 | 304,00 | 280,40 | 12,44 |
| | mínimo foveal | 150,00 | 247,00 | 185,67 | 17,93 |
| | volumen macular | 7,30 | 8,59 | 7,93 | ,35 |
| | macula central | 195 | 317 | 238,00 | 22,19 |
| | intsup | 269 | 347 | 311,16 | 14,11 |
| | intnasal | 288 | 342 | 310,89 | 12,71 |
| | inttemp | 265 | 331 | 294,32 | 14,30 |
| | intinf | 261 | 332 | 302,51 | 14,22 |
| | extsup | 248 | 309 | 276,39 | 15,05 |
| | extnasal | 241 | 322 | 289,54 | 16,54 |
| | exttemp | 236 | 294 | 261,39 | 14,14 |
| extinf | 240 | 304 | 270,89 | 14,87 | |

Tabla 32. Grosos maculares (μm) y volumen macular (mm^3) en los grupos a estudio corregidos.

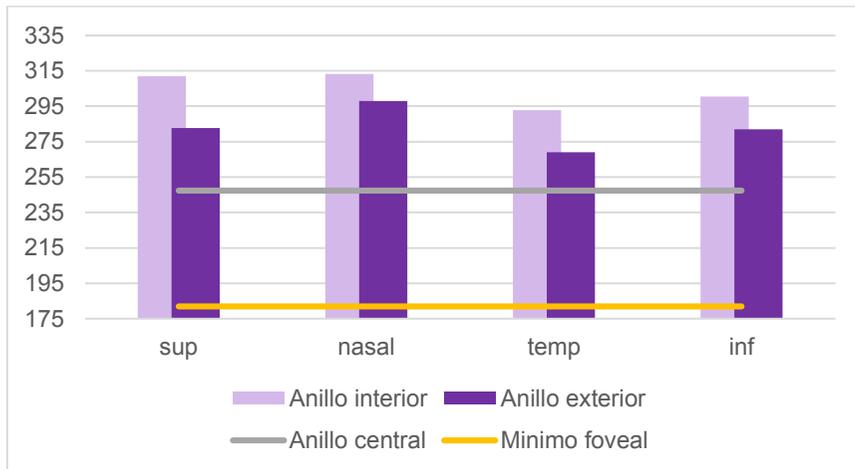


Figura 4.3.3.1-1 Grosos maculares (μm) en el grupo Hipermetrope1

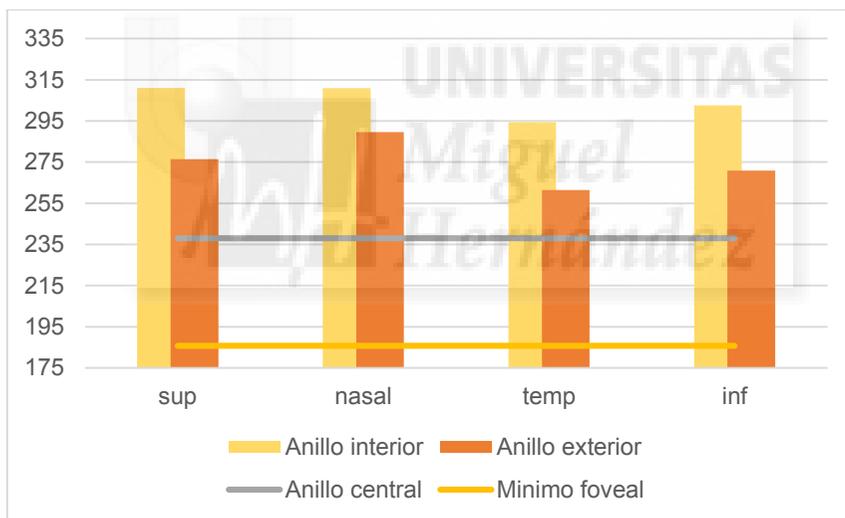


Figura 4.3.3.1-2 Grosos maculares (μm) en el grupo Control1

En lo referente al grosor de la CFNR se puede observar que al igual que los grupos sin corregir, se sigue la regla ISNT en ambos grupos (tabla 33).

| C.E | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------------|-----------|--------|--------|--------|------------|
| HIPERMETROPEI | CFNRmedio | 93 | 136 | 111,07 | 9,84 |
| | CFNRsup | 94 | 174 | 130,47 | 15,54 |
| | CFNRinf | 101 | 186 | 139,43 | 17,39 |
| | CFNRnasal | 62 | 177 | 95,29 | 17,76 |
| | CFNRtemp | 56 | 109 | 80,34 | 11,32 |
| CONTROLI | CFNRmedio | 79 | 125 | 104,95 | 9,74 |
| | CFNRsup | 100 | 162 | 127,60 | 13,70 |
| | CFNRinf | 98 | 161 | 131,53 | 16,15 |
| | CFNRnasal | 57 | 110 | 83,02 | 12,95 |
| | CFNRtemp | 51 | 102 | 78,07 | 11,54 |

Tabla 33. Grosor de la CFNR (μm) en los grupos a estudio corregidos.

En cuanto a las características de la cabeza del nervio óptico en la siguiente tabla podemos ver que las medias no difieren de las de los grupos sin corregir.

| C.E | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|---------------|---------------------|--------|--------|-------|------------|
| HIPERMETROPEI | diametro vertical | 1,32 | 2,77 | 2,05 | ,23 |
| | diametro horizontal | 1,32 | 2,58 | 1,84 | ,22 |
| | excavación | ,00 | ,39 | ,11 | ,120 |
| CONTROLI | diametro vertical | 1,55 | 2,39 | 1,96 | ,18 |
| | diametro horizontal | 1,47 | 2,16 | 1,75 | ,18 |
| | excavación | ,00 | ,47 | ,20 | ,14 |

Tabla 34. Características papilares (mm) en los grupos a estudio corregidos.

4.3.3.2 Normalidad

Se examinó la normalidad de las variables en ambos grupos (tabla 35).

| | Kolmogorov-Smirnov | | | |
|-------------|--------------------|------------------|-----------|------------------|
| | Hipermétropes 1 | | Control 1 | |
| ES | 0.037 | Significativo | 0.180 | No significativo |
| Edad | 0.034 | Significativo | 0.106 | No significativo |
| LA | 0.780 | No significativo | 0.811 | No significativo |
| gmm | 0.831 | No significativo | 0.990 | No significativo |
| mf | 0.326 | No significativo | 0.131 | No significativo |
| volmac | 0.832 | No significativo | 0.982 | No significativo |
| mc | 0.217 | No significativo | 0.643 | No significativo |
| intsup | 0.663 | No significativo | 0.957 | No significativo |
| intnasal | 0.977 | No significativo | 0.803 | No significativo |
| inttemp | 0.973 | No significativo | 0.994 | No significativo |
| intinf | 0.767 | No significativo | 0.779 | No significativo |
| extsup | 0.828 | No significativo | 0.435 | No significativo |
| extnasal | 0.733 | No significativo | 0.897 | No significativo |
| exttemp | 0.606 | No significativo | 0.956 | No significativo |
| extinf | 0.730 | No significativo | 0.710 | No significativo |
| CFNRmedio | 0.892 | No significativo | 0.648 | No significativo |
| CFNRsup | 0.935 | No significativo | 0.451 | No significativo |
| CFNRinf | 0.621 | No significativo | 0.876 | No significativo |
| CFNRnasal | 0.548 | No significativo | 0.991 | No significativo |
| CFNRtemp | 0.561 | No significativo | 0.592 | No significativo |
| DVert | 0.323 | No significativo | 0.674 | No significativo |
| Dhorizontal | 0.094 | No significativo | 0.467 | No significativo |
| excavación | 0.033 | Significativo | 0.835 | No significativo |

Tabla 35. Kolmogorov-Smirnov para las variables en los grupos corregidos.

La distribución de las variables es igual que en los grupos hipermetrope y control sin corregir. Al ser la variable “Equivalente esférico” (ES) la que define los grupos, se espera que sea no normal.

4.3.4 GRUPOS SEGÚN EL GRADO DE HIPERMETROPIA

4.3.4.1 Análisis descriptivo

Se clasificó el grupo hipermetrope según el grado de hipermetropía en hipermétropes moderados (de +2.50 dioptrías hasta +4.50 dioptrías) e hipermétropes altos (hipermetros de +4.51 o más dioptrías).

En el grupo de hipermetros moderados se incluyeron 64 ojos (59.8 % del total de hipermetros), 38 de ellos eran de niños (59.4%) y 26 de niñas (40.6%) con media de edad de 7.87 años. La media de longitud axial era de 21.67 mm (dt 0.58) (Tablas 36, 37, 38 y 39).

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido |
|--------------|----------------|------------|------------|-------------------|
| HIPERMETROPE | ES (2.5,4.5) | 64 | 59,8 | 59,8 |
| | ES (4.51,8.87) | 43 | 40,2 | 40,2 |
| | Total | 107 | 100,0 | 100,0 |

Tabla 36. Distribución de casos para los dos subgrupos hipermetros.

| grupos hipermetros | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido |
|--------------------|--------|------------|------------|-------------------|
| ES (2.5,4.5) | HOMBRE | 38 | 59,4 | 59,4 |
| | MUJER | 26 | 40,6 | 40,6 |
| | Total | 64 | 100,0 | 100,0 |
| ES (4.51,8.87) | HOMBRE | 27 | 62,8 | 62,8 |
| | MUJER | 16 | 37,2 | 37,2 |
| | Total | 43 | 100,0 | 100,0 |

Tabla 37. Distribución de sexos para los dos subgrupos de hipermetros.

| grupos hipermétropes | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------------------|------|--------|--------|-------|------------|
| ES (2.5,4.5) | Edad | 5 | 12 | 7,87 | 1,84 |
| ES (4.51,8.87) | Edad | 5 | 13 | 7,42 | 1,74 |

Tabla 38. Media de edad, mínimo, máximo y desviación típica para los dos subgrupos de hipermetropía.

| grupos hipermétropes | | N | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------------------|----------------|----|--------|--------|-------|------------|
| ES (2.5,4.5) | longitud axial | 64 | 20,38 | 22,85 | 21,67 | ,58 |
| ES (4.51,8.87) | longitud axial | 43 | 19,22 | 22,79 | 20,84 | ,74 |

Tabla 39. Longitud axial en los dos subgrupos de hipermétropes.

En el grupo de hipermétropes altos se incluyeron 43 ojos (40.2 % del total de hipermétropes), 27 de ellos eran de niños (62.8%) y 16 de niñas (37.2%) con media de edad de 7.42 años. La media de longitud axial era de 20.84mm (dt 0.74) (Tablas 36,37, 38 y 39).

En lo referente al grosor macular el grupo de hipermétropes moderados presentaba un grosor macular medio de 287.99 μm con mayor grosor en los sectores externos del ETDRS que en los internos, como en todos los demás grupos (tabla 40).

El grosor macular medio en el grupo de hipermétropes altos presentaba un grosor macular medio de 285.80 μm , también se observa en este grupo un mayor grosor macular en los sectores externos (tabla 40).

| grupos hipermetropes | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------------------|----------------------|--------|--------|--------|------------|
| ES (2.5,4.5) | grosor macular medio | 251,80 | 382,80 | 287,99 | 19,82 |
| | mínimo foveal | 158,00 | 247,00 | 184,94 | 18,61 |
| | volumen macular | 7,06 | 9,18 | 8,09 | ,46 |
| | macula central | 199 | 337 | 249,61 | 30,13 |
| | intsup | 279 | 354 | 311,20 | 17,93 |
| | intnasal | 277 | 348 | 313,56 | 17,30 |
| | inttemp | 253 | 331 | 293,94 | 16,68 |
| | intinf | 253 | 344 | 303,05 | 20,03 |
| | extsup | 251 | 323 | 283,39 | 17,66 |
| | extnasal | 262 | 339 | 297,58 | 16,18 |
| | exttemp | 232 | 301 | 268,55 | 17,86 |
| extinf | 240 | 327 | 279,53 | 18,63 | |
| ES (4.51,8.87) | grosor macular medio | 250,40 | 319,50 | 285,80 | 13,83 |
| | mínimo foveal | 149,00 | 244,00 | 177,65 | 17,72 |
| | volumen macular | 7,08 | 9,03 | 8,08 | ,39 |
| | macula central | 179 | 306 | 244,19 | 29,73 |
| | intsup | 262 | 350 | 310,51 | 19,39 |
| | intnasal | 268 | 348 | 313,63 | 16,20 |
| | inttemp | 253 | 328 | 290,26 | 18,49 |
| | intinf | 247 | 345 | 297,37 | 21,57 |
| | extsup | 255 | 312 | 282,02 | 15,68 |
| | extnasal | 263 | 333 | 296,14 | 15,64 |
| | exttemp | 233 | 301 | 269,72 | 16,11 |
| extinf | 238 | 326 | 282,14 | 18,37 | |

Tabla 40. Grosos maculares, en μm , medio y en los distintos sectores y volumen macular , en mm^3 , de los dos subgrupos hipermétropes.

En cuanto a la CFNR peripapilar, el grosor medio en el grupo de hipermétropes moderados era de $111.27 \mu\text{m}$, siendo el cuadrante superior el más grueso siguiéndose la regla ISNT, como en todos los demás grupos.

En el grupo de hipermétropes altos la media de grosor de la CFNR peripapilares era de $112.81 \mu\text{m}$, también con el mismo orden de grosores según cuadrantes que en todos los grupos aunque levemente más gruesos

los cuadrantes inferior, nasal y temporal que en el grupo de hipermétropes moderados (tabla 41).

| grupos hipermétropes | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------------------|-----------|--------|--------|--------|------------|
| ES (2.5,4.5) | CFNRmedio | 93 | 136 | 111,27 | 10,21 |
| | CFNRsup | 109 | 167 | 132,25 | 13,61 |
| | CFNRinf | 101 | 186 | 138,25 | 19,11 |
| | CFNRnasal | 59 | 177 | 95,30 | 18,86 |
| | CFNRtemp | 56 | 124 | 80,56 | 12,47 |
| ES (4.51,8.87) | CFNRmedio | 96 | 136 | 112,81 | 8,62 |
| | CFNRsup | 94 | 174 | 130,12 | 17,03 |
| | CFNRinf | 116 | 180 | 142,91 | 15,34 |
| | CFNRnasal | 70 | 126 | 98,30 | 14,15 |
| | CFNRtemp | 60 | 104 | 80,74 | 10,07 |

Tabla 41. Grosor medio y de los distintos cuadrantes peripapilares (μm) de la CFNR peripapilares en los dos subgrupos de hipermétropes.

En el caso de las características de la cabeza del nervio óptico los diámetros son mayores en el grupo de hipermétropes altos que en el de moderados, aunque con menor excavación papilar (tabla 42).

| grupos hipermétropes | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
|----------------------|---------------------|--------|--------|-------|------------|
| ES (2.5,4.5) | diámetro vertical | 1,55 | 2,72 | 2,05 | ,18 |
| | diámetro horizontal | 1,45 | 2,58 | 1,84 | ,18 |
| | excavación | ,00 | ,45 | ,12 | ,12 |
| ES (4.51,8.87) | diámetro vertical | 1,45 | 3,00 | 2,07 | ,27 |
| | diámetro horizontal | 1,42 | 2,72 | 1,86 | ,25 |
| | excavación | ,00 | ,38 | ,11 | ,12 |

Tabla 42. Características de la cabeza del nervio óptico de los dos subgrupos de hipermétropes.

4.3.4.2. Normalidad

| | Kolmogorov-Smirnov | | | |
|-------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|
| | ES (2.5,4.5) | | ES (4.51,8.87) | |
| LA | 0.954 | No significativo | 0.678 | No significativo |
| gmm | 0.572 | No significativo | 0.788 | No significativo |
| mf | 0.516 | No significativo | 0.247 | No significativo |
| volmac | 0.818 | No significativo | 0.721 | No significativo |
| mc | 0.098 | No significativo | 0.914 | No significativo |
| intsup | 0.630 | No significativo | 0.637 | No significativo |
| intrnasal | 0.889 | No significativo | 0.373 | No significativo |
| inttemp | 0.837 | No significativo | 0.955 | No significativo |
| intinf | 0.542 | No significativo | 0.496 | No significativo |
| extsup | 0.863 | No significativo | 0.704 | No significativo |
| extrnasal | 0.370 | No significativo | 0.984 | No significativo |
| exttemp | 0.805 | No significativo | 0.998 | No significativo |
| extinf | 0.836 | No significativo | 0.939 | No significativo |
| CFNRmedio | 0.824 | No significativo | 0.881 | No significativo |
| CFNRsup | 0.721 | No significativo | 0.899 | No significativo |
| CFNRinf | 0.481 | No significativo | 0.936 | No significativo |
| CFNRnasal | 0.127 | No significativo | 0.801 | No significativo |
| CFNRtemp | 0.790 | No significativo | 0.590 | No significativo |
| DVert | 0.272 | No significativo | 0.508 | No significativo |
| Dhorizontal | 0.285 | No significativo | 0.521 | No significativo |
| excavación | 0.068 | No significativo | 0.077 | No significativo |

Tabla 43. Kolmogorov-Smirnov para los grupos hipermétropes.

Todas las variables siguen una distribución normal.

4.3.4.3. Independencia de las variables

Se aplicó el coeficiente de correlación lineal simple o test de correlación de Pearson para todas las variables en el grupo de hipermétropes moderados.

Como cabía esperar, las variables del grosor macular presentan gran interrelación entre ellas y también existe una fuerte asociación entre las variables de diámetro vertical y horizontal de la papila.

| | ES | LA |
|-------------|----------|-----------|
| ES | 1 | -0,144 |
| LA | -0,144 | 1 |
| Gmm | ,423(**) | -,397(**) |
| Mf | ,297(*) | -0,064 |
| Volmac | ,404(**) | -,465(**) |
| Mc | 0,23 | -,324(**) |
| Intsup | ,336(**) | -,368(**) |
| Intnasal | ,390(**) | -,433(**) |
| Inttemp | ,321(**) | -,394(**) |
| Intinf | ,253(*) | -,333(**) |
| Extsup | ,363(**) | -,455(**) |
| Extnasal | ,309(*) | -,439(**) |
| Exttemp | ,442(**) | -,423(**) |
| Extinf | ,359(**) | -,414(**) |
| CFNRmedio | -0,002 | -0,232 |
| CFNRsup | -0,142 | -0,049 |
| CFNRinf | 0,137 | -,355(**) |
| CFNRnasal | -0,004 | -0,026 |
| CFNRtemp | 0,008 | -0,083 |
| DVert | ,262(*) | -,265(*) |
| Dhorizontal | 0,195 | -0,19 |
| expapila | -0,071 | ,320(**) |

Tabla 44. Correlaciones con la variable ES y LA. ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). *La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Se observa en la tabla (tabla 44) que la longitud axial deja de tener una correlación significativa con el Equivalente esférico (por lo que se podría asumir que no existe interrelación con la variables ES y LA). Sin embargo, en la segunda columna de la tabla, se aprecia que las mismas variables con correlación significativa con ES tienen una correlación significativa con LA, pero en esta ocasión indirectamente proporcional. Este resultado, junto a los obtenidos anteriormente (apartado de correlación del grupo control y el hipermetrope) nos hace pensar que longitud axial sigue manteniendo una asociación con el equivalente esférico aunque, al acotar el rango de valores del equivalente esférico, no se aprecie en esta tabla.

Al estudiar la correlación con la variable edad (Correlación de Spearman o de rangos) no existe una correlación significativa con la variable Equivalente esférico ni con el resto de variables, excepto con la variable longitud axial, de 0,388.

4.3.5. GRUPOS DE EDAD

4.3.5.1 Análisis descriptivo

Se clasificaron los ojos por edad de los pacientes en dos grupos, grupo de 5 a 8 años (ya que 8 años fue la mediana de edad en este estudio) y grupo de más de 8 años.

El grupo control de 5 a 8 años de edad quedó constituido por 51 ojos mientras que de 9 a 14 años se incluyeron 49 ojos (Tabla 45 y figuras 4.3.5.1-1 y 2).

En el grupo hipermetrope de 5 a 8 años se incluyeron 79 ojos mientras que de 9 a 14 años tan solo había 28 ojos (Tabla 45 y figuras 4.3.5.1-1 y 2.).

| | Total | Control | | Hipermetrope | |
|----------------|-------|---------|------|--------------|------|
| Total | 207 | 100 | 100% | 107 | 100% |
| De 5 a 8 años | 130 | 51 | 51% | 79 | 74% |
| De 9 a 14 años | 77 | 49 | 49% | 28 | 26% |

Tabla 45. Distribución de pacientes control e hipermétropes según grupos de edad.

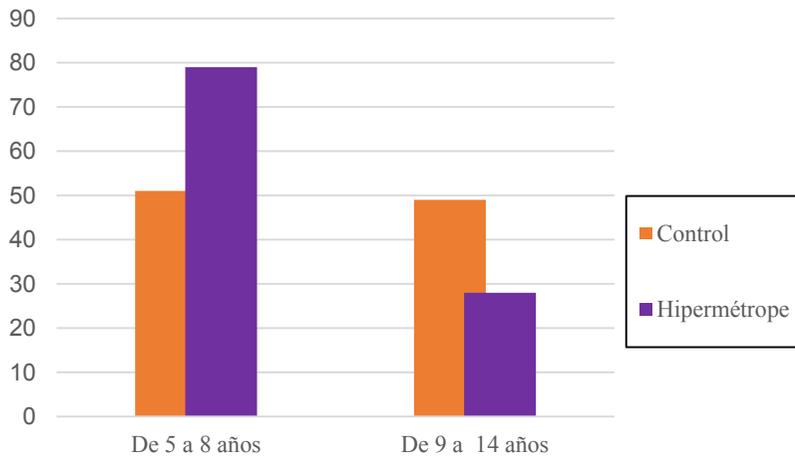


Figura 4.3.5.1-1 Distribución de pacientes control e hipermétropes según grupos de edad.

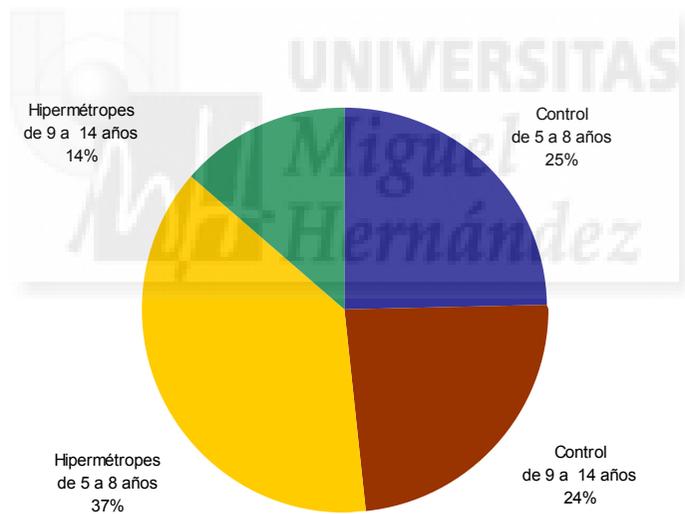


Figura 4.3.5.1-2 Distribución por grupos de edades y casos controles respecto a la totalidad de los datos.

En el grupo control de 5 a 8 años la media de equivalente esférico fue de 0.93 dioptrías y la longitud axial media fue de 22.66mm. Mientras que en el grupo hipermetrope de 5 a 8 años la media de equivalente esférico fue de 4.80 dioptrías y la longitud axial media fue de 21.26 mm (tabla 46).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|---------------|------|---------|--------|-------|------------|--------------|--------|-------|------------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
| De 5 a 8 años | ES | -0,81 | 2 | 0,93 | 0,75 | 2,5 | 8,87 | 4,80 | 1,79 |
| | Edad | 6 | 8 | 6,86 | 0,78 | 5 | 8 | 6,82 | 1,05 |
| | LA | 21,3 | 23,97 | 22,66 | 0,74 | 19,22 | 22,85 | 21,26 | 0,76 |

Tabla 46. Equivalente esférico (dioptrías), Edad (años) y Longitud axial (mm) en el grupo de 5 a 8 años tanto en controles como en hipermétropes.

En el grupo control de 9 a 14 años la media de equivalente esférico fue de 1.09 dioptrías y la longitud axial media fue de 22.59mm. Mientras que en el grupo hipermetrope de 8 a 14 años la media de equivalente esférico fue de 4.47 dioptrías y la longitud axial media fue de 21.57mm (tabla 47).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|----------------|------|---------|--------|-------|------------|--------------|--------|-------|------------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
| De 9 a 14 años | ES | -0,75 | 2,375 | 1,09 | 0,79 | 2,5 | 8,63 | 4,47 | 1,83 |
| | Edad | 9 | 14 | 10,22 | 1,50 | 9 | 13 | 10,14 | 1,08 |
| | LA | 21,05 | 23,98 | 22,59 | 0,82 | 20,16 | 22,8 | 21,57 | 0,75 |

Tabla 47. Equivalente esférico (dioptrías), Edad (años) y Longitud axial (mm) en el grupo de 8 a 14 años tanto en controles como en hipermétropes.

En cuanto al grosor macular, el grupo control de 5 a 8 años presentaba un grosor macular medio de 279.50 μ m mientras que el grosor macular medio en el grupo hipermetrope de la misma edad fue de 287.33 μ m. El resto de grosores queda reflejado en la siguiente tabla (tabla 48).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|---------------|-----------|---------|--------|--------|------------|--------------|--------|--------|------------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
| De 5 a 8 años | gmm | 257,2 | 305,8 | 279,50 | 11,90 | 250,4 | 382,8 | 287,33 | 18,67 |
| | mf | 161 | 226 | 186,92 | 16,53 | 149 | 247 | 181,30 | 19,87 |
| | volmac | 7,27 | 8,65 | 7,90 | 0,34 | 7,06 | 9,18 | 8,07 | 0,44 |
| | mc | 205 | 264 | 235,20 | 17,27 | 179 | 337 | 247,95 | 32,72 |
| | intsup | 269 | 335 | 309,45 | 13,23 | 262 | 354 | 309,42 | 18,86 |
| | intnasal | 293 | 337 | 309,35 | 10,91 | 268 | 348 | 312,77 | 17,33 |
| | inttemp | 271 | 391 | 295,55 | 18,99 | 253 | 331 | 292,43 | 17,67 |
| | intinf | 261 | 332 | 300,76 | 13,72 | 247 | 345 | 300,05 | 21,82 |
| | extsup | 251 | 309 | 275,16 | 13,17 | 251 | 323 | 283,27 | 16,76 |
| | extrnasal | 241 | 322 | 288,29 | 15,78 | 263 | 339 | 296,75 | 16,21 |
| | exttemp | 236 | 295 | 261,41 | 13,74 | 232 | 301 | 268,72 | 17,26 |
| | extinf | 238 | 313 | 270,63 | 15,74 | 238 | 327 | 280,51 | 19,31 |

Tabla 48. Grosos maculares (μ m) y volumen macular (mm^3) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 5 a 8 años.

El grosor macular medio del grupo control de 9 a 14 años fue de 279.26 μm mientras que el grosor macular medio en el grupo hipermetrope de la misma edad fue de 286.48 μm . El resto de grosores queda reflejado en la siguiente tabla (tabla 49).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|----------------|----------|---------|--------|--------|----------|--------------|--------|--------|----------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv tip | Mínimo | Máximo | Media | Desv tip |
| De 9 a 14 años | gmm | 252,8 | 304,7 | 279,26 | 12,79 | 251,8 | 308,2 | 286,48 | 14,56 |
| | mf | 150 | 247 | 183,63 | 19,36 | 166 | 228 | 184,00 | 14,19 |
| | volmac | 7,15 | 8,62 | 7,89 | 0,36 | 7,12 | 8,71 | 8,11 | 0,41 |
| | mc | 195 | 317 | 243,24 | 26,82 | 212 | 289 | 245,96 | 20,65 |
| | intsup | 280 | 350 | 311,06 | 14,87 | 279 | 345 | 315,18 | 16,80 |
| | intnasal | 286 | 343 | 311,33 | 14,22 | 283 | 342 | 315,89 | 15,23 |
| | inttemp | 265 | 319 | 294,20 | 13,03 | 253 | 322 | 292,54 | 17,10 |
| | intinf | 274 | 330 | 303,37 | 13,45 | 271 | 333 | 302,79 | 17,59 |
| | extsup | 233 | 304 | 275,08 | 15,87 | 251 | 312 | 281,64 | 17,27 |
| | extnasal | 260 | 322 | 289,04 | 16,09 | 262 | 322 | 297,71 | 15,27 |
| | exttemp | 233 | 294 | 259,92 | 14,39 | 235 | 296 | 269,86 | 16,98 |
| | extinf | 244 | 304 | 268,20 | 14,37 | 240 | 314 | 280,79 | 16,26 |

Tabla 49. Grosores maculares (μm) y volumen macular (mm^3) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 9 a 14 años.

En lo que se refiere al grosor de la CFNR, el grupo control de 5 a 8 años presentaba un grosor medio de 106.18 μm mientras que el grupo hipermetrope en el mismo rango de edad presentaba un grosor medio de la CFNR de 112.54 μm (tabla 50).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|---------------|-----------|---------|--------|--------|------------|--------------|--------|--------|------------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. |
| De 5 a 8 años | CFNRmedio | 94 | 123 | 106,18 | 8,74 | 93 | 136 | 112,54 | 10,04 |
| | CFNRsup | 106 | 162 | 129,51 | 12,56 | 104 | 174 | 131,92 | 14,89 |
| | CFNRinf | 101 | 161 | 134,45 | 15,87 | 101 | 186 | 142,13 | 18,47 |
| | CFNRnasal | 56 | 108 | 82,43 | 12,38 | 59 | 177 | 96,10 | 18,44 |
| | CFNRtemp | 62 | 105 | 78,65 | 10,18 | 56 | 124 | 81,53 | 12,35 |

Tabla 50. Grosor de CFNR (en μm) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 5 a 8 años.

El grosor medio de la CFNR, en el grupo control de 9 a 14 años, fue de $103.16\mu\text{m}$ mientras que el grupo hipermetrope en el mismo rango de edad presentaba un grosor medio de la CFNR de $110.04 \mu\text{m}$ (tabla 51).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|----------------|-----------|---------|--------|--------|----------|--------------|--------|--------|----------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv típ | Mínimo | Máximo | Media | Desv típ |
| De 9 a 14 años | CFNRmedio | 78 | 125 | 103,16 | 10,32 | 98 | 130 | 110,04 | 8,06 |
| | CFNRsup | 96 | 147 | 123,47 | 13,04 | 94 | 163 | 129,89 | 15,63 |
| | CFNRinf | 95 | 158 | 128,27 | 15,78 | 112 | 169 | 134,46 | 14,45 |
| | CFNRnasal | 60 | 119 | 83,04 | 13,99 | 72 | 129 | 97,64 | 12,90 |
| | CFNRtemp | 50 | 105 | 77,82 | 12,96 | 65 | 98 | 78,11 | 8,43 |

Tabla 51. CFNR (en μm) tanto del grupo control como en el hipermetrope en el rango de edad de 9 a 14 años.

Las características de la cabeza del nervio óptico en el grupo de 5 a 8 años tanto para pacientes control e hipermétropes se muestran en la siguiente tabla (tabla 52).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|---------------|-------------|---------|--------|-------|----------|--------------|--------|-------|----------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv típ | Mínimo | Máximo | Media | Desv típ |
| De 5 a 8 años | DVert | 1,37 | 2,25 | 1,95 | 0,18 | 1,45 | 3 | 2,07 | 0,24 |
| | Dhorizontal | 1,36 | 2,2 | 1,74 | 0,19 | 1,45 | 2,72 | 1,86 | 0,23 |
| | expapila | 0 | 0,46 | 0,24 | 0,11 | 0 | 0,45 | 0,11 | 0,12 |

Tabla 52. Características papilares en ambos grupos en el rango de edad de 5 a 8 años.

Las características de la cabeza del nervio óptico en el grupo de 9 a 14 años tanto para pacientes control e hipermétropes se muestran en la siguiente tabla (tabla 53).

| | | Control | | | | Hipermetrope | | | |
|----------------|-------------|---------|--------|-------|----------|--------------|--------|-------|----------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | Desv típ | Mínimo | Máximo | Media | Desv típ |
| De 9 a 14 años | DVert | 1,02 | 2,39 | 1,90 | 0,22 | 1,73 | 2,39 | 2,01 | 0,15 |
| | Dhorizontal | 1,38 | 2,16 | 1,72 | 0,18 | 1,42 | 2,17 | 1,81 | 0,17 |
| | expapila | 0 | 0,47 | 0,20 | 0,15 | 0 | 0,39 | 0,13 | 0,12 |

Tabla 53. Características papilares en ambos grupos en el rango de edad de 9 a 14 años.

4.3.5.2. Normalidad

Tenemos que tener en cuenta que el grupo de hipermétropes de 9 a 14 años solo consta de 28 sujetos, por lo que para evaluar la normalidad de sus datos utilizaremos la prueba de Shapiro-Wilks, ya que está considerada como la prueba más potente de evaluación de normalidad para muestra inferiores a 30 casos. Para el resto de grupos seguiremos utilizando el test de Kolmogorov-Smirnov. En la siguiente tabla se muestra la significación de los respectivos test de ajuste de normalidad.

| | De 5 a 8 años | | | | De 9 a 14 años | | | |
|-------------|---------------|----|--------------|---------------|----------------|----|--------------|---------------|
| | Control | | Hipermetrope | | Control | | Hipermetrope | |
| Frecuencia | 51 | | 79 | | 49 | | 28 | |
| LA | 0,424 | Ns | 0,555 | Ns | 0,403 | Ns | 0,364 | Ns |
| gmm | 0,878 | Ns | 0,469 | Ns | 0,951 | Ns | 0,141 | Ns |
| mf | 0,233 | Ns | 0,279 | Ns | 0,064 | Ns | 0,001 | Significativo |
| volmac | 0,899 | Ns | 0,917 | Ns | 0,915 | Ns | 0,154 | Ns |
| mc | 0,387 | Ns | 0,189 | Ns | 0,705 | Ns | 0,177 | Ns |
| intsup | 0,490 | Ns | 0,653 | Ns | 0,821 | Ns | 0,714 | Ns |
| intnasal | 0,147 | Ns | 0,811 | Ns | 0,925 | Ns | 0,580 | Ns |
| inttemp | 0,339 | Ns | 0,703 | Ns | 0,863 | Ns | 0,857 | Ns |
| intinf | 0,794 | Ns | 0,732 | Ns | 0,962 | Ns | 0,681 | Ns |
| extsup | 0,791 | Ns | 0,520 | Ns | 0,954 | Ns | 0,408 | Ns |
| extrnasal | 0,995 | Ns | 0,740 | Ns | 0,601 | Ns | 0,479 | Ns |
| exttemp | 0,605 | Ns | 0,963 | Ns | 0,985 | Ns | 0,081 | Ns |
| extinf | 0,337 | Ns | 0,364 | Ns | 0,884 | Ns | 0,157 | Ns |
| CFNRmedio | 0,336 | Ns | 0,809 | Ns | 0,929 | Ns | 0,447 | Ns |
| CFNRsup | 0,967 | Ns | 0,903 | Ns | 0,979 | Ns | 0,998 | Ns |
| CFNRinf | 0,688 | Ns | 0,908 | Ns | 0,930 | Ns | 0,170 | Ns |
| CFNRnasal | 0,934 | Ns | 0,687 | Ns | 0,987 | Ns | 0,181 | Ns |
| CFNRtemp | 0,562 | Ns | 0,795 | Ns | 0,822 | Ns | 0,181 | Ns |
| DVert | 0,652 | Ns | 0,100 | Ns | 0,146 | Ns | 0,352 | Ns |
| Dhorizontal | 0,297 | Ns | 0,250 | Ns | 0,942 | Ns | 0,850 | Ns |
| expapila | 0,723 | Ns | 0,022 | Significativo | 0,079 | Ns | 0,004 | Significativo |

Tabla 54. Significación de los test de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilks para las variables en los grupos de edad. Ns: no significativo.

Se observa que en general se repite el mismo esquema que en los anteriores casos sin segmentación por edad, es decir, predomina la normalidad, excepto en la variable excavación papilar para los grupos hipermétropes. La única diferencia está en que el mínimo foveal que antes no presentaba normalidad en el caso control y sí en el hipermetrope, ahora es estadísticamente significativa en el caso de Hipermétropes de 9 a 14 años y no en el resto. Debido a este resultado se puede pensar que el mínimo foveal realmente es una variable que no proviene de una distribución gaussiana por lo que para la comparación entre poblaciones se utilizará tanto la t-Student como la U de Mann-Whitney.



4.4. CONTRASTE DE MEDIAS

Tras todos los preámbulos, que indican los análisis estadísticos adecuados y ayudan a interpretar correctamente los resultados que se obtengan, se van ahora a analizar las medias de los sectores retinianos de los grupos creados para estudiar la hipótesis y los objetivos del trabajo.

4.4.1 COMPARACIÓN ENTRE GRUPO CONTROL Y GRUPO HIPERMÉTROPE

A continuación se comprobará si existen diferencias entre el grupo control y el hipermetrope para las distintas variables de estudio. Para las variables normales se realizará un contraste t-student dependiendo de la significación de la prueba de Levene mientras que para el resto se utilizara el test U de Mann-Whitney.

4.4.1.1 Según sexo

Existen diferencias significativas en cuanto a la longitud axial entre niños y niñas, tanto en el grupo control como en el hipermetrope, siendo la media de longitud axial en niños mayor que en niñas. Sin embargo no hay diferencias significativas con respecto al equivalente esférico en los dos grupos entre niños y niñas.

En cuanto al grosor macular la única variable significativa es el mínimo foveal siendo el grosor mínimo foveal menor en niñas en los dos grupos.

En lo que se refiere al grosor de la CFNR no existen diferencias significativas.

Tampoco existen diferencias estadísticamente significativas en las características del nervio óptico según sexos.

| | HIPERMÉTROPE | | | | CONTROL | | | |
|---------------------|--------------|----|-------------------|----|-----------|----|-------------------|----|
| | T-Student | | U de Mann-Whitney | | T-Student | | U de Mann-Whitney | |
| longitud axial | ,007 | Ms | - | | ,000 | Ms | - | |
| ES | ,846 | Ns | | | ,691 | Ns | | |
| gmm | ,353 | Ns | - | | ,068 | Ns | - | |
| mínimo foveal | | | ,006 | Ms | ,016 | | ,003 | Ms |
| vol mac | ,677 | Ns | - | | ,073 | Ns | - | |
| macula central | ,442 | Ns | - | | ,562 | Ns | - | |
| intsup | ,158 | Ns | - | | ,093 | Ns | - | |
| intnasal | ,514 | Ns | - | | ,607 | Ns | - | |
| inttemp | ,200 | Ns | - | | ,515 | Ns | - | |
| intinf | ,167 | Ns | - | | ,516 | Ns | - | |
| extsup | ,480 | Ns | - | | ,075 | Ns | - | |
| extnasal | ,215 | Ns | - | | ,068 | Ns | - | |
| exttemp | ,811 | Ns | - | | ,087 | Ns | - | |
| extinf | ,665 | Ns | - | | ,041 | Ns | - | |
| CFNRmedio | ,723 | Ns | - | | ,581 | Ns | - | |
| CFNRsup | ,484 | Ns | - | | ,208 | Ns | - | |
| CFNRinf | ,758 | Ns | - | | ,531 | Ns | - | |
| CFNRnasal | ,056 | Ns | - | | ,679 | Ns | - | |
| CFNRtemp | ,737 | Ns | - | | ,805 | Ns | - | |
| díametro vertical | ,392 | Ns | - | | ,987 | Ns | - | |
| díametro horizontal | ,178 | Ns | | | ,110 | Ns | - | |
| excavación | - | | ,525 | Ns | | | ,088 | Ns |

Tabla 55. T- Student y U de Mann-Whitney para las variables en el grupo control e hipermetrope según sexo. Ns: no significativo. Ms : muy significativo

4.4.1.2 Longitud axial

Existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la longitud axial en cada grupo siendo ésta menor en el grupo hipermetrope ($p < 0.001$) (tabla 56).

4.4.1.3 Grosor macular

Se observa que en el grosor macular las diferencias entre el grupo control y el hipermetrope se aprecian en la mácula central y el anillo exterior donde el grupo hipermetrope tiene una media mayor (tabla 56 y figura 4.4.1.3-1).

| | Contraste de 2 muestras independientes / diferencias entre control e hipermetrope | | | |
|----------|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| | t-Student | | U de Mann-Whitney | |
| Edad | - | | 0.006 | muy significativo |
| LA | 0.000 | muy significativo | - | |
| gmm | 0.000 | muy significativo | - | |
| mf | - | | 0.112 | No significativo |
| volmac | 0.001 | muy significativo | - | |
| mc | 0.027 | significativo | - | |
| intsup | 0.765 | No significativo | - | |
| intnasal | 0.117 | No significativo | - | |
| inttemp | 0.302 | No significativo | - | |
| intinf | 0.605 | No significativo | - | |
| extsup | 0.001 | muy significativo | - | |
| extnasal | 0.000 | muy significativo | - | |
| exttemp | 0.000 | muy significativo | - | |
| extinf | 0.000 | muy significativo | - | |

Tabla 56. T-Student y U de Mann-Whitney para las variables de grosor macular.

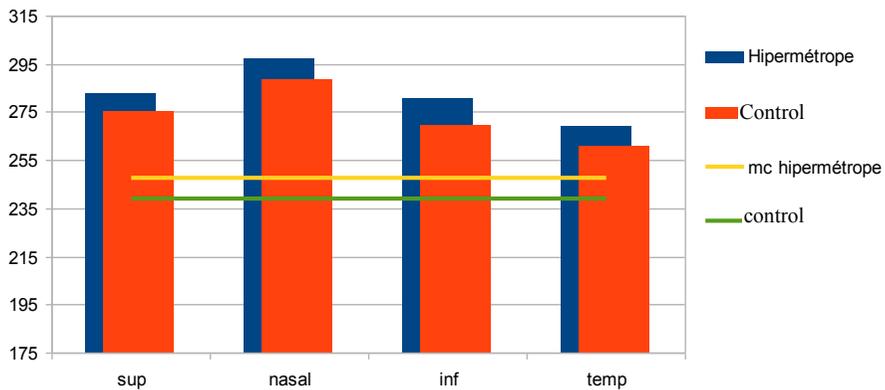


Figura 4.4.1.3-1 Comparación del grosor medio (μm) del anillo exterior y mácula central entre grupos.

4.4.1.4. Grosor de la CFNR Peripapilar

En cuanto al contraste de las medias de grosor en los distintos cuadrantes papilares, destaca que en el sector temporal no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos, mientras en el resto de los cuadrantes sí que se objetiva que el grosor en paciente hipermétropes es significativamente mayor (tabla 57 y figura 4.4.1.4-1).

| | Contraste de 2 muestras independientes / diferencias entre grupos | | |
|-----------|--|-------------------|---|
| | T-Student | U de Mann-Whitney | |
| CFNRmedio | 0.000 | muy significativo | - |
| CFNRsup | 0.015 | significativo | - |
| CFNRinf | 0.000 | muy significativo | - |
| CFNRnasal | 0.000 | muy significativo | - |
| CFNRtemp | 0.13 | No significativo | - |

Tabla 57. T-Student para CFNR en ambos grupos.

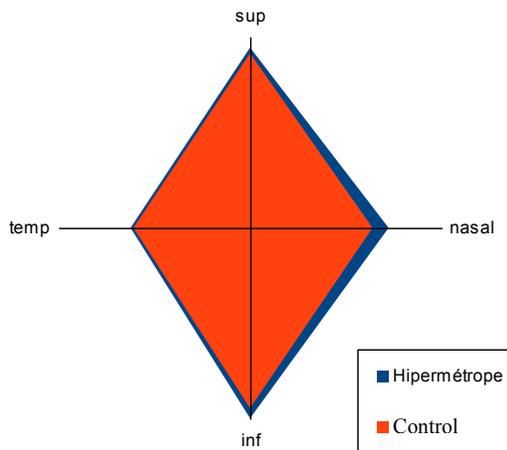


Figura 4.4.1.4-1 CFNR entre grupos.

4.4.1.5. Características de la cabeza del nervio óptico

En cuanto a las características papilares, se observan diferencias estadísticamente muy significativas tanto en los diámetros papilares como en la media de excavación (tabla 58 y figura 4.4.1.5-1). Siendo de media la papila más grande en el grupo hipermetrope pero con menor excavación papilar.

| | Contraste de 2 muestras independientes / diferencias entre grupos | | | |
|-------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| | t-Student | | U de Mann-Whitney | |
| DVert | ,000 | muy significativo | | - |
| Dhorizontal | ,000 | muy significativo | | - |
| excavación | | - | ,000 | muy significativo |

Tabla 58. Comparación de las características de la cabeza del nervio óptico entre grupo control e hipermétropes.

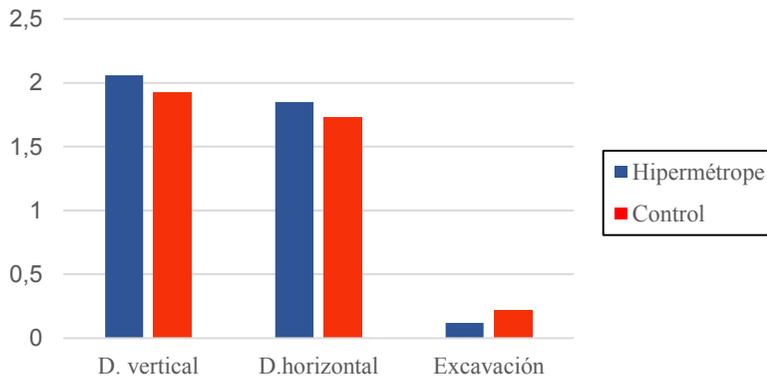
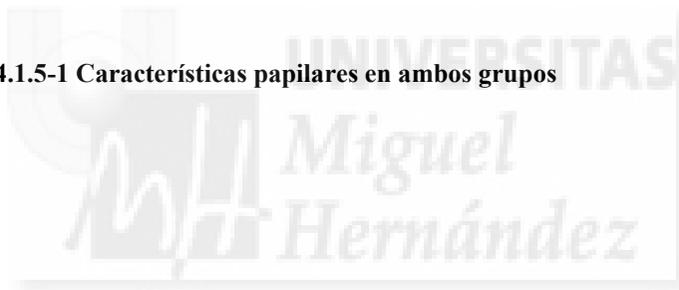


Figura 4.4.1.5-1 Características papilares en ambos grupos



4.4.2. COMPARACIÓN ENTRE GRUPO HIPERMÉTROPE1 Y GRUPO CONTROL1 (estudiando un ojo de cada paciente)

Se realizó el contraste de medias mediante T-Student dependiendo de la significación de la prueba de Levene para las variables con distribución normal y el test de U de Mann-Whitney para las que no seguían una distribución normal.

4.4.2.1. Longitud axial

Se aprecia diferencia estadísticamente significativa en la longitud axial de cada grupo, siendo ésta menor en el grupo hipermetrope.

4.4.2.2. Grosor macular

Al igual que en el contraste de medias para los grupos hipermetrope y control sin corregir, los grosores del anillo interno del ETDRS no son significativos, sin embargo sí que lo son los grosores del anillo externo y la mácula central (tabla 59, figura 4.4.2.2-1).

| Contraste de 2 muestras independientes / diferencias entre grupos corregidos | | | | |
|---|-----------|-------------------|-------------------|------------------|
| | t-Student | | U de Mann-Whitney | |
| Edad | | | 0.07 | significativo |
| LA | 0.000 | muy significativo | - | |
| gmm | 0.014 | significativo | - | |
| mf | - | | 0.175 | No significativo |
| volmac | 0.014 | significativo | - | |
| mc | 0.050 | significativo | - | |
| intsup | 0.804 | No significativo | - | |
| intnasal | 0.371 | No significativo | - | |
| inttemp | 0.585 | No significativo | - | |
| intinf | 0.535 | No significativo | - | |
| extsup | 0.032 | significativo | - | |
| extnasal | 0.004 | muy significativo | - | |
| exttemp | 0.008 | muy significativo | - | |
| extinf | 0.000 | muy significativo | - | |

Tabla 59. Contraste de las dos muestras Hipermétrope1 y Control1 con t-Student y U de mann-Whitney.

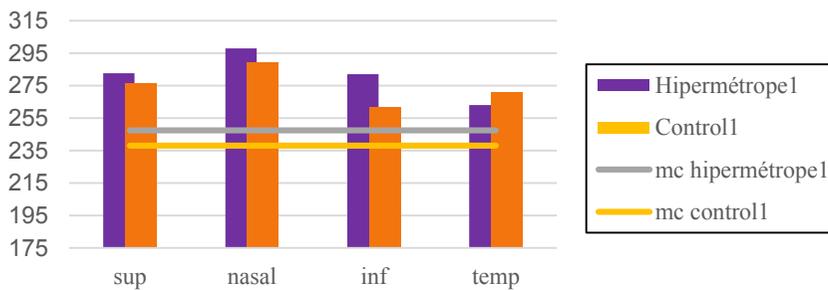


Figura 4.4.2.2-1 Comparación del grosor medio (μm) del anillo exterior y mácula central entre grupos

4.4.2.3. Grosor de la CFNR

En cuanto al grosor de la CFNR medio y de los distintos cuadrantes peripapilares, observamos una distribución similar de las medias de grosor excepto que, esta vez, la diferencia entre las dos muestras en cuanto al cuadrante superior, mínima entre los grupos sin corregir, no es significativa en los grupos corregidos (estudiando solo un ojo de cada paciente) (tabla 60 y figura 4.4.2.3-1)

| | Contraste de 2 muestras independientes / diferencias entre grupos corregidos | | |
|-----------|---|-------------------|---|
| | T-Student | U de Mann-Whitney | |
| CFNRmedio | 0.001 | muy significativo | - |
| CFNRsup | 0.277 | No significativo | - |
| CFNRinf | 0.010 | significativo | - |
| CFNRnasal | 0.000 | Muy significativo | - |
| CFNRtemp | 0.267 | No significativo | - |

Tabla 60. T-Student para CFNR en ambos grupos.

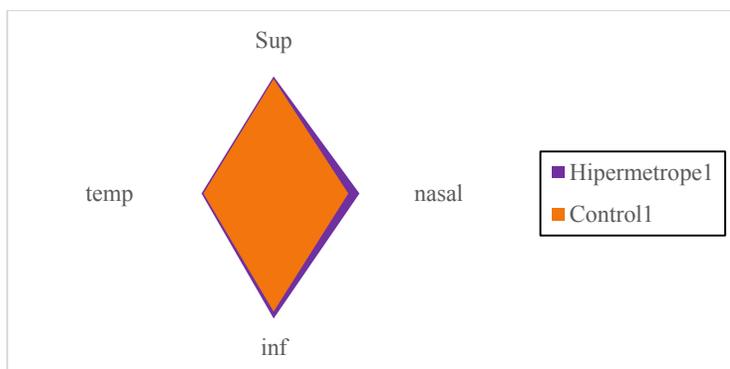


Figura 4.4.2.3-1 CFNR entre grupos corregidos.

4.4.2.4 Características de la cabeza del nervio óptico

En lo referente a las características del nervio óptico encontramos diferencias estadísticamente significativas en las tres variables, siendo, al igual que en la comparación del grupo control e hipermetrope, la media de tamaño papilar mayor en el grupo hipermetrope1 y la media de excavación mayor en el grupo control1 (tabla 61 y figura 4.4.2.4-1).

| Contraste de 2 muestras independientes / diferencias entre control1 e hipermetrope1 | | | | |
|--|-----------|---------------|-------------------|-------------------|
| | t-Student | | U de Mann-Whitney | |
| DVert | 0.017 | significativo | - | |
| Dhorizontal | 0.022 | significativo | - | |
| excavación | | - | 0.00 | muy significativo |

Tabla 61. Comparación de las características de la cabeza del nervio óptico entre grupo control 1 e hipermetrope1.

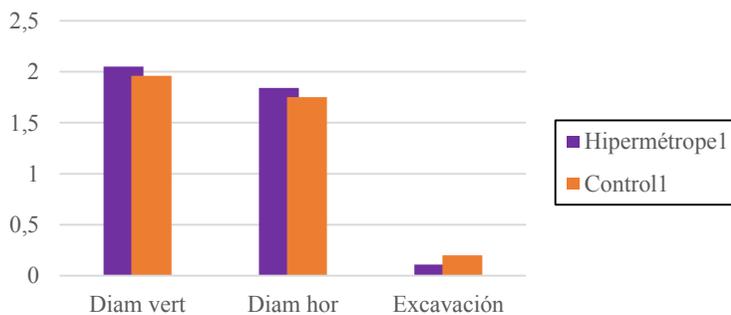
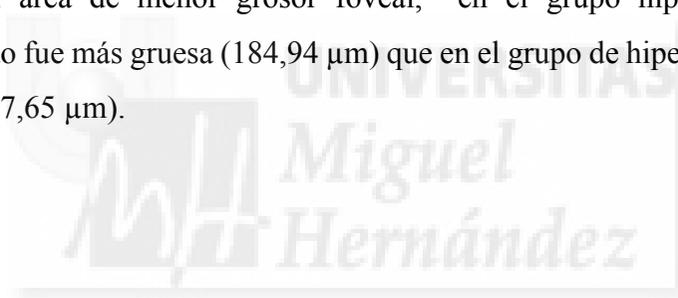


Figura 4.4.2.4-1 Características papilares en ambos grupos.

4.4.3. COMPARACIÓN ENTRE HIPERMÉTROPES MODERADOS Y ALTOS

En la comparación de los dos subgrupos hipermétropes no se encontró ninguna diferencia significativa salvo en la longitud axial y mínimo foveal (tabla 62).

La media de longitud axial era significativamente menor en el grupo de hipermétropes altos (20.84 mm) en comparación con la del grupo de hipermétropes moderados (21.67mm). El mínimo foveal, es decir, el área de menor grosor foveal, en el grupo hipermetrope moderado fue más gruesa (184,94 μm) que en el grupo de hipermétropes altos (177,65 μm).



| | T-Student | |
|----------------------|-----------|-------------------|
| | | |
| longitud axial | 0.000 | Muy significativo |
| grosor macular medio | 0.53 | No significativo |
| Volumen macular | 0.913 | No significativo |
| Mín foveal | 0.045 | significativo |
| macula central | 0.361 | No significativo |
| intsup | 0.850 | No significativo |
| intnasal | 0.984 | No significativo |
| inttemp | 0.286 | No significativo |
| intinf | 0.167 | No significativo |
| extsup | 0.682 | No significativo |
| extnasal | 0.649 | No significativo |
| exttemp | 0.730 | No significativo |
| extinf | 0.477 | No significativo |
| CFNR medio | 0.415 | No significativo |
| CFNR superior | 0.474 | No significativo |
| CFNR inferior | 0.185 | No significativo |
| CFNR nasal | 0.376 | No significativo |
| CFNR temporal | 0.937 | No significativo |
| D vertical | 0.057 | No significativo |
| D horizontal | 0.117 | No significativo |
| Excavación | 0.895 | No significativo |

Tabla 62. Comparación de medias con T-Student entre los grupos hipermétropes.

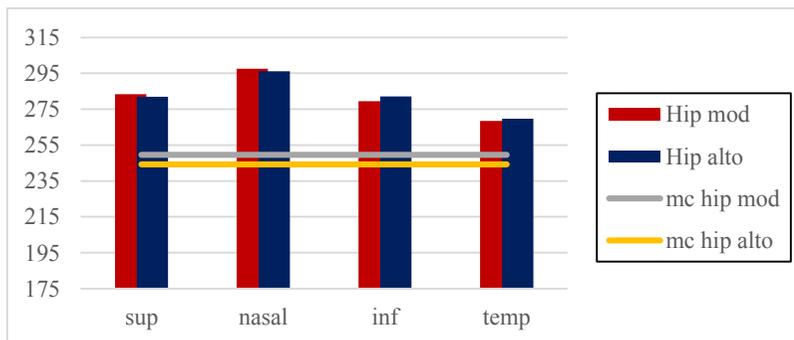


Figura 4.4.3-1 Comparación de los grosores maculares en los sectores externos y mácula central (µm)

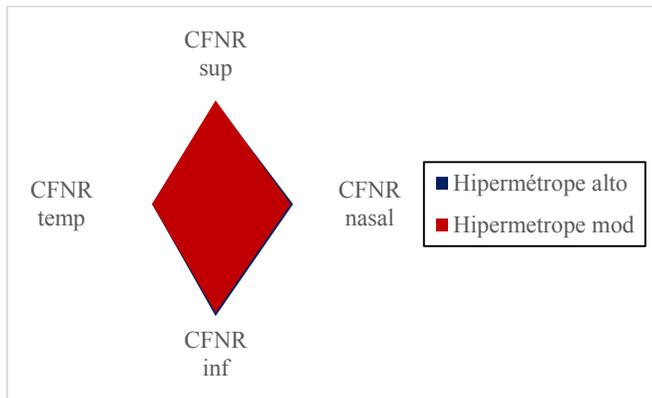


Figura 4.4.3-2 Comparación de los grosores de la CFNR entre los grupos según grado de hipermetropía

Se puede observar en las figuras 4.4.3-1, 2 y 3 que no existen diferencias significativas entre los dos grupos en cuanto a los grosores maculares, de la CFNR ni parámetros papilares

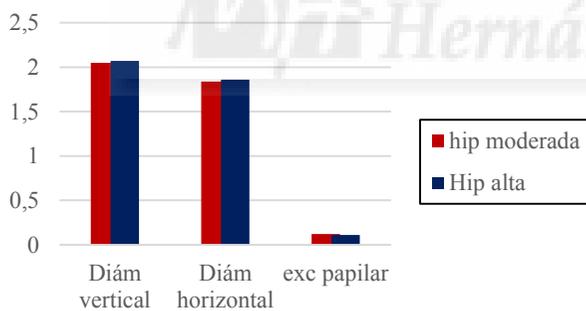


Figura 4.4.3-3 Comparación de los parámetros papilares entre los grupos según grado de hipermetropía

4.4.4 COMPARACIÓN SEGÚN GRUPOS DE EDAD

Se realizó el contraste de medias mediante T-Student dependiendo de la significación de la prueba de Levene para las variables con distribución normal y el test de U de Mann-Whitney para las que no seguían una distribución normal (tabla 63).

4.4.4.1 Longitud axial

En cuanto a la media de la longitud axial, existe una diferencia muy significativa entre los grupos hipermetrope y control tanto en el rango de edad de 5 a 8 años como en el de 9 a 14 años, siempre siendo menor la media de longitud axial en el grupo hipermetrope.

4.4.4.2. Grosor macular

Al igual que en las comparaciones anteriores, existen diferencias significativas entre el grupo control de 5 a 8 años y el grupo hipermetrope de la misma edad tanto en el grosor macular medio, volumen macular, mácula central como en todos los sectores del anillo externo. Siendo las diferencias en el grosor mínimo foveal y los grosores del anillo interno no significativas (tabla 63).

| | De 5 a 8 años | | De 9 a 14 años | |
|----------|---------------|------------------|----------------|------------------|
| LA | 0,000 | Significativo | 0,000 | Significativo |
| gmm | 0,004 | Significativo | 0,026 | Significativo |
| mf | 0,031* | No significativo | 0,648* | No significativo |
| volmac | 0,014 | Significativo | 0,019 | Significativo |
| mc | 0,004 | Significativo | 0,644 | No significativo |
| intsup | 0,991 | No significativo | 0,268 | No significativo |
| intnasal | 0,170 | No significativo | 0,191 | No significativo |
| inttemp | 0,342 | No significativo | 0,632 | No significativo |
| intinf | 0,819 | No significativo | 0,871 | No significativo |
| extsup | 0,003 | Significativo | 0,095 | No significativo |
| extnasal | 0,004 | Significativo | 0,023 | Significativo |
| exttemp | 0,009 | Significativo | 0,008 | Significativo |
| extinf | 0,003 | Significativo | 0,001 | Significativo |

Tabla 63. Significación de T-Student y U de Mann-Whitney (resultados con *) entre los grupos hipermetrope y control según rango de edad para las medias de grosor macular.

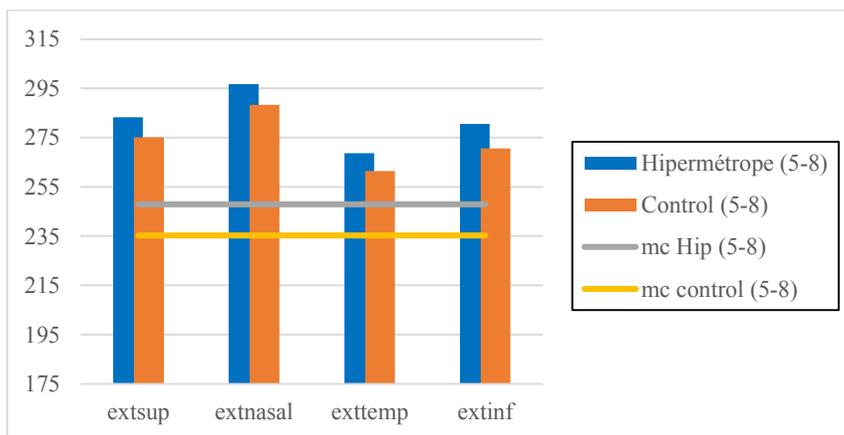


Figura 4.4.4.2-1 Grosos maculares central y de los sectores externos (µm) de los dos grupos en el rango de edad 5-8 años.

Con respecto al rango de edad de 9 a 14 años, existen diferencias estadísticamente significativas en el grosor macular medio y volumen macular de los dos grupos, sin embargo el grosor macular central y el grosor del sector superior del anillo externo pierden la significación estadística. Esto puede ser debido al bajo número de sujetos que hay en grupo de hipermétropes (n=28) o simplemente que estas variables están más asociadas al valor de la edad.

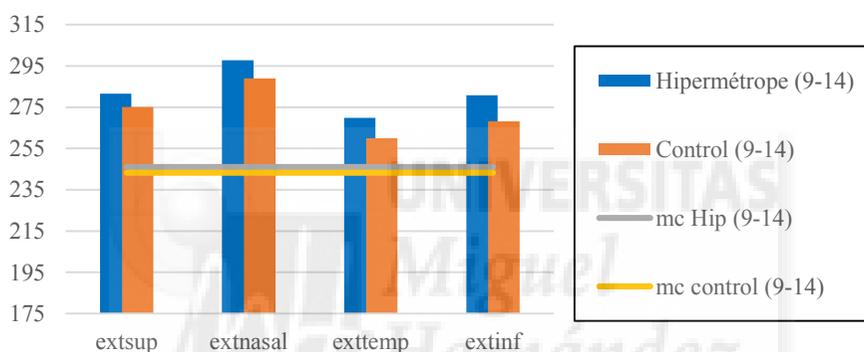


Figura 4.4.4.2-2 Grosos maculares central y de los sectores externos (μm) de los dos grupos en el rango de edad 9-14 años.

4.4.4.3. Grosor de la CFNR

En el rango de edad de 5 a 8 años existe diferencia estadísticamente significativa entre los grosos medios de la CFNR, el cuadrante inferior y el nasal del grupo control y del hipermetrope. Sin embargo la diferencia entre el cuadrante superior de ambos grupos, al igual que ocurría en los grupos corregidos, pierde significación estadística (tabla 64).

| | De 5 a 8 años | | De 9 a 14 años | |
|-----------|---------------|------------------|----------------|------------------|
| CFNRmedio | 0,000 | Significativo | 0,003 | Significativo |
| CFNRsup | 0,340 | No significativo | 0,057 | No significativo |
| CFNRinf | 0,016 | Significativo | 0,092 | No significativo |
| CFNRnasal | 0,000 | Significativo | 0,000 | Significativo |
| CFNRtemp | 0,167 | No significativo | 0,906 | No significativo |

Tabla 64. Significación de T-Student entre los grupos hipermetrope y control según rango de edad para las medias de grosor de la CFNR.

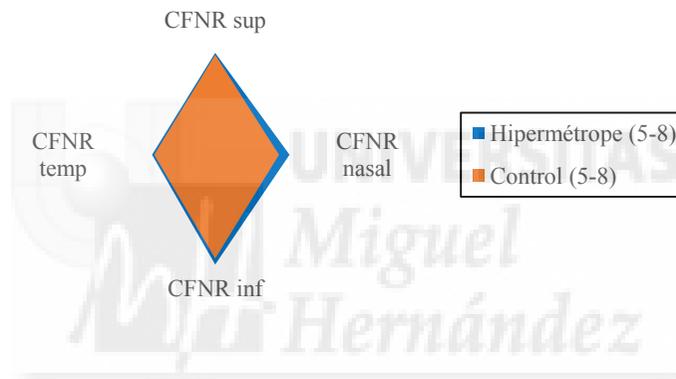


Figura 4.4.4.3-1 Comparación de los grosores de la CFNR entre los grupos en edades de 5 a 8 años.

En el rango de edad de 9 a 14 años, además, la diferencia entre los grosores del cuadrante inferior de ambos grupos también pierde significación estadística. Una vez más, esto podría deberse a que en el grupo hipermetrope, en este rango de edad, tan solo se incluyen 28 ojos.

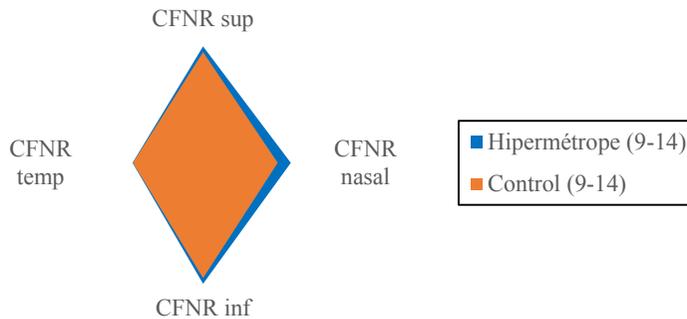


Figura 4.4.4.3-2 Comparación de los grosores de la CFNR entre los grupos en edades de 9 a 14 años.

4.4.4.4. Características de la cabeza del nervio óptico

En cuanto a las características de la cabeza del nervio óptico en el grupo de 5 a 8 años, existen, al igual que en la comparaciones anteriores diferencias significativas entre los dos grupos. Resultando ser, como en los análisis anteriores, el tamaño medio papilar en el grupo hipermetrope mayor y la excavación media en el grupo hipermetrope, menor.

| | De 5 a 8 años | | De 9 a 14 años | |
|-------------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| DVert | 0,002 | Significativo | 0,029 | Significativo |
| Dhorizontal | 0,002 | Significativo | 0,032 | Significativo |
| expapila | 0,000* | Significativo | 0,052* | No significativo |

Tabla 65. Significación de T-Student y U de Mann-Whitney (resultados con *) entre los grupos hipermetrope y control según rango de edad para las características papilares.

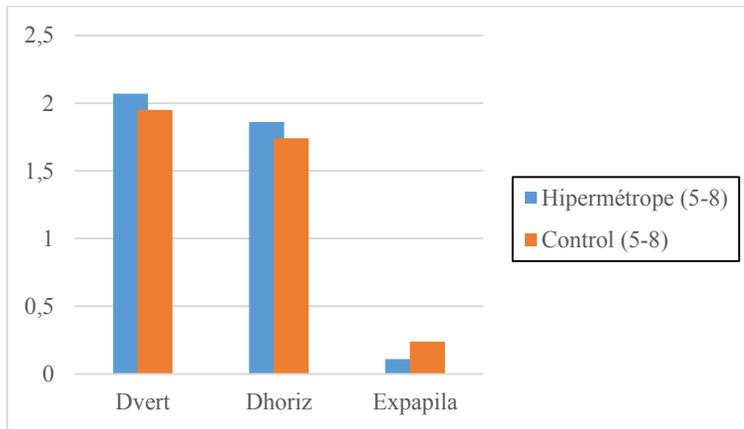


Figura 4.4.4.4-1 Características papilares en ambos grupos en edades de 5 a 8 años.

Esto se repite también en el rango de 9 a 14 años aunque en esta ocasión se pierde significación estadística en la variable excavación papilar, probablemente debido al tamaño muestral (nótese que el valor está muy próximo a la significación estadística).

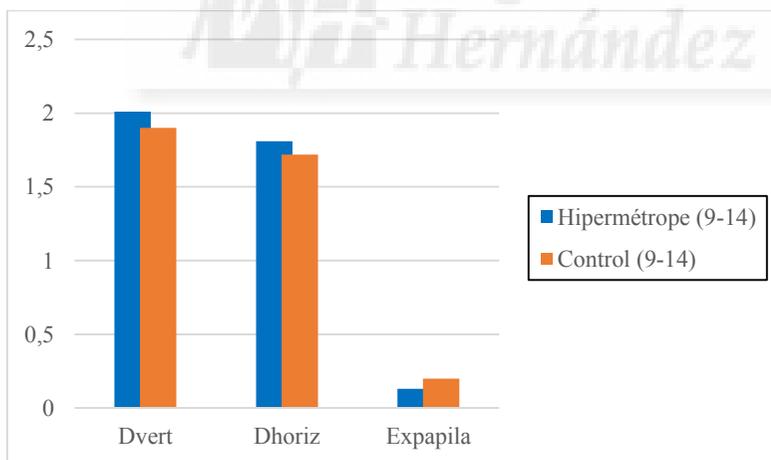


Figura 4.4.4.4-2 Características papilares en ambos grupos, en edades de 9 a 14 años.

Por otro lado, también se han realizado comparaciones dentro de cada grupo control-hipermétrope por edad, es decir, dentro del grupo control se comparan los de 8 años o menos con el resto y lo mismo en el grupo hipermetrope. El resultado obtenido es no significativo excepto en la CNFR peripapilar del cuadrante superior (más grueso en los niños de menor edad) para el grupo control y la CNFR en el sector inferior para el grupo hipermetrope (más grueso en los niños de menor edad). Esto indica que el resto de variables no presentan diferencias estadísticamente a la hora de cambiar de grupo de edad. Pero igual que antes el bajo tamaño de la muestra puede condicionar el resultado del análisis.



5. DISCUSIÓN



Se ha llevado a cabo un estudio observacional, prospectivo y transversal de casos y controles para analizar estructuralmente la mácula y la papila de niños hipermétropes con OCT, comparando los resultados con población pediátrica emétrope.

La Tomografía de coherencia óptica, cuyas siglas en inglés son OCT, es una técnica diagnóstica de enorme importancia en oftalmología. Esta técnica tiene la capacidad de obtener imágenes de la retina y nervio óptico de forma rápida y no invasiva por lo que es casi indispensable en el diagnóstico, seguimiento y tratamiento de muchas patologías retinianas y neurooftalmológicas.

La OCT de dominio espectral, tomografía de coherencia óptica de última generación, nos proporciona mejor resolución y menos tiempo de obtención de imágenes, lo que la hace muy útil en el estudio de población pediátrica. Sin embargo no están incluidos en el software de la OCT parámetros de normalidad en los sujetos menores de dieciocho años.

Por otro lado la comparación directa de parámetros papilares y grosores retinianos maculares entre OCT de dominio espectral y OCT de dominio temporal no es posible debido a que se utilizan algoritmos de escaneado diferentes en ambos dispositivos (111) (112) (113). Nos encontramos, además una enorme variabilidad, sobre todo en lo que se refiere a grosores maculares, entre diferentes dispositivos incluso entre las SD-OCT de las distintas casas comerciales (114).

Por esta razón, conviene comentar algunos aspectos de nuestro grupo de ojos control, comparando los resultados obtenidos con los datos normativos de niños para OCT de última generación (SD-OCT) publicados recientemente.

En nuestro grupo control se incluyeron 100 ojos, de ellos 41 de niños y 59 ojos de niñas con media de edad de 8,51 años (dt: 2.06), media del equivalente esférico de +1,21 dioptrías (dt: 0,91) y longitud axial media de 22.52 mm. Los grosores retinianos y análisis de las características de la cabeza del nervio óptico fueron medidos con 3DOCT 2000 de Topcon.

En el estudio publicado por Yanni SE et al (98), de Dallas, Texas, se analizaron 83 niños de 5 a 15 años con Spectralis OCT de Heidelberg Engineering y no se tuvo en cuenta en este análisis el equivalente esférico de los pacientes ni la longitud axial. Tampoco se tuvo en cuenta la longitud axial en el estudio publicado por Shuang-Qing et al. En esta publicación se comparaba 72 ojos controles con equivalente esférico medio de +0.76 dioptrías y edad comprendida entre 5 y 16 años, en este caso el grosor macular fue evaluado con 3D OCT1000 de Topcon (115). Al-Haddad C et al (100), de Beirut, analizaron 113 niños de 6 a 17 años con OCT Cirrus de Zeiss. En este trabajo sí que se tuvo en cuenta el equivalente esférico y la longitud axial de los ojos y los criterios de inclusión eran similares a los de nuestro estudio. Sin embargo, se trataba de niños árabes con equivalente esférico entre -4.25 y +5.00 dioptrías, siendo la media de -0.02 dioptrías, media diferente de forma estadísticamente significativa con la nuestra. Por otro lado, en un estudio multicéntrico Español con Cirrus OCT, publicado por Barrio- Barrio y S Noval et al (79), se incluyeron 283 niños, con media de edad mayor que

en nuestro estudio (9.58 años), media de equivalente significativamente diferente (+0.63 dioptrías) y con un amplio rango de dioptrías de -4.88 a +5.25. La longitud axial media de este grupo multicéntrico español (22.94mm) también era significativamente mayor que la de nuestro grupo.

En los ojos de nuestro grupo control, no se han apreciado diferencias significativas entre sexos con respecto al equivalente esférico, los espesores retinianos en los distintos sectores maculares de la rejilla ETDRS, ni espesores de la CFNR peripapilares y características del nervio óptico. Tan solo existe diferencia estadísticamente muy significativa entre sexos en la longitud axial, siendo los ojos de niños más largos que los de las niñas, y en el mínimo foveal, menor en niñas. En este aspecto coincidimos con Yanni S E, Al-Haddad C y Barrio-Barrio.

No se ha observado que exista algún tipo de cadencia lineal descendente o ascendente en consonancia con la edad, siendo las diferencias entre el grupo con rango de edad de 5 a 8 años y el grupo con rango de edad de 9 a 14 años, no significativas, tanto para la longitud axial como para los grosores maculares. En este aspecto, sin embargo, diferimos del estudio de Barrio- Barrio (en el que encontraron que el volumen macular medio y el grosor macular medio estaban positivamente asociados con la edad) de Yanni (encontró relación entre el mínimo foveal y la edad), y con el de Al-Haddad , en el que afirma que todos los parámetros maculares tenían una correlación consistentemente positiva con la edad.

En nuestro estudio encontramos, al igual que en los trabajos publicados (79) (100) una correlación negativa entre longitud axial y equivalente esférico de -0.52, es decir, a mayor equivalente esférico menor longitud axial existe. Así mismo observamos una correlación negativa entre longitud axial y el grosor macular medio, volumen macular y grosor de los todos los sectores externos maculares.

Encontramos además en el presente estudio una interrelación consistente y negativa entre los sectores inferior y temporal del anillo interno macular y el equivalente esférico.

En cuanto al grosor macular, al igual que ocurre en los estudios de Barrio – Barrio y Al Haddad, podemos observar en nuestro grupo control que los grosores retinianos en el anillo interno son mayores que en el externo, en todos sus sectores. (Yanni et al, sin embargo, solo incluyeron en su trabajo los grosores del anillo macular interno). Y tanto en el anillo externo como en el interno el grosor macular es máximo en el sector nasal, seguido del superior e inferior, siendo el sector temporal el más adelgazado, relación que también observan Barrio-Barrio, Al Haddad ,Yanni y Shuang-Qing. Esta relación de grosores entre los distintos sectores maculares, presente también en adultos (116) (117), puede ser explicada por la anatomía retiniana. El área nasal es más gruesa debido a que esta zona está más próxima al nervio óptico y por ella pasan muchas de las fibras nerviosas originadas en la mácula (haz papilomacular) así como parte de las originadas temporalmente respecto a ella. Por este mismo motivo el área temporal ha resultado ser la de menor espesor, ya que es la zona que tiene menos tránsito de axones de las células ganglionares (las cuales pueden llegar a constituir hasta el 30% del espesor de la retina en algunas zonas).

El grosor macular medio en el grupo control es de 279.38 μ m, significativamente más grueso que en adultos (116) (117).

Sin embargo en cuanto a los valores de grosor macular nos encontramos una enorme variabilidad entre los distintos artículos publicados solo siendo el grosor macular central similar al nuestro, medido con 3DOCT2000, en el estudio de Yanni et al, que utiliza Spectralis OCT (98) y en el de Al-Haddad que utiliza el Cirrus OCT (100) pero siendo mayor de forma estadísticamente significativa en el estudio español de Barrio-Barrio et al, con los datos tomados con Cirrus OCT (79) (tablas 66, 67, 68 y 69).

| | CONTROL N=100 3DOCT2000 | Yanni et al N=83 (98) Spectralis | Al-Haddad et al N=113 (100) cirrus | Qing et al N=72 (115) 3DOCT1000 | Barrio- Barrio 4-7 años N=80 (79) cirrus | Barrio- Barrio 8-12años N=146 (79) cirrus | Barrio- Barrio 13-17años N=55 (79) cirrus |
|----------|-------------------------------|--|--|--|--|---|---|
| LA | 22.62 | - | 23.5 | - | 22.22 | 23.06 | 23.66 |
| gmm | 279,38 | 280 | 280 | | 281.5 | 284.1 | 285.4 |
| mf | 185,31 | | | | | | |
| volmac | 7,90 | | | | | | |
| mc | 239,14 | 271.2 | 249 | 258.6 | 246.3 | 255.5 | 260.5 |
| intsup | 310,24 | 274 | 321 | 302.8 | 311.6 | 319 | 322.8 |
| intnasal | 310,32 | 270 | 321 | 308.3 | 320 | 325.9 | 329 |
| inttemp | 294,89 | 261 | 309 | 287 | 307.9 | 311.9 | 313.3 |
| intinf | 302,04 | 270 | 318 | 302.5 | 313.9 | 321.1 | 322.7 |
| extsup | 275,12 | | 282 | 282.8 | 295.7 | 290.3 | 289.2 |
| extnasal | 288,66 | | 298 | 291.3 | 302 | 302 | 304.8 |
| exttemp | 260,68 | | 263 | 261.8 | 269.3 | 267.7 | 266.6 |
| extinf | 269,44 | | 270 | 267.8 | 281.0 | 278.1 | 274.6 |

Tabla 66. Longitud axial (mm) y grosores maculares (μ m) del grupo control y diferentes datos normativos publicados.

| | Yanni et al (98) 5-15 años Spectralis N: 83 | | Al-Haddad et al (100) 6-17 años Cirrus N=113 | | Qing et al (115) 5-16 años 3DOCT1000 N=72 | |
|----------|--|----|---|----|--|----|
| LA | - | | 0.000 | Ms | | |
| gmm | - | | 0.617 | Ns | | |
| mf | - | | | | | |
| volmac | - | | | | | |
| mc | 0,000 | Ms | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms |
| intsup | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms |
| intnasal | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms | 0.113 | Ns |
| inttemp | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms |
| intinf | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms | 0.736 | Ns |
| extsup | - | | 0.000 | Ms | 0.000 | Ms |
| extnasal | - | | 0.000 | Ms | 0.099 | Ns |
| exttemp | - | | 0.101 | Ns | 0.426 | Ns |
| extinf | - | | 0.711 | Ns | 0.711 | Ns |

Tabla 67. T-Student comparando medias de grosor macular de grupo control con diferentes artículos. Significación.Ms: muy significativo. Ns: no significativo.

| | Control 5-7 años 3DOCT2000 N=39 | Barrio-Barrio 4-7 años Cirrus N=80 | SIGNIFICACIÓN | |
|----------|--|---|---------------|-------------------|
| | Media | Media | t-Student | |
| ES | ,98 | +1.49 | 0.000 | muy significativo |
| LA | 22,59 | 22.22 | 0.007 | muy significativo |
| Gmm | 278,08 | 281.5 | 0.090 | No significativo |
| Volmac | 7,87 | 10,2 | 0.000 | muy significativo |
| Mc | 234,13 | 246.3 | 0.000 | muy significativo |
| Intsup | 307,95 | 311.6 | 0,119 | No significativo |
| Intnasal | 307,59 | 320 | 0.000 | muy significativo |
| Inttemp | 294,90 | 307.9 | 0.000 | muy significativo |
| Intinf | 297,67 | 313.9 | 0.000 | muy significativo |
| Extsup | 273,46 | 295.7 | 0.000 | muy significativo |
| Extnasal | 286,03 | 302 | 0.000 | muy significativo |
| Exttemp | 260,26 | 269.3 | 0.000 | muy significativo |
| extinf | 270,31 | 281.0 | 0.000 | muy significativo |

Tabla 68. T-Student comparando medias de grosor macular de grupo control de 5-7 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad.

| | CONTROL 8-12 años N=50 | Barrio-Barrio 8-12 años N=146 | SIGNIFICACIÓN | |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------|
| | Media | | T-Student | |
| ES | 1,00 | +0.46 | 0.000 | Muy significativo |
| LA | 22,62 | 23.06 | 0.000 | Muy significativo |
| Gmm | 280,70 | 284.1 | 0.035 | Significativo |
| Volmac | 7,94 | 10.2 | 0.000 | Muy significativo |
| Mc | 238,24 | 255.5 | 0.000 | Muy significativo |
| Intsup | 312,68 | 319 | 0.001 | Muy significativo |
| Intnasal | 313,28 | 325.9 | 0.000 | Muy significativo |
| Inttemp | 296,52 | 311.9 | 0.000 | Muy significativo |
| Intinf | 305,36 | 321.1 | 0.000 | Muy significativo |
| Extsup | 276,94 | 290.3 | 0.000 | Muy significativo |
| Extnasal | 291,06 | 302 | 0.000 | Muy significativo |
| Exttemp | 260,46 | 267.7 | 0.000 | Muy significativo |
| Extinf | 269,38 | 278.1 | 0.000 | Muy significativo |

Tabla 69. T-Student comparando medias de grosor macular de grupo control de 8-13 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad.

En todos los sectores internos de la rejilla ETDRS existen diferencias estadísticamente muy significativas salvo en los sectores internos inferior y nasal en los que coincidimos con los tomados por 3DOCT1000 (115). En cuanto a los sectores externos encontramos menos diferencias en las medidas, coincidiendo en los externos temporal e inferior con los datos tomados con Cirrus OCT (100) y en todos los sectores externos menos el superior con los datos medidos con 3DOCT1000 (115). Hay diferencias significativas en todos los sectores

de ETDRS con el grupo español que utilizó Cirrus OCT, siendo todos los grosores mayores que los encontrados por nosotros.

Los dispares resultados entre los estudios pueden ser debidos no solo a que tienen planteamientos diferentes sino también a que se ha utilizado un dispositivo de tomografía de coherencia óptica diferente.

En este estudio se han demostrado unas altas correlaciones entre las diferentes áreas retinianas maculares. Este hecho indica que al tener una de las áreas con espesor menor o mayor de la media hace más probable que el resto de zonas también sean más delgadas o más gruesas.

En cuanto al grosor de la CFNR, el grosor medio encontrado fue de 104.70 μm , valor significativamente mayor que el valor medio en adultos (118) coincidiendo con el estudio realizado en Seoul, Korea por Ahn HC et al (78) en el que se analizaba el grosor de la CFNR en niños de 9 a 18 años con OCTIII y con Zhu et al en el que se analizaba el grosor de CFNR con iVue 100-OCT, pero difiriendo de los demás estudios publicados (100) (79) (98) (115) (119) (120) ya que los datos tomados con Cirrus OCT (100) (79) (119) son significativamente menores y los tomados con Spectralis OCT, son significativamente mayores así como los tomados con RS-OCT3000 (Nidek Inc. CA USA) por Firat et al (120) en su grupo control y los tomados con RTVue OCT (Optovue, Fremont, CA) por Aykut et al en su grupo emétrepe (121) (tablas 70, 71, 72, 73, 74 y 75).

| | CONTROL 5-14 años 3DOCT2000 N=100 | Yanni et al (98) 5-15 años Spectralis N=83 | Ahn et al (78) 9-18 años OCTIII N=144 | Al Haddad et al (100) 6-17 años Cirrus N=113 | Barrio- Barrio (79) 4-7 años Cirrus N=80 | Barrio- Barrio (79) 8-12 años Cirrus N=146 | Barrio- Barrio (79) 13-17 años N=55 Cirrus |
|-----------|--|--|---|--|--|--|--|
| ES | +1.00 | - | -3.15 | -0.02 | +1.49 | +0.46 | -0.17 |
| LA | 22.62 | - | - | 23.5 | 22.22 | 23.06 | 23.66 |
| CFNRmedio | 104,70 | 107.6 | 105.53 | 96 | 99 | 97.2 | 95.7 |
| CFNRsup | 126,55 | 130.65 | 132.74 | 121 | 126.9 | 125 | 120.6 |
| CFNRinf | 131,42 | 129 | 133.04 | 125 | 131.2 | 128.2 | 122.8 |
| CFNRnasal | 82,73 | 83 | 69.64 | 70 | 69.8 | 69.1 | 71.4 |
| CFNRtemp | 78,24 | 76.5 | 87.74 | 66 | 69.2 | 66.5 | 67.1 |

Tabla 70. Equivalente esférico (dioptrías), longitud axial (mm) y grosor medio y de diferentes sectores de la CFNR peripapilar (μm), tanto en el grupo control como en los diferentes artículos publicados.

| | CONTROL 5-14 años 3DOCT2000 N=100 | Aykut et al 6-14 años RTVue OCT N=40 (121) | Firat et al 4-24 años RS-OCT3000 N=32 (120) | Zhu et al iVue100-OCT N= 654 (122) |
|-----------|--|---|--|--|
| ES | +1.00 | +0.24 | +0.07 | |
| LA | 22.62 | 23.4 | - | |
| CFNRmedio | 104,70 | 111.2 | 109.96 | 104.19 |
| CFNRsup | 126,55 | 138.05 | 142.66 | 128.73 |
| CFNRinf | 131,42 | 137.1 | 144.44 | 130.03 |
| CFNRnasal | 82,73 | 86.75 | 81.22 | 76.01 |
| CFNRtemp | 78,24 | 73.15 | 71.55 | 81.98 |

Tabla 71. Equivalente esférico (dioptrías), longitud axial (mm) y grosor medio y de diferentes sectores de la CFNR peripapilar (μm), tanto en el grupo control como en los diferentes artículos publicados.

| | Yanni SE et al (98) | | Ahn HC et al (78) | | Al-Haddad et al (100) | |
|-----------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| CFNRmedio | 0.003 | Significativo | 0.390 | No significativo | 0.000 | Muy significativo |
| CFNRsup | 0.002 | Significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo |
| CFNRinf | 0.135 | No significativo | 0.315 | No significativo | 0.000 | Muy significativo |
| CFNRnasal | 0.8370 | No significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo |
| CFNRtemp | 0.136 | No significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo |

Tabla 72. T-Student comparando medias de grosor de CFNR del grupo control con diferentes datos normativos publicados (1).

| | Aykut V et al (121) | | Firat PG et al (120) | | Zhu et al (122) | |
|-----------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| ES | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo | | |
| LA | 0.000 | Muy significativo | - | | | |
| CFNRmedio | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.597 | No significativo |
| CFNRsup | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.099 | No significativo |
| CFNRinf | 0.001 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.389 | No significativo |
| CFNRnasal | 0.003 | Muy significativo | 0.253 | No significativo | 0.000 | Muy significativo |
| CFNRtemp | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo | 0.002 | Muy significativo |

Tabla 73. T-Student comparando medias de grosor de CFNR del grupo control con diferentes datos normativos publicados (2).

| | CONTROL 5-7 Años N= 39 | Barrio-Barrio 4-7 Años N= 80 (79) | T-Student | |
|-----------|------------------------------|---|-----------|-------------------|
| CFNRmedio | 106,77 | 99 | 0.000 | muy significativo |
| CFNRsup | 129,54 | 126.9 | 0.851 | No significativo |
| CFNRinf | 134,69 | 131.2 | 0.202 | No significativo |
| CFNRnasal | 83,21 | 69.8 | 0.000 | muy significativo |
| CFNRtemp | 79,90 | 69.2 | 0.000 | muy significativo |

Tabla 74. T-Student comparando medias de grosor de CFNR grupo control de 5-7 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad.

| | CONTROL 8-13 años N=50 | Barrio-Barrio 8-13 Años N= 146 (79) | T-Student | |
|-----------|------------------------------|---|-----------|-------------------|
| CFNRmedio | 103.02 | 97.2 | 0.000 | muy significativo |
| CFNRsup | 124,7800 | 125 | 0.915 | No significativo |
| CFNRinf | 128,2600 | 128.2 | 0.978 | No significativo |
| CFNRnasal | 81,2200 | 69.1 | 0.000 | muy significativo |
| CFNRtemp | 77,8200 | 66.5 | 0.000 | muy significativo |

Tabla 75. T-Student comparando medias de grosor de CFNR grupo control de 8-13 años con estudio multicéntrico español para el mismo rango de edad.

En el presente estudio, al igual que en los trabajos publicados por Yanni SE (98), Ahn HC (78), Al Haddad C (100) Barrio- Barrio J (79) , Elía N (119), Firat et al (120), hemos observado que el cuadrante inferior es el más grueso (131.42 μm) seguido del superior (126.55 μm), nasal (82.73 μm) y por último el temporal (78.24 μm) por lo que en la población pediátrica estudiada se puede confirmar que se sigue la regla ISNT, hecho que no se ha confirmado en otras publicaciones que estudian la CFNR en niños (20) (123) (122), Bueno-Gimeno et al observaron en su grupo control que el sector más adelgazado era el cuadrante nasal en lugar del temporal (124). Sin embargo los valores de grosor medio en los distintos cuadrantes varían según la publicación consultada sin ninguna correlación entre ellas, es decir, algunos cuadrantes resultan más gruesos en el estudio que utiliza Spectralis (98)

y, sin embargo otros cuadrantes del mismo estudio resultan más finos que los tomados por 3DOCT2000.

Algunos autores han encontrado que el grosor de la CFNR disminuye con la edad en adultos (125) (125) (126) pero en la mayoría de estudios con población pediátrica (78) (79) (100) (98) (104) (99), incluido el presente estudio, no se ha encontrado una correlación de la CFNR con la edad.

Encontramos una correlación positiva de la CFNR en el sector temporal con los sectores internos maculares inferior y temporal, además este sector presenta una correlación negativa con el equivalente esférico, constatación también encontrada en la mayoría de artículos publicados (100) (79) (78) (98) (82). Sin embargo aunque algunos autores han encontrado asociación significativa entre longitud axial y CFNR peripapilar (82) (122), en nuestro grupo control sólo se ha encontrado esta correlación en el cuadrante peripapilar nasal. Aykut et al , sin embargo al aplicar la fórmula de Littmann corrigiendo la magnificación debida a la fotografía del fondo de ojo observaron que la correlación de la CFNR con la longitud axial desaparecía (121).

En cuanto a las características de la cabeza del nervio óptico en niños sanos emétropes encontramos un diámetro medio vertical de 1.93mm y diámetro horizontal medio de 1.73mm, siendo el área papilar media de 2.62 mm² con relación media excavación/ papila de 0.22 mm, excavación media menor que la encontrada por Bueno Gimeno et al (124) y Elía et al (119) y sin embargo el área papilar es significativamente mayor que las encontradas en ambos estudios (tablas 76 y 77).

| | CONTROL | Bueno-Gimeno Cirrus HD-OCT N=99 (124) | Elía N Cirrus HD-OCT N= 358 (119) |
|--------------|---------|---|---|
| LA | 22.62 | 23.12 | - |
| Área papilar | 2.62 | 2.09 | 2.05 |
| expapila | ,22 | 0.36 | 0.43 |

Tabla 76. Longitud axial (LA) en mm, área papilar (mm²) y excavación papilar en mm en nuestro grupo control y en los distintos artículos publicados.

| | Bueno-Gimeno Cirrus HD-OCT N=99 (124) | | Elía N Cirrus HD-OCT N= 358 (119) | |
|--------------|---|-------------------|---|-------------------|
| LA | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo |
| Área papilar | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo |
| expapila | 0.000 | Muy significativo | 0.000 | Muy significativo |

Tabla 77. T-Student comparando medias de longitud axial, área papilar y ratio ex/papila.

La papila media es oval ligeramente verticalizada. No hemos encontrado una correlación significativa con edad o longitud axial lo que no coincide con estudios previos (86) (127), esto puede ser debido a que en estos estudios se evaluaban niños con longitudes axiales y equivalentes esféricos más dispares, ya que no todos los niños analizados eran emétopes.

Tan sólo hemos encontrado una correlación débil del diámetro horizontal con los grosores maculares internos en el sector inferior y superior y con el grosor macular en el sector nasal del anillo externo.

Sin embargo encontramos correlación de ambos diámetros papilares con el grosor de CFNR medio y, mientras el diámetro papilar vertical se correlaciona positivamente con el grosor de CFNR peripapilar en todos los cuadrantes salvo el superior, el diámetro horizontal papilar se correlaciona sólo con el grosor de CFNR de los cuadrantes nasal y

temporal. Esto difiere del estudio realizado por Mansoori et al en adultos en el que no se ha encontrado correlación del diámetro papilar con la CFNR en papilas menores de 4mm^2 pero sí se ha observado correlación negativa con CFNR en papilas de más de 4mm^2 (128). Savini et al (129) , sin embargo, encontraron una correlación positiva entre el área papilar y la CFNR en adultos. Savini et al postulaban que esta relación fuera resultado de un número aumentado de fibras nerviosas (tal como previamente se ha publicado en estudios histológicos (130)) o de un artefacto producido por la medición de la CFNR con anillo de diámetro fijo de 3.4mm, al medir papilas más grandes este anillo estaría más cerca del borde de la papila y mediría más grosor. En el trabajo de Savini et al el área papilar media en un adulto fue de 2.09 mm siendo el área media de nuestro estudio de 2.62mm por lo que la correlación positiva con la CFNR podría explicarse por las dos teorías que postulan Savini et al.

Así pues, dados los valores tan dispares de los grosores retinianos, CFNR peripapilar y parámetros de la cabeza del nervio óptico entre los distintos estudios publicados y entre éstos y nuestro trabajo, se puede confirmar que cada dispositivo de OCT precisa de unos datos normativos propios.

El objetivo principal de nuestro estudio era encontrar diferencias significativas entre la retina y nervio óptico de niños emétopes y niños hipermétropes.

En el grupo hipermetrope se incluyeron 107 ojos, 65 ojos de niños y 42 ojos de niñas con media de edad de 7,69 años (dt: 1,84), media del equivalente esférico de +5,04 dioptrías (dt: 1,71) y longitud axial media de 21.33mm.

La media de edad del grupo hipermetrope resultó ser significativamente menor que en el grupo control aunque no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas de grosor macular entre los diferentes grupos de edad de los dos grupos a estudio.

La longitud axial media era significativamente diferente entre los dos grupos, siendo el grupo hipermetrope de longitud menor. Se observó así mismo una correlación consistente y negativa entre el equivalente esférico y la longitud axial en el grupo hipermetrope (rho de Spearman de -0,536). Al contrario que en el grupo control, sí se observó una correlación consistente y positiva entre la longitud axial y la edad (rho de Spearman de 0,342).

Nuestro grupo hipermetrope presentaba un grosor macular medio de 287,11 μ m. siendo más grueso de forma estadísticamente significativa que en el grupo control. Al igual que en el grupo control el sector nasal externo resultó más grueso que el resto de sectores, siendo el sector temporal el más adelgazado (esto es lo esperado dada la disposición de los axones de las células ganglionares en la retina). Se observa, además, que las diferencias entre el grupo control y el hipermetrope son estadísticamente significativas en la mácula central y el anillo exterior

donde el grupo hipermetrope tiene una media mayor. Sin embargo las diferencias entre los grosores del anillo interno de los dos grupos no son significativas aunque los grosores fueron menores en el grupo hipermetrope. Es decir, en los pacientes hipermétropes existe más diferencia de grosor entre el anillo interno y el externo que en el grupo control.

Como cabría esperar las variables de grosor macular mantenían correlaciones estadísticamente significativas con el resto de variables de grosor macular.

Analizando las diferencias por grupos de edad siguen observándose los mismos resultados entre los grupos en el rango de edad de 5 a 8 años, sin embargo el grosor macular central y el grosor del sector superior del anillo externo pierden la significación estadística cuando comparamos los grupos en el rango de edad de 9 a 14 años. Esto puede ser debido al bajo número de sujetos que hay en grupo de hipermétropes en este rango de edad (n=28).

Al subclasificar el grupo hipermetrope en hipermétropes moderados (de más de +2.50 dioptrías a +4.50) e hipermétropes altos (más de 4.5 dioptrías) no se encontró ninguna diferencia significativa entre los grupos salvo en la longitud axial y mínimo foveal siendo la media de longitud axial significativamente menor en el grupo de hipermétropes altos (20.84 mm) en comparación con la del grupo de hipermétropes moderados (21.67mm). El mínimo foveal, es decir, el área de menor grosor foveal, en el grupo hipermetrope moderado era más gruesa (184,94 μm) que en el grupo de hipermétropes altos (177,65 μm).

La inclusión en el estudio de ambos ojos de sólo algunos pacientes, pero no de todos, podría llevar a error. Por este motivo se decidió llevar a cabo el mismo análisis realizado pero, en esta ocasión, incluyendo únicamente un ojo de cada paciente. Así, en el grupo hipermetrope, se incluyó el ojo más hipermetrope de los pacientes en los que se habían analizado ambos ojos y, en el grupo control se eliminó aleatoriamente un ojo de los pacientes en los que se había analizado ambos ojos.

Así en el estudio corregido (sólo un ojo de cada paciente) en el grupo hipermetrope se incluyeron 70 pacientes. El equivalente esférico medio de este grupo era de +4.60 dioptrías y la longitud axial media era de 21.36 mm. En el grupo Control corregido se incluyeron 57 pacientes. El equivalente esférico medio de este grupo era de +1.05 dioptrías y la longitud axial media fue de 22.54mm. Se mantenían en el estudio corregido las diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y el hipermetrope en cuanto a la longitud axial y la edad.

En cuanto al grosor macular medio el grupo hipermetrope corregido presentaba un grosor macular medio de 286.55 μm mientras que el grupo control presentaba un grosor macular medio de 280.40 μm . manteniéndose así la diferencia entre los grupos, con mayor grosor, de forma significativa, en el grupo hipermetrope.

Al igual que en el contraste de medias para los grupos hipermetrope y control sin corregir, los grosores del anillo interno del ETDRS no fueron significativos, sin embargo sí que lo fueron los grosores del anillo externo y la mácula central.

En lo que se refiere al grosor de la capa de fibras nerviosas (CFNR) peripapilares, el grupo de hipermétropes presentaba un grosor medio de

111.89 μm (dt9.59) siendo el cuadrante más grueso el inferior (140 μm), seguido del superior (131 μm), nasal (96.50 μm) y temporal (80.64 μm) por lo que al igual que el grupo control se sigue la regla ISNT. También en los trabajos realizados por Aykut et al (121) (RTVue OCT) y Zhu B et al (iVue-100 OCT) (122) observaron que se cumplía la regla ISNT. Sin embargo los valores son mayores en el estudio que utiliza RTVue OCT y significativamente menores en el estudio realizado por Zhu, en el que se utilizaba el dispositivo iVue-OCT.

En cuanto al contraste de las medias de grosor en los distintos cuadrantes papilares, destaca que en el sector temporal no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre nuestro grupo control y el hipermetrope, mientras en el resto de los cuadrantes el grupo hipermetrope posee, de media, grosores más elevados. Esta constatación coincide con el estudio de Aykut et al pero en este último, tras aplicar la fórmula de Littmann para corregir la magnificación las diferencias en los demás sectores también desaparecieron.

El grosor de CFNR medio del grupo hipermetrope se relaciona de manera consistente y positiva con el grosor macular medio, el volumen macular, los grosores maculares internos (salvo el sector temporal) y todos los sectores externos maculares. También se relaciona con todos los grosores de CFNR en los distintos cuadrantes peripapilares y con los diámetros, tanto vertical como horizontal, de la papila.

Sin embargo entre los grosores de la CFNR en los distintos cuadrantes sólo tiene relación consistente con los grosores maculares el cuadrante inferior. El grosor del cuadrante superior peripapilar tiene relación menos significativa con los sectores externos maculares.

Entre los distintos cuadrantes peripapilares, sólo se correlacionan la CFNR del sector superior con el inferior.

No hemos encontrado correlación del grosor de CFNR con longitud axial al contrario que en el trabajo realizado por Zhu et al (122), en el que se observó una correlación negativa entre CFNR global con la longitud axial.

En la comparación del grupo control y el grupo hipermetrope por grupos de edad observamos los mismos resultados que en el contraste de medias anterior en el rango de edad de 5 a 8 años, sin embargo cuando comparamos ambos grupos en el rango de edad de 9 a 14 años la diferencia entre los grosores del cuadrante inferior de ambos grupos también pierde significación estadística. Aunque esto puede ser debido al limitado número de pacientes del grupo control (n: 28) que existe en este rango de edad.

También se analizaron las diferencias entre el grupo de menor edad y el de mayor dentro de cada grupo. El resultado obtenido no fue significativo salvo que el grupo control de niños de menor edad, presentaba la CFNR del cuadrante peripapilar superior más gruesa que el grupo control de mayor edad y los niños hipermétropes de menor edad presentaban un grosor mayor de la CFNR en el sector peripapilar inferior. Pero igual que antes el bajo tamaño de la muestra puede condicionar el resultado del análisis ya que en estudios previos no se observó correlación de CFNR en niños hipermétropes con la edad (122).

Al subclasificar el grupo de hipermétropes en moderados (de +2.50 a +4.50 dioptrías) y altos (más de +4.50 dioptrías) se pudo observar que no existían diferencias significativas entre los dos grupos en cuanto a los grosores maculares y de la CFNR.

Al corregir el estudio incluyendo sólo un ojo de cada paciente observamos una distribución similar de las medias de grosor excepto que, esta vez, la diferencia entre las dos muestras en cuanto al cuadrante superior pierde significación.

En lo relativo a los parámetros de la cabeza del nervio óptico, el diámetro papilar medio vertical en el grupo hipermetrope era de 2.05mm, el diámetro horizontal medio fue de 1.85mm con una excavación papilar media de 0.11mm, siendo el área papilar de 2.98 mm². Se trataba de papilas de mayor tamaño a las encontradas en el grupo control (en contra de lo que se suele esperar de un ojo hipermetrope, más pequeño que un ojo emetrope) pero con excavaciones menores de papila. Analizando tan solo un ojo de cada paciente se obtuvieron los mismos resultados. Tanto en el estudio realizado por Bueno-Gimeno et al (124) como el de Elía et al (119), ambos utilizando Cirrus HD-OCT, el área papilar media es significativamente menor mientras que el ratio excavación papila es mayor de forma estadísticamente significativa.

Estudiando los parámetros papilares por grupos de edad observamos que en el grupo de 5 a 8 años los diámetros son mayores en el grupo hipermetrope, con menores excavaciones. Sin embargo en el rango de 9 a 14 años, aunque se obtienen los mismos resultados, en esta ocasión se pierde significación estadística en la variable excavación papilar (p0.052), probablemente debido al tamaño muestral (nótese que el valor está muy próximo a la significación estadística).

Dentro del grupo hipermetrope, nos encontramos los mismos resultados para los diferentes grados de hipermetropía, no existiendo diferencias estadísticamente significativas en los parámetros papilares de los dos grupos.

Encontramos que los diámetros papilares estaban correlacionados entre sí sin embargo no tienen correlación con el ratio de excavación/papila.

Así mismo, observamos una correlación negativa del diámetro vertical con la longitud axial, correlación no existente en el grupo control.

Además, el diámetro vertical papilar tiene correlación positiva con el grosor macular medio y volumen macular mientras que el diámetro horizontal tiene correlación positiva con el grosor macular central, esto difiere del grupo control, en el que no se encontró correlación del diámetro papilar vertical con los grosores maculares y, sin embargo, sí que se observó correlación del diámetro horizontal con los sectores internos inferior y superior y nasal externo.

Ambos diámetros papilares se correlacionan positivamente, como pasaba en el grupo control, con el grosor de CFNR medio, sin embargo mientras que el diámetro vertical se correlaciona positivamente con los grosores de la CFNR de todos los cuadrantes peripapilares excepto el cuadrante superior, el diámetro horizontal papilar sólo se correlaciona con los grosores de CFNR peripapilar de los cuadrantes temporal y nasal. Al ser la media de área papilar en hipermétropes mayor que en el grupo control, esta relación positiva también puede ser explicada por las dos hipótesis planteadas por Savini et al (129), ya que se trata de una media papilar grande, y, al ser medida por un anillo fijo en el dispositivo de

OCT de 3.4mm, el borde papilar se aproxima al límite de medición del anillo resultando en grosores falsamente mayores, pero también está descrito un aumento de fibras nerviosas en papilas más grandes en estudios histológicos (130). Así mismo existen artículos que afirman que la longitud axial influencia las mediciones del grosor de la CFNR y de la cabeza del nervio óptico (131). Los dispositivos OCT analizan las dimensiones de la papila basándose en el ojo esquemático de Gullstrand, (radio corneal: 7.7mm , refracción: 0 dioptrías, y longitud axial de 24.39 mm). Los ojos con longitud axial menores a 23.60mm y mayores a 25.55mm requieren una corrección en las medidas basándose en el efecto de magnificación de la imagen del propio aparato (132) (133). El tamaño aparente de la cabeza del nervio óptico está magnificado en ojos hipermétropes (longitud axial menor) y minimizado en ojos miopes (longitud axial mayor). Así, en nuestro estudio, en el que todos los pacientes del grupo hipermetrope y la mayoría de pacientes del grupo control tienen longitudes axiales menores a 23.60mm debemos ajustar los valores obtenidos según la longitud axial. Seguramente ésta sea también una de las razones por las que hemos encontrado en nuestro estudio medidas del tamaño papilar mayores que en adultos.

En este estudio se han dado datos normativos de grosor retiniano macular, de la CFNR peripapilar y parámetros de la cabeza del nervio óptico de población pediátrica para el dispositivo de OCT de dominio espectral 3D OCT2000. Al ser un tamaño muestral adecuado con criterios de inclusión rigurosos, el rango de equivalente esférico en nuestro grupo control siendo muy acotado, consideramos que nuestro trabajo será de gran ayuda para futuros estudios basados en la población pediátrica ya que, como se ha observado con anterioridad es importante

poseer una base de datos normativa de niños para cada dispositivo OCT de las distintas casas comerciales.

Hemos comparado nuestra propia base de datos normativa para niños sanos emétopes con un grupo amplio de ojos de pacientes pediátricos hipermétropes obteniendo resultados estadísticamente significativos.

La limitación del presente estudio es el número de pacientes hipermétropes en el subgrupo de edad de 9 a 14 años y en el subgrupo de hipermétropes altos. Se requieren futuros estudios con más casuística en estos subgrupos para confirmar la evidencia científica aportada en este trabajo.



6. CONCLUSIONES



1. Cada dispositivo de OCT precisa de unos datos normativos propios en lo referente al grosor macular, capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros de la cabeza del nervio óptico en población pediátrica. No pudiéndose intercambiar datos en valor absoluto entre los dispositivos de las diferentes casas comerciales.
2. El sexo influye en el grosor mínimo foveal medido con OCT de dominio espectral, siendo éste menor en niñas. Sin embargo no influye en los demás grosores maculares, espesor de la CFNR peripapilar ni en los diámetros papilares en población infantil.
3. La edad no influye en el grosor macular, ni en los diámetros papilares medidos con SD-OCT en población infantil. Tan solo existen diferencias estadísticamente significativas en el cuadrante peripapilar superior, cuyo espesor es mayor en los niños emétopes de edad menor o igual a 8 años en relación a los niños emétopes mayores de 8 años. Así mismo, el cuadrante peripapilar inferior es más grueso en los niños hipermétropes de edad igual o menor a 8 años en relación a los niños hipermétropes mayores a 8 años.

4. La longitud axial de los ojos de niños emétopes influye en el grosor macular ya que existe una correlación negativa entre ésta y el grosor de todos los sectores del anillo externo macular y el grosor macular medio. Sin embargo, en niños hipermétropes, la longitud axial tiene una correlación negativa leve con el volumen macular y solo influye en algunos sectores maculares (sectores nasal interno, superior y temporal externo). Con respecto a la relación de la longitud axial de niños hipermétropes con los parámetros de la cabeza del nervio óptico medidos con SD-OCT, tan solo existe una correlación negativa con el diámetro vertical papilar.

5. No existe correlación del equivalente esférico con los grosores maculares, grosor de la CFNR y características del nervio óptico analizados con 3DOCT2000 en niños hipermétropes. Sin embargo, en niños emétopes sí que se ha encontrado una correlación negativa, aunque débil, entre el equivalente esférico y el grosor de los sectores inferior y temporal del anillo interno macular.

6. El espesor retiniano del anillo macular interno medido mediante tomografía de coherencia óptica de dominio espectral es mayor que el espesor en el anillo externo, en población pediátrica, tanto emétrope como hipermétrope. Y, tanto en el anillo interno macular como en el externo, el grosor macular medido con SD-OCT es máximo en el sector nasal, seguido del superior e inferior, siendo el sector temporal el más adelgazado.

7. En población pediátrica sana, tanto emétrope como hipermétrope, los grosores de la CFNR medidos con SD-OCT siguen la ISNT, es decir, el cuadrante inferior peripapilar es más grueso que el superior, éste es más grueso que el nasal, siendo el cuadrante temporal el más adelgazado.

8. Existe diferencia estadísticamente significativa en el grosor macular medio, y espesores maculares del anillo central y externo medidos con OCT entre los ojos hipermétropes y ojos emétopes en niños. Sin embargo las diferencias entre los grosores del anillo interno de los dos grupos no son significativas.

9. El grosor medio de la CFNR peripapilar es mayor en los ojos de niños hipermétropes con respecto a los de los pacientes pediátricos emétopes. En cuanto al grosor de la CFNR medido con OCT en los distintos cuadrantes papilares, destaca que en el sector temporal no se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los pacientes emétopes y los niños hipermétropes, mientras que en el resto de los cuadrantes el grupo hipermetrope posee, de media, grosores más elevados.

10. En lo relativo a los parámetros de la cabeza del nervio óptico evaluada con 3DOCT2000, los ojos de niños hipermétropes presentan, en este estudio, diámetros papilares mayores con respecto a los ojos de los niños emétopes pero con excavaciones menores.

7. BIBLIOGRAFÍA



1. Simon J W, Aaby A A , Drack A V, et al. *Pediatric Ophthalmology and Strabismus. American Academy of Ophthalmology. Basic and Clinical Science Course 2007-2008, sección 6. Editorial Elsevier.*
2. Ostadimoghaddam H, Yekta AA, Heravian J et al. Prevalence of Refractive Errors in Students with and without Color Vision Deficiency. *J Ophthalmic Vis Res* 2014; 9:484-6.
3. Montes-Micó R, Ferrer-Blasco T. Distribution of refractive errors in Spain. *Doc Ophthalmol* 2000; 1 (101): 25-33.
4. Kohler L, Stigmar G. Testing for hypermetropia in the school vision screening programme. *Acta Ophthalmol* Copenhagen 1981; 59:369-377.
5. Candy, Erin Babinsky and T. Rowan. Why Do Only Some Hyperopes Become Strabismic?. *Invest Ophthalmol Vis Sci* Indiana 2013; 7(54):4941–4955.
6. Aboshiha J, Dubis AM, Cowing J, et al. A Prospective Longitudinal Study of Retinal Structure and Function in Achromatopsia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55: 5733–5743.
7. Mohana, Shikha Talwar Bassi ST and Parthasarthy K. Optical coherence tomography in papilledema and pseudopapilledema with and without optic nerve head drusen. *Indian J Ophthalmol* 2014; 62(12): 1146–1151.

8. Roy AG, Vinayan KP, Kumar A. Idiopathic intracranial hypertension in pediatric population: case series from India. *Neurol India* 2013; 61(5):488-90.
9. Hood DC, Raza AS, De Moraes CG, et al. Evaluation of a one-page report to aid in detecting glaucomatous damage. *Trans Vis Sci Tech* 2014; 3 (6):8
10. John-Park DJ, Karesh JW. *Topographic Anatomy of the Eye: An Overview. In: Duane's clinical ophthalmology on CD-rom* 2006.Ed. Lippincott Williams and Wilkins.
11. Sutphin JE, Dana MR, Florakis GJ et al *External Disease and Cornea. American Academy of Ophthalmology*.Basic and Clinical Science Course 2007-2008. Editorial Elsevier.
12. Guyton AC, Hall JE. *Tratado de fisiología médica. 9ª edición*. Madrid 1996. Editorial McGraw-Hill-Interamericana de España.
13. Cibis G W, Beaver HA, Johns K et al. *Fundamentals and Principles of Ophthalmology. American Academy of Ophthalmology*. Basic and Clinical Science Course 2007-2008. Editorial Elsevier.
14. FM, Honrubia. *Oftalmología general*. 2001 .Editorial EbroLibro S.L.
15. Martin, JH. *Neuroanatomía*. Segunda edición.Hertfordshire 1998.Editorial Prentice Hall.
16. . CS, MCCA. The Eye and Visual Nervous System: Anatomy, Physiology and Toxicology. *Environmental Health Perspectives* 1982;44:1-8.

17. Espejo-Saavedra Roca JM, Taravillo Folgueras B. Psicobiología. *CeDe* 2012;12.
18. Reche-Sainz J, Domingo-Gordo B, Toledano-Fernández N. Estudio de la capa de fibras nerviosas de la retina en estrabismo infantil. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2006; 81: 21-26.
19. Wang Y, Xu L, Jonas JB. Shape of the neuroretinal rim and its correlations with ocular and general parameters in adult chinese: the beijing eye study. *Am J Ophthalmol* Beijing 2007; 144 (3) :462-4.
20. Pogrebniak A E, Wehrung B, Pogrebniak K. Violation of the ISNT Rule in Nonglaucomatous Pediatric Optic Disc Cupping. *Invest. Ophthalmol. Vis Sci*. 2010; 51(2): 890-895.
21. Harizman N, Oliveira C, Chiang A, Liebmann M. The ISNT Rule and Differentiation of Normal From Glaucomatous Eyes. , *Arch Ophthalmol* 2006;124.
22. Perea, José. *Estrabismos*. Toledo 2006.
23. Burkhalter A, Bernardo KL. Organization of corticocortical connections in human visual cortex. *Proc natl acad sci. USA* 1989;86:1071-1075.
24. Garey, LJ. Structural development of the visual system of man. *Hum Neurobiol* 1984;3:75-80.
25. Kenneth W. Wright, Peter H. Spiegel. *Pediatric Ophthalmology and Strabismus. The requisites in ophthalmology*. 2000. Editorial Harcourt.
26. Irribarren, R. Crystalline lens and refractive development. *Prog Retin Eye Res*. Buenos Aires. Argentina 2015.

27. . Zhu, Xiaoying. Temporal integration of visual signals in lens compensation. *Exp Eye Research* 2013;69-76.
28. Maurer D1, Mondloch CJ, Lewis TL. Effects of early visual deprivation on perceptual and cognitive development. *Prog Brain Res* 2007;164: 87-104.
29. Bremond- Gignac D, Copin H, Lapillonne A. Desarrollo visual en recién nacidos: mecanismos fisiopatológicos. *Curr Opin Ophthalmol.* Francia 2011;22.
30. Pasmanik, Saul. Trastornos del desarrollo visual en el niño. *Rev Chilena de Pediatría* 1975;46: 5-6.
31. Hara Y. Brain Plasticity and Rehabilitation in Stroke Patients. *J Nippon Med Sch Chiba* 2015; 82(1):4-13.
32. Borrow, JC. *El Cristalino y la Catarata. Academia Americana de Oftalmología* Curso de Ciencias Básicas y Clínicas 2008-2009. Sección 11. 1a edición. Editorial Elsevier.
33. Belmonte Gonzalez, N. *Sobre Refracción Ocular.* Barcelona 1989. Ediciones Doyma.
34. Zadnik K, Adams AJ, Mutti DO. The Equivalent Refractive Index of the Crystalline Lens in Childhood. *Vision Res* 1994; 35 (11): 1565-1573.
35. . Artal P, Benito A and Tabernero J. The human eye is an example of robust optical design. *Journal of Vision* 2006; 6: 1-7.
36. Miller KM, Albert DL, Asbell PA, Atebara NH et all. *Clinical Optics. American Academy of Ophthalmology.* Basic and Clinical Science

Course 2007-2008. Section 3. Editorial Elsevier España edición en español.

37. Kulp MT, Ying GS, Huang J, et al. Accuracy of Noncycloplegic Retinoscopy, Retinomax Autorefractor, and SureSight Vision Screener for Detecting Significant Refractive Errors. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55: 1378–1385.

38. Hu Y Y, Wu JF et al. Effect of Cycloplegia on the Refractive Status of Children: The Shandong Children Eye Study. *PLoS ONE* China 2015;10(2).

39. Adler D, Millodot M. The possible effect of undercorrection on myopic progression in children. *Clin Exp Optom* 2006; 5 (89): 315-21.

40. Li SM, Li SY, Liu LR, Guo JY, Chen W, Wang NL, Millodot M. Full correction and Undercorrection of Myopia Evaluation Trial: design and baseline data of a randomized, controlled, double-blind trial. *Clin Experiment Ophthalmol* 2013;4(41): 329-38.

41. Marcus SB, Rubin ML. *Correction of Ametropia With Spectacle Lenses. In: Duane's clinical ophthalmology on CD-rom* 2006. Ed. Lippincott Williams and Wilkins.

42. Wojciechowski R, Oexie K, Simpson CL . Genome-Wide Meta-Analysis of Myopia and Hyperopia Provides Evidence for Replication of 11 Loci. *PLOS ONE* 2014;9 (9).

43. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology* 2008; 115 (8): 1279-85.

44. Ip JM, Robaei D, Kifley A et al. Prevalence of hyperopia and associations with eye findings in 6- and 12-year-olds. *Ophthalmology* 2008; 115 (4): 678-685.
45. Castagno V, Gastal- Fassa A, Carret MA et al. Hyperopia: a meta-analysis of prevalence and a review of associated factors among school-aged children. *BMC Ophthalmology*.Brazil 2014;14:163.
46. Tomomatsu T , Kono S, Takamura Y .Relationship between lenticular power and refractive error in children with hyperopia. *Clin. Ophthalmol* 2013;7: 601-606.
- 47.Schultz K E, Sinnott LT, Mutti DO et al.Accommodative Fluctuations, Lens Tension, and Ciliary Body Thickness in Children. *Optom Vis Sci*. 2009; 86(6):677-84.
48. Mutti DO, Jones LA, Moeschberger ML et al. AC/A ratio, age, and refractive error in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41(9):2469-78.
49. Karadayi K, Akin T y Ciftci F. Hypermetropya is not associated with hypertension. The blue mountain study. *Am J Ophthalmol* 2006; 140 (3): 446-453.
50. Gal A , Rau I, Rosenberg T. Autosomal-Recessive Posterior Microphthalmos Is Caused by Mutations in PRSS56, a Gene Encoding a Trypsin-Like Serine Protease. *Am J Hum Genet.* , 2011; 88(3): 382–390.
51. Alkin Z, Ozkaya A, Demirok A. Detailed Ophthalmologic Evaluation of Posterior Microphthalmos. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2014.

52. Helvacioğlu F, Kapran Z, Cam O. Optical Coherence Tomography of Bilateral Nanophthalmos with Macular Folds and High Hyperopia. *Case Rep Ophthalmol med.* 2014; 17853
53. Lowe, RF. Aetiology of the anatomical basis for primary angle-closure glaucoma. Biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma. *Br. J. Ophthalmol* 1970;54(3):161-9.
54. Saskia H, Van Romunde, Thepass G, and Lemij H G. Is Hyperopia an Important Risk Factor for PACG in the Dutch Population? A Case Control Study. *J Ophthalmol.* Rotherdam 2013
55. Li Y, Wang J, Zhong X et al. Refractive Error and Risk of Early or Late Age-Related Macular Degeneration: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plos One China* 2014; 9.
56. Hillis A, Flynn JT, Hawkins BS. The evolving concept of amblyopia: a challenge to epidemiologists. *Am J Epidemiol* 1983; 2 (118):192-205.
57. . Attebo K, Mitchell P, Cumming R, Smith W, Jolly N, Sparkes R. Prevalence and causes of amblyopia in an adult population. *Ophthalmology* 1998; 1(105): 154-9.
58. Kassem IS, Rubin SE, and Kodsí S. Exotropia in children with high hyperopia. *J AAPOS* 2012; 16 (5): 437-440.
59. Birch E E , Fawcett SL , Morale SE et al. Risk Factors for Accommodative Esotropia among Hypermetropic Children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* Texas 2005;46(2):526-529.
60. Mascaró Ballester F, Mascaró Zamora F, Carminal Mitjana JM. *Atlas de ecografía ocular.* 2007. Ed. Glossa SL.

61. España Contreras M, Fernandez- Baca Casares I. *OCT en las enfermedades retinianas y del nervio óptico*. Badalona 2007. Euromedice, Ediciones médicas, S.L.
62. Podesta, M. *Understanding the Properties of Matter*. 2002. CRC Press.
63. Koester CJ, Campbell CJ. *Lasers in Ophthalmology- Basic, Diagnostic and Surgical Aspects*. [ed.] F. Fankhauser and S. Kwasniewska. The Hague 2003. Kugler Publications.
64. Marshall., J. *Laser technology in ophthalmology*. Amstelveen 1988. Editorial Kugler y Ghedini Publications.
65. . Eliaçık M, Bayramlar H, Erdur SK . Anterior segment optical coherence tomography measurement after neodymium-yttrium-aluminum-garnet laser capsulotomy. *Am J Ophthalmol*. 2014 ; 158 (5): 994-8.
66. O'Neill D, Gregson R, Mc Hugh D. Current uses of ophthalmic lasers. *BMJ* London 1992; 304 (6835): 1161-1165.
67. Patel CKN. Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-rotational transitions of CO₂. *Physical Review A* 1964; 136: 1187-93.
68. Diaz M, Salom D. *Tomografía de coherencia óptica*. In: Menezo. *Técnicas de exploración en oftalmología*. Barcelona 2006. Editorial ESPAXS, S.A.
69. Chauhan, DS et al. The Interpretation of Optical Coherence Tomography Images of the Retina. , *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 1999; 40(10): 2332-2342.

70. Griñó Garcia-Pardo M . Lugo Quintás C, León F. Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) funcionamiento y utilidad en patología macular. *Gaceta Óptica* 2008;427.
71. Drexler W, Morgner U, Ghanta RK. Ultrahigh-resolution ophthalmic optical coherence tomography. *Nat Med.* 2001; 7(4) : 502–507.
72. Schuman, JS. Spectral Domain Optical Coherence Tomography for Glaucoma. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2008;106: 426-458.
73. Chauhan DS, Marshall J. The interpretation of optical coherence tomography images of the retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999; 40(10): 2332-2342.
74. LLópis, Muñoz Negrete FJ. Rebolleda G. Diaz. *Tomografía de Coherencia Óptica*. 2011. Sociedad Española de Oftalmología.
75. Braaf B, Vermeer K A, Groot M. Fiber-based polarization-sensitive OCT of the human retina with correction of system polarization distortions. *Biomed Opt Express.* 2014; 5 (8): 2736–2758.
76. Pinilla I, Ruiz-Moreno JM, Cuenca N. Correlación de la tomografía de coherencia óptica con la histología retiniana. *Arch Soc Esp Oftalmol* .Madrid 2012;87(9) .
77. Nagasawa T, Mitamura Y, Katome T. Macular choroidal thickness and volume in healthy pediatric individuals measured by swept-source optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013; 54(10):7068-74.
78. Ahn HC, Son HW, Kim JS. 3, Seoul .Quantitative Analysis of Retinal Nerve Fiber Layer Thickness of Normal Children and Adolescents. *Kor J Ophthalmol* 2005;19.

79. Barrio-Barrio J, Noval S, Galdós M, Ruiz-Canela M, Bonet E, Capote M, Lopez M. Multicenter Spanish study of spectral-domain optical coherence tomography in normal children. *Acta Ophthalmol.* 2013; 91: 56-63.
80. Prakalapakorn SG, Freedman SF, Lokhnygina Y et al. Longitudinal reproducibility of optical coherence tomography measurements in children. *JAAPOS* 2012; 16(6):523-8.
81. Huynh SC, Wang XY, Rochtchina 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(6):2351-2357.
82. 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(8):3276-3285.
83. Ecsedy M, Szamosi A , Karkó C , et al. A Comparison of Macular Structure Imaged by Optical Coherence Tomography in Preterm and Full-Term Children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci* 2007; 48(11): 5207-5211.
84. Huynh SC, Wang XY, Burlutsky G ,et al. Retinal and Optic Disc Findings in Adolescence: A Population-Based OCT Study. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2008; 49(10):4328-4335.
85. Zhang Z, He X, Zhu J. Macular Measurements Using Optical Coherence Tomography in Healthy Chinese School Age Children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2011; 52(9): 6377-6383.

86. Jun JH, Lee SY. The Effects of Optic Disc Factors on Retinal Nerve Fiber Layer Thickness Measurement in Children. *Korean J Ophthalmol* 2008;22(2): 115–122.
87. Aguirre F, Mengual E, Hueso JR. Comparison of normal and amblyopic retinas by optical coherence tomography in children. *Eur J Ophthalmol* 2010; 20:410-418.
88. Koprowski R, Wróbel Z, Wilczyński S . Methods of measuring the iridocorneal angle in tomographic images of the anterior segment of the eye. *Biomed Eng Online* 2013;12(40).
89. Gramatikov BI . Modern Technologies for retinal scanning and imaging: an introduction for the biomedical engineer. *BioMedical Eng Online*. Baltimore 2014;13:52.
90. Aviñó JA, Peris C. *Topografía del nervio óptico con láser confocal*. In: Menezo. *Técnicas de exploración en oftalmología*. Barcelona, 2006 .Editorial ESPAXS, S.A.
91. *Microscopía confocal*. In: *Temas, 6: La Ciencia de la Luz. Investigación y Ciencia*. Lichtman, JW. 1996. Ed. Prensa Científica, S.A.
92. Hata M, Miyamoto K, Oishi A et al. Measurement of retinal nerve fiber layer thickness in eyes with optic disc swelling by using scanning laser polarimetry and optical coherence tomography. *Clin Ophthalmol*.2014;8:105–111.
93. Rao HL, Yadav RK, Addepalli UK . Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Assessment of Spectral Domain Optical Coherence

Tomography and Scanning Laser Polarimetry to Diagnose Preperimetric Glaucoma. *PLoS One*. 2014;9(10).

94. Morgan JE, Waldock A, JeVery V, Cowey A. Retinal nerve fibre layer polarimetry: histological and clinical comparison. *Br J Ophthalmol* 1998;82:684–690.

95. Townsend KA, Wollstein G, Schuman J S. Imaging of the retinal nerve fibre layer for glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2009;93 (2):139–143.

96. Blumenthal EZ, Williams JM, Weinreb RN. Reproducibility of nerve fiber layer thickness measurements by use of optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2000;107:2278-82.

97. Chen TC, Cense B, Miller JW. Histologic correlation of in vivo optical coherence tomography images of the human retina. *Am J Ophthalmol* 2006;141:1165-8.

98. Yanni SE, Wang J, Cheng CS. Normative Reference Ranges for the Retinal Nerve Fiber Layer, Macula, and Retinal Layer Thicknesses in Children. *Am J Ophthalmol* 2013;55:354–360.

99. El-Dairi MA, Asrani SG, Enyedi LB. Optical Coherence Tomography in the Eyes of Normal Children. *Jama ophthalmol* 2009; 12(1).

100. Al-Haddad C, Barikian A, Jaroudi M. Spectral domain optical coherence tomography in children: normative data and biometric correlations. *BMC Ophthalmol*. 2014;14(53).

101. Pawar N, Maheshwari D, Ravindran M. Retinal nerve fiber layer thickness in normal Indian pediatric population measured with optical coherence tomography. *Indian J Ophthalmol*. 2014; 62(4): 412–418.

102. Gire J, Cornand E, Fogliarini C. Retinal nerve fiber layer in OCT 3: prospective study of 53 normal children. *J Fr Ophthalmol* 2010; 33(7): 444-9.
103. Prakalapakorn S G, Freedman SF. Longitudinal reproducibility of optical coherence tomography measurements in children. *J AAPOS* 2012; 16(6): 523–528.
104. Salchow DJ, Oleynikov YS, Chiang MF. Retinal nerve fiber layer thickness in normal children measured with optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2006; 113(5): 786-91.
105. Qian J, Wang W, Zhang X. Optical coherence tomography measurements of retinal nerve fiber layer thickness in chinese children and teenagers. *J Glaucoma*. 2011; 20(8): 509-13.
106. . Zhang Z, He Z, Zhu J. Macular Measurements Using Optical Coherence. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;52(9).
107. Gao Q, Chen X, Ge J et al. Refractive Shifts in Four Selected Artificial Vitreous Substitutes Based on Gullstrand-Emsley and Liou-Brennan Schematic Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2009;50(7).
108. Littmann, H. *Determination of the true size of an object on the fundus of the living eye. By H. Littmann from the original article, "Zur Bestimmung der wahren Grosse eines Objektes auf dem Hintergrund des lebenden Auges,". Optom Vis Sci*. 1992;69 (9): 717-20.
109. Garway-Heath DF, Rudnicka AR, Lowe T. Measurement of optic disc size: equivalence of methods to correct for ocular magnification. *Br J Ophthalmol* 1998;82: 643–649.

110. Bennet AG, Rudnicka AR, Edgar DF .Improvements on Littmann´s method of determining the size of retinal features by fundus photography. *Graefe´s Arch Clin Exp Ophthalmol* .London 1994;232: 361-367.
111. O´Rese J. Knight, BS, Robert T. Comparison of Retinal Nerve Fiber Layer Measurements Using Time Domain and Spectral Domain Optical Coherent Tomography. *Ophthalmology* 2009; 116 (7):1271–1277.
112. Seibold LK, Mandava N, Kahhok MY .Comparison of Retinal Nerve Fiber Layer Thickness in Normal Eyes Using Time-Domain and Spectral-Domain Optical Coherence Tomography. , *Am J Ophthalmol* 2010; 150 (6): 807-14.
113. Knight O J, Chang R T, Feuer WJ. Comparison of Retinal Nerve Fiber Layer Measurements Using Time Domain and Spectral Domain Optical Coherent Tomography. *Ophthalmology* Florida 2009; 116 (7): 1271–1277.
114. Folgar FA, Yuan EL, Farsiu S, Toth C A. Lateral and axial measurement differences between spectral-domain optical coherence tomography systems. *Journal of Biomedical Optics* 2014; 19 (1).
115. Shuang-Qing W, Zhu LW, Hangzhou Q X .Macular and peripapillary retinal nerve fiber layer thickness in children with hyperopic anisometric amblyopia. *Int J Ophthalmol* 2013;6.
116. Adhi M, Azi S, Muhammad K. Macular Thickness by Age and Gender in Healthy Eyes Using Spectral Domain Optical Coherence Tomography. *PLoS ONE* 2012;7.

117. Gupta P, Sidhartha E, Tham YC. Determinants of Macular Thickness Using Spectral Domain Optical Coherence Tomography in Healthy Eyes: The Singapore Chinese Eye Study. *Invest. Ophthalmol Vis. Sci.* Singapore 2013; 54(13):7968-7976.
118. Qu S, Sun XT, Xu W et al. Analysis of peripapillary retinal nerve fiber layer thickness of healthy Chinese from northwestern Shanghai using Cirrus HD-OCT. *Int J Ophthalmol.* Shanghai 2014; 7(4):654-658.
119. Elía N, Pueyo V, Altemir I. Normal reference ranges of optical coherence tomography parameters in childhood. *Br J Ophthalmol* 2012;96: 665-70.
120. Firat PG, Ozsoy E, Demirel S. Evaluation of peripapillary retinal nerve fiber layer, macula and ganglion cell thickness in amblyopia using spectral optical coherence tomography. *Int J Ophthalmol.* Turkey 2013; 6(1):90-94.
121. Aykut V, Oner V, Tas M. Influence of Axial Length on Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Thickness in Children: A Study by RTVue Spectral-Domain Optical Coherence Tomography. [ed.] Informa Healthcare. *Current Eye Research* 2013;38 (12):1241–1247.
122. Zhu B, Li S, Li H et al. Retinal Nerve Fiber Layer Thickness in a population of 12 year -Old Children in Central China Measured By iVue-100 Spectral- Domain Optical coherence Tomography: The Anyang Childhood Eye Study. *Invest Ophthalmol Vi Sci.* Beijing 2013; 54(13): 8104-11.
123. Al Haddad C, Antonios R, Tamim H. Interocular symmetry in retinal and optic nerve parameters in children as measured by spectral domain

optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol* . Beirut 2014;98:502–506.

124. Bueno-Gimeno I, Gene. Sampedro A, Piñero-Llopis D P. Corneal Biomechanics. Retinal Nerve Fiber Layer and Optic Disc in Children. , *Optometry and vision science* 2014; 9112: 1474-1482 .

125. Alamouti B, Funk J. Freiburg. Retinal thickness decreases with age: an OCT study. *Br J Ophthalmol* 2003; 87: 899-901.

126. Wong I YH, Wong A CM, Chan CWN. Relationship between age and peripapillary retinal nerve fibre layer thickness: an optical coherence tomography study. *Hong Kong Med J* 2010;16: 265-8.

127. Jung JJ, Baek SH, Kim US. Biometry and spectral domain optical coherence tomography parameters in children with large cupping. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013; 251(9):2213-7.

128. Mansoori T, Balakrishna N, Viswanath K. Influence of disc area on retinal nerve fiber layer thickness measurement by spectral domain optical coherence tomography. , *Indian J Ophthalmol* 2014; 62(5):615–618.

129. Savini G, Zanini M, Carelli V .Correlation between retinal nerve fibre layer thickness and optic nerve head size: an optical coherence tomography study. *Br J Ophthalmol*. 2005;89:489–492.

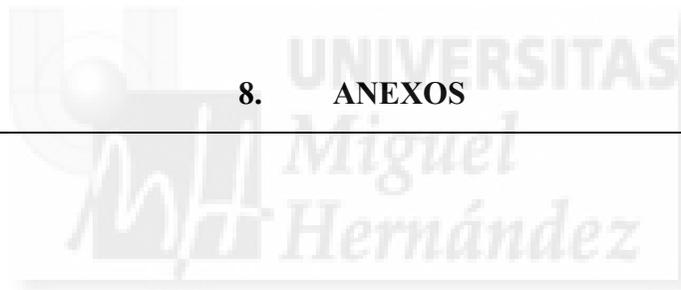
130. Jonas JB, Schmidt AM, Muller-Bergh JA. Human Optic Nerve Fiber Count and Optic Disc Size. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1992;33(6).

131. Savini G, Barboni P, Paris V. 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).

132. Hirasawa H, Shoji N, Yoshii Y, Determination of Axial Length Requiring Adjustment of Measured Circumpapillary Retinal Nerve Fiber Layer Thickness for Ocular Magnification. *PLoS ONE* .Austria 2014; 9 (9).
133. Tas M, Oner V, Türkü FM. Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Thickness in Hyperopic Children. *Optom Vis Sci*. 2012; 89(7):1009–1013.
134. Nowroozizadeh S, Cirineo N, Amini N et al. Influence of Correction of Ocular Magnification on Spectral-Domain OCT Retinal Nerve Fiber Layer Measurement Variability and Performance. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. Los Angeles 2014; 55:3439–3446.



8. ANEXOS



8.1. ANEXO1

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE HIPERMÉTROPE

Se le ofrece la posibilidad de participar en el proyecto de investigación titulado “Análisis del grosor macular, de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros papilares con SD-OCT en niños hipermétropes “ realizado en nuestro Servicio de Oftalmología que ha sido ya evaluado y aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital de San Juan de Alicante.

¿Cuál es el objetivo de este estudio?

El objetivo del estudio es medir el grosor retiniano en la mácula (área central de la retina) y analizar la capa de fibras nerviosas de la retina adyacentes a la cabeza del nervio óptico en ojos de niños hipermétropes y así conocer si existe alguna diferencia con los ojos de los niños emétropes (sin error refractivo).

¿Por qué se le ha pedido que participe?

Se pide su participación en este estudio ya que su hijo/a ha sido diagnosticado de hipermetropía.

¿En qué consiste su participación? ¿Qué tipo de pruebas o procedimientos se realizarán?

Se le solicita permiso para utilizar con fines científico los datos clínicos de su hijo. Se le realizará una entrevista clínica y una revisión

oftalmológica completa (con toma de agudeza visual, valoración de la motilidad ocular, exploración con lámpara de hendidura, refracción bajo cicloplejia y fondo de ojo) añadiendo biometría ocular (ecografía) y tomografía ocular computerizada (OCT).

La participación en el presente proyecto no supone ninguna alteración del tratamiento que esté llevando su hijo (si lo tiene) y todo tratamiento que se le pueda poner a partir de este estudio será siempre bajo criterio médico.

¿Cuáles son los riesgos generales de participar en este estudio?

El riesgo previsible de su participación únicamente será el mínimo riesgo de reacción adversa al colirio anestésico que se utiliza para realizar la biometría ocular que incluye reacción alérgica.

¿Cuáles son los beneficios de la participación en este estudio?

Los resultados obtenidos en esta investigación podrán ayudar a conocer mejor la patología de su hijo/a. Por otro lado, participar en este estudio le permitirá saber las diferentes medidas anatómicas del ojo de su hijo/a y acceder a una copia del análisis estructural.

¿Qué pasará si decido no participar en este estudio?

Su participación es voluntaria. En caso de que decida no participar en este estudio, esto no modificará el trato y seguimiento que de la patología de su hijo realicen ni su médico ni el resto del personal sanitario. Así mismo, podrá retirarse del estudio en cualquier momento.

¿A quién puedo preguntar en caso de duda?

Es importante que comente con el investigador de este proyecto los pormenores o dudas que surjan antes de firmar el consentimiento para la participación de su hijo/a.

Además, podrá solicitar cualquier explicación que desee sobre cualquier aspecto del estudio y sus implicaciones a lo largo del mismo contactando con el investigador principal del proyecto, la Dra Font, en el teléfono 965938700 ext 53135.

Confidencialidad:

Toda la información médica relacionada con la patología de su hijo/a será tratada con absoluta confidencialidad por parte del personal encargado de la investigación.

Tal y como contempla la Ley de Protección de Datos de Carácter Personal, podrá ejercer su derecho a acceder, rectificar o cancelar sus datos contactando con el investigador principal de este estudio.

Yo, tutor, padre o madre del paciente..... con SIP....., doy mi consentimiento para que mi hijo/a participe es el proyecto de investigación “Análisis del grosor macular, de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros papilares con SD-OCT en niños hipermétropes”.

En Alicantede.....de.....;

Firmado: padre, madre, tutor legal

DNI:



8.1. ANEXO 2

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN EL ESTUDIO

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE CONTROL

Se le ofrece la posibilidad de participar en el proyecto de investigación titulado “Análisis del grosor macular, de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros papilares con SD-OCT en niños hipermétropes” realizado en nuestro Servicio de Oftalmología que ha sido ya evaluado y aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital de San Juan de Alicante.

¿Cuál es el objetivo de este estudio?

El objetivo del estudio es medir el grosor retiniano en la mácula (área central de la retina) y analizar la capa de fibras nerviosas de la retina adyacentes a la cabeza del nervio óptico en ojos de niños hipermétropes y así conocer si existe alguna diferencia con los ojos de los niños emétropes (sin error refractivo).

¿Por qué se le ha pedido que participe?

Se pide su participación en este estudio ya que su hijo/a es emétrope, esto es, no presenta ningún defecto de refracción y no precisa llevar gafas.

¿En qué consiste su participación? ¿Qué tipo de pruebas o procedimientos se realizarán?

Se le solicita permiso para utilizar con fines científico los datos clínicos de su hijo. Se le realizará una entrevista clínica y una revisión oftalmológica completa (que incluye toma de agudeza visual, valoración de la motilidad ocular, exploración con lámpara de hendidura, refracción bajo cicloplejia y fondo de ojo) añadiendo biometría ocular (ecografía) y tomografía ocular computerizada (OCT).

La participación en el presente proyecto no supone ninguna alteración del tratamiento que esté llevando su hijo (si lo tiene) y todo tratamiento que se le pueda poner a partir de este estudio será siempre bajo criterio médico.

¿Cuáles son los riesgos generales de participar en este estudio?

El riesgo previsible de su participación únicamente será el mínimo riesgo de reacción adversa al colirio anestésico que se utiliza para realizar la biometría ocular que incluye reacción alérgica.

¿Cuáles son los beneficios de la participación en este estudio?

Los resultados obtenidos en esta investigación podrán ayudar a conocer mejor las medidas normales esperables en los ojos de niños sin defectos de refracción. Por otro lado, participar en este estudio le permitirá conocer las diferentes medidas anatómicas del ojo de su hijo/a y acceder a una copia del análisis estructural.

¿Qué pasará si decido no participar en este estudio?

Su participación es voluntaria. En caso de que decida no participar en este estudio, esto no modificará el trato y seguimiento de su hijo que realicen ni su médico ni el resto del personal sanitario. Así mismo, podrá retirarse del estudio en cualquier momento.

¿A quién puedo preguntar en caso de duda?

Es importante que comente con el investigador de este proyecto los pormenores o dudas que surjan antes de firmar el consentimiento para la participación de su hijo/a.

Además, podrá solicitar cualquier explicación que desee sobre cualquier aspecto del estudio y sus implicaciones a lo largo del mismo contactando con el investigador principal del proyecto, la Dra Font, en el teléfono 965938700 ext 53135.

Confidencialidad:

Todos los datos de su hijo derivados de este estudio serán tratados con absoluta confidencialidad por parte del personal encargado de la investigación.

Tal y como contempla la Ley de Protección de Datos de Carácter Personal, podrá ejercer su derecho a acceder, rectificar o cancelar sus datos contactando con el investigador principal de este estudio.

Yo, tutor, padre o madre del paciente..... con SIP....., doy mi consentimiento para que mi hijo/a participe es el proyecto de investigación “Análisis del grosor macular, de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar y parámetros papilares con SD-OCT en niños hipermétropes”.

En Alicantede.....de.....;

Firmado: padre, madre, tutor legal

DNI:

