



TOMOGRAFÍA ÓPTICA COHERENTE (OCT)

AUTORES

Mark Dunbar: Bascom Palmer Eye Institute, University of Miami

Sarah McGowan: Mzuzu University

PAR REVISOR

Jean-Sébastien Dufour: University of Montreal

INTRODUCCIÓN

La tomografía óptica coherente (OCT) puede usarse en varios tejidos biológicos, pero, ha ganado popularidad entre los profesionales del cuidado y salud visual pues permite observar estructuras oculares, incluyendo la retina, cabeza del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas (RNFL), con el propósito de diagnóstico y monitoreo de las enfermedades retinales y del nervio óptico. La tecnología OCT, cuando se aplica con propósitos oftálmicos, ofrece una opción de mostrar de manera no invasiva, cualitativa, cuantitativa y repetible imágenes que permitan diagnosticar, observar y monitorear in vivo detalles de los tejidos biológicos del ojo que de otra manera permanecerían invisibles para el profesional durante una evaluación estándar del fondo de ojo. Aunque el OCT no fue hecho con la intención de hacer diagnósticos de un examen clínico, ha generado conocimientos sobre diferentes patologías y se ha convertido rápidamente en un componente clínico de tratamiento en ciertos procesos de enfermedad.

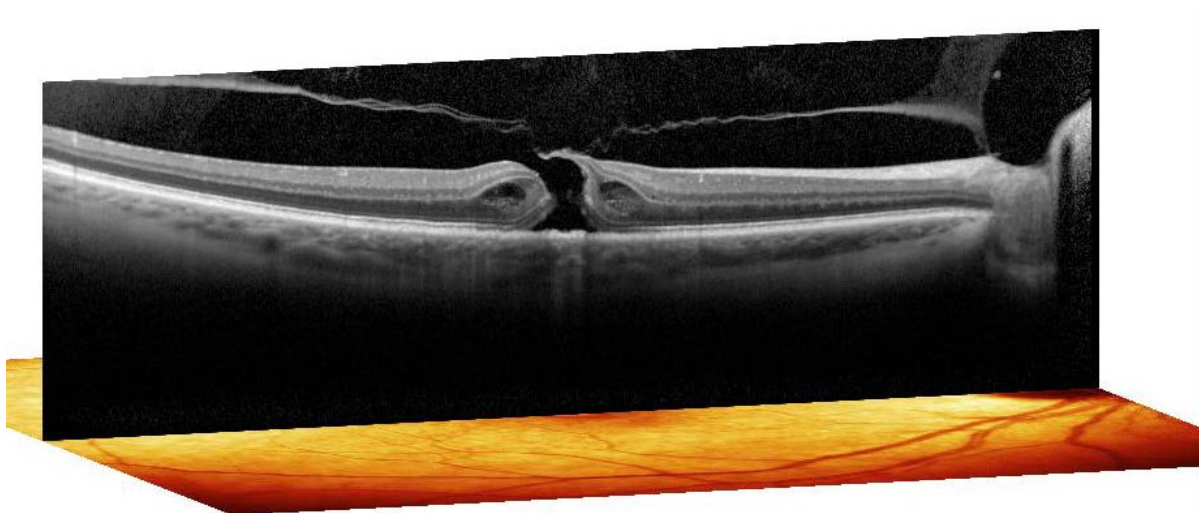


Figura 13- 1.. OCT Spectralis (ingeniería de Heidelberg), imagen retinal, corte transversal foveal superimpuesto a 2-D. El OCT Spectralis tiene un software para generar imágenes tipo video a través de áreas consecutivas de la retina al igual que imágenes 3D de anatomía y topografía retiniana. Con la tecnología OCT, las capas retinianas pueden diferenciarse y el grosor retiniano puede medirse.

PRINCIPIOS DEL OCT

La imagen obtenida con el OCT es similar a la imagen B del ultrasonido. Las imágenes transversales de la retina se generan usando la dispersión de la luz de forma similar la ultrasonografía B, excepto en que se usa luz en lugar de ondas de sonido para generar la imagen. La imagen es generada por un laser de luz superluminiscente (810nm) que es dispersada, reflejada y absorbida por el tejido. La imagen transversal resultante se genera de miles de escaneos A (imágenes unidimensionales). La resolución de los sistemas de OCT se establece con las propiedades de la coherencia de la fuente luminosa. Un rayo de luz coherente, espacialmente uniforme (luz blanca) se genera a partir del laser para obtener imágenes de alta resolución. La luz de baja coherencia permite que se una velocidad de propagación casi 1 millón de veces más rápida que la velocidad del sonido.

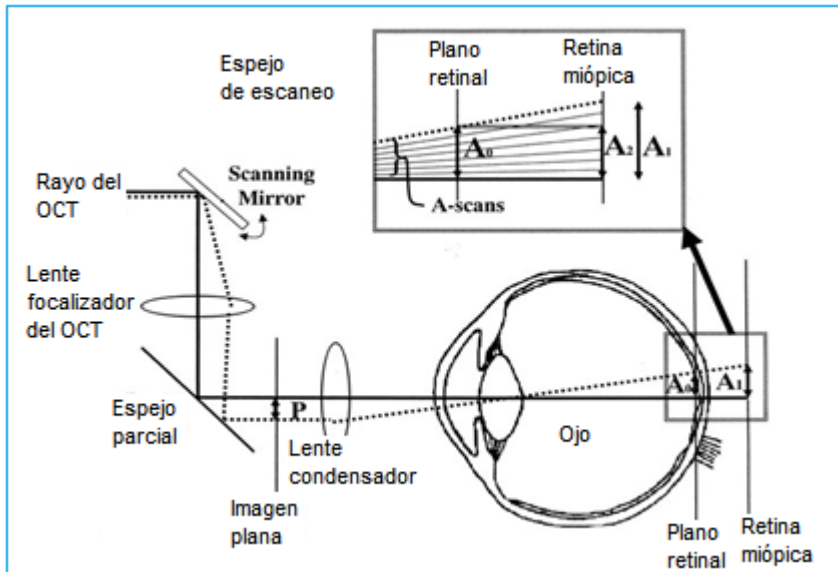


Figura 13-2. Principios básicos de un montaje de OCT moderno. La luz se transmite al ojo a través de un Sistema de fibras ópticas. Previo a la transmisión ocular, el rayo infrarrojo se divide en dos diferentes rutas. Un rayo se dirige a un espejo de referencia (rayo de referencia). El otro se dirige al ojo. La luz de ambos rayos se refleja desde el ojo y se combina con un interferómetro de fibra óptica. La información temporal (tiempo o retraso) presente en el patrón de interferencia resultante es la base de la construcción de las imágenes del OCT.

La imagen se muestra usando una escala logarítmica de “falso color”, en la que la intensidad dispersada de la luz corresponde a una escala de color. La intensidad de la luz es dependiente de las propiedades ópticas (índice de refracción) de la capa de tejido que se está observando. Las capas altamente reflectivas (E.j. pigmento, sangre) se muestran en rojo. Aunque la imagen del OCT puede mostrarse en colores, muchos profesionales prefieren usar la imagen en blanco y negro porque Brinda una mejor percepción de los detalles.

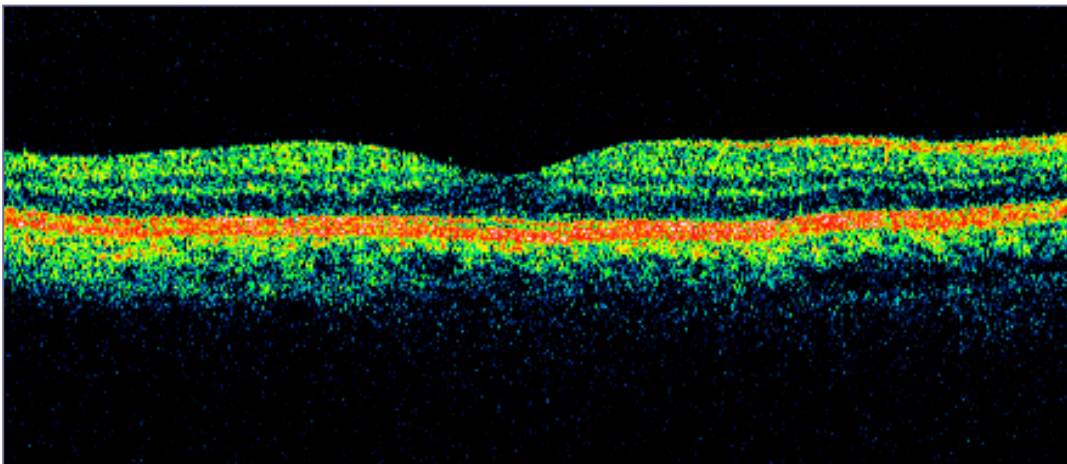


Figura 13-3. OCT estratificado. Depresión foveal y mácula normal.

ELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DIAGNÓSTICA

¿OCT O ULTRASONIDO?

Existen diferentes factores para determinar si el OCT o la ultrasonografía son las herramientas indicadas.

OCT

- Imagen detallada, 10 a 20X de resolución comparado con el ultrasonido
- Muestra los tejidos que son ópticamente accesibles- si no los puede ver usted, tampoco puede hacerlo el OCT
 - Cataratas densas, hemorragia vítrea, opacidad corneal
- No hay contacto corneal

Ultrasonido

- Genera la imagen a través de medios densos
- Contacto corneal directo
- Diferenciación de tejidos y propiedades dinámicas, i.e. vascularidad

BENEFICIOS DEL OCT / VENTAJAS SOBRE LA OFTALMOSCOPIA

- Objetivo
- Cuantitativo
- No hay contacto con el paciente (la oftalmoscopia también es una técnica de no contacto)
- Operable por un técnico con mínimo entrenamiento
- Mayor campo de visión
- Imágenes detalladas de las capas retinianas y anomalías que no se observan en la oftalmoscopia
- Resultados repetibles y reproducibles
- Software para monitorear la progresión
- El disco óptico, RNFL y retina pueden observarse a través de la pupila no dilatada

La cuantificación combinada con la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados permite una mejor y más temprana determinación de la progression, intervención temprana y determinación de la resolución de una enfermedad. Esto también puede ser beneficioso en un contexto clínico de monitoreo de la eficacia del tratamiento en casos en los que no está afectada la agudeza visual.

ERRORES EN LA MEDICIÓN E IMAGENOLOGÍA CON EL OCT

- Fijación errónea
- Movimiento (menor problema con el SD-OCT)
- Parpadeo
- Mal posicionamiento en el equipo (E.j. no tener la cabeza apoyada en la frentonera)
- Medios opacos
- Opacidades vítreas
- Estafiloma
- Alteración del EPR, ONH y RNFL- atrofia periférica, miopía degenerativa, defecto refractivo alto
- Nervio óptico inclinado
- Drusen del nervio óptico
- Cambios pigmentarios periféricos sectorizados

OCT DEL SEGMENTO POSTERIOR

El diseño original del OCT se basó en el tiempo y en la medición de las distancias, denominándose como una tecnología de tiempo-dominio o OCT tiempo-dominio. El equipo se construyó para determinar el tiempo de retraso del eco y la intensidad de la luz reflejada (Hee et al 1995). La tecnología OCT que se desarrolló a principios de 1990 (Huang 1991), se ha convertido en una tecnología que puede generar imágenes en tiempo real, in vivo con una resolución entre 3 y 15 μm .

Equipos actuales

- OCT tiempo-dominio – resolución 5-10 μm
 - OCT estratificado (Carl Zeiss, Meditec, Dublin, CA)
 - El espejo de movimiento de referencia mecánica realiza cada escaneo A
- OCT de Fourier/ espectral/alta velocidad/ alta definición 3-5 μm de resolución (Wojtkowski et al 2005) (Diámetro de glóbulos rojos es de 7 μm)
 - OCT de alta definición cirrus (HD-OCT) (Carl Zeiss, Meditec, Dublin, CA)
 - RTVue 100 (Optovue, Fremont, CA)
 - HRA+OCT Spectralis (Ingeniería Heidelberg, Vista, CA)
 - Optical Coherence Tomography RS-3000 Advance (Nidek, Japan)
 - OCT/SLO Combination Imaging System (Optos, Inc Dunfermline, UK)
 - 3D OCT-2000 Spectral Domain OCT (Topcon Medical Systems, Tokyo, Japan)

COMPARACIÓN DEL OCT TD Y FD

Con el OCT-TD Con el OCT-TD, la información acumulada a lo largo de la dirección longitudinal de la retina, un pixel a la vez y 1024 pixeles por escaneo A. En 1.28 segundos, 512 escaneos A (1D) se recolectan y se crean las imágenes del escaneo B (2D).

Con el OCT-FD, el espejo de referencia es estacionario y la imagen se captura usando una cámara de transferencia rápida CCD. Un espectrómetro analiza la señal mediante longitud de onda y el interferograma espectral resultante se convierte mediante la transformación de Fourier en una imagen de escaneo A típica. Con el Nuevo OCT SD comercialmente disponible, la velocidad de adquisición puede alcanzar hasta los 68000 escaneos A por Segundo, permitiendo una resolución más alta en comparación con el OCT tiempo dominio. La velocidad es más rápida que los movimientos oculares, por tanto éstos no deterioran la calidad de la imagen.

La tecnología está avanzando rápidamente con los nuevos fabricantes en el Mercado. La competencia está bajando los costos e incrementando la accesibilidad y uso del OCT en clínicas de optometría.

Nueva tecnología en el OCT-SD

- Mejora del software
- Reducción del ruido/ tecnología de superposición que genera una imagen de resolución más alta
- Mejoría en los esquemas 3D
- Mejor profundidad de imagen – Imagen coroidea
- Localización automática de la fovea
- Software de análisis de progresión
- Expansión de las bases de datos normativas

Es importante recordar que debido a las diferentes características imagenológicas entre los OCT's (tiempo dominio vs. equipos de dominio espectral), el profesional debe establecer una base de datos nueva si cambia de equipo para analizar la progression de la enfermedad de un paciente.

APLICACIÓN CLÍNICA

El escaneo del polo posterior que emplea el “escaneo macular rápido” en el que el área de 6mm es escaneada (6 líneas de escaneo), generando un mapa de grosor de 360 grados bidimensional dividido en sectores maculares circulares a 1mm, 3mm y 6mm de la fovea. La cuantificación del grosor retiniano se muestra en un parámetro del display. Las áreas más gruesas de la retina se muestran en rojo/Amarillo, mientras que las más delgadas se muestran en azul. La fovea normal tiene $200 \pm 20 \mu\text{m}$ de grosor y se muestra en azul. Una diferencia de más de 30 micras entre ambos ojos generalmente es sospechosa. Este escaneo brinda una evaluación rápida de toda el área macular. Un inconveniente de esto, sin embargo, es que si una lesión se encuentra entre las 6 líneas evaluadas, puede pasarse por alto. Adicionalmente, la información entre las líneas es extrapolada, lo que da un campo para el error.

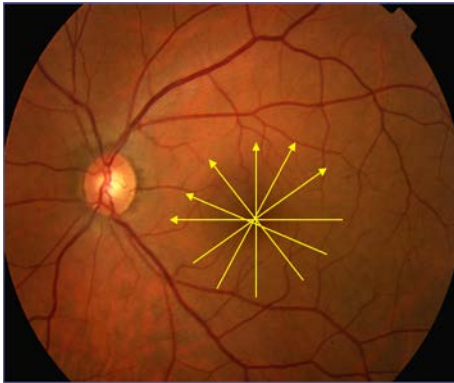


Figura 13- 4. Fondo de ojo con el escaneo macular como se realiza con el OCT estratificado. La línea escanea en 6 direcciones en un círculo centrado en la fovea.

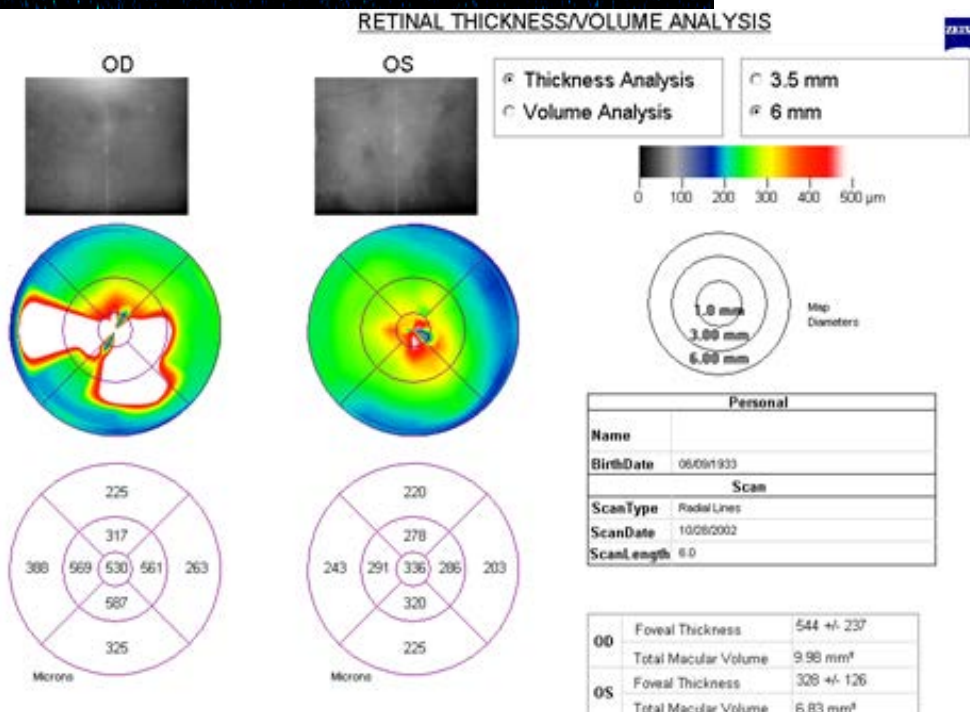
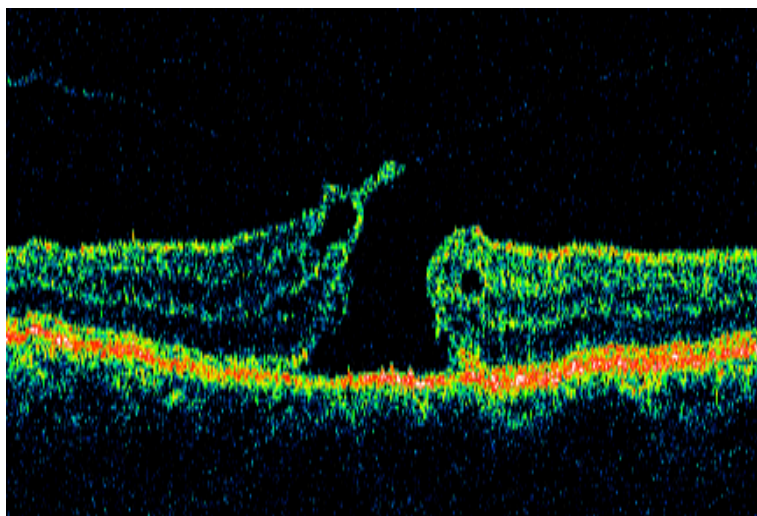


Figura 13- 5. (1) OCT estratificado a través de la fovea que muestra agujero macular incompleto en OD. (2) Mapa de grosor macular correspondiente

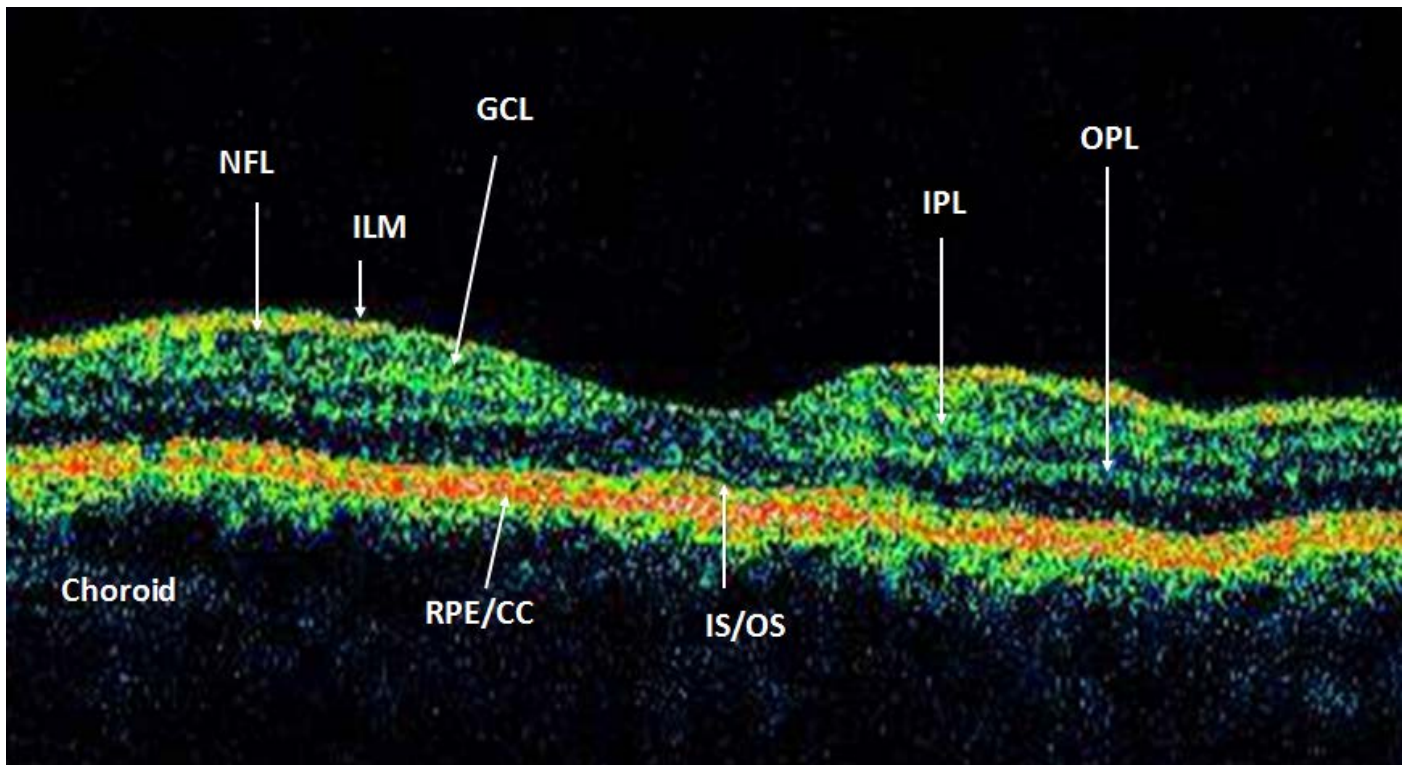


Figura 13-6. OCT estratificado. Capas retinianas enunciadas

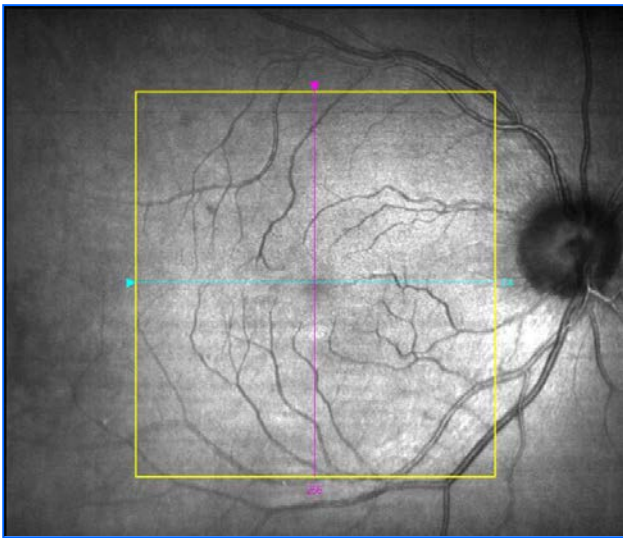


Figura 13-7. Cubo macular como se observa con el OCT-HD Cirrus centrado en la fovea. El Cirrus escanea la totalidad del área dentro del cubo.

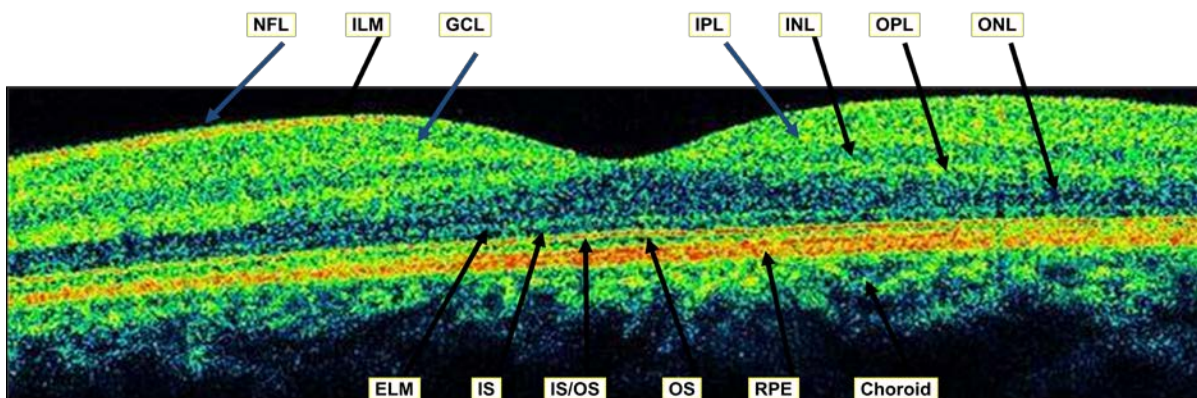


Figura 13-8. OCT-HD Cirrus. Retina normal con las capas enunciadas

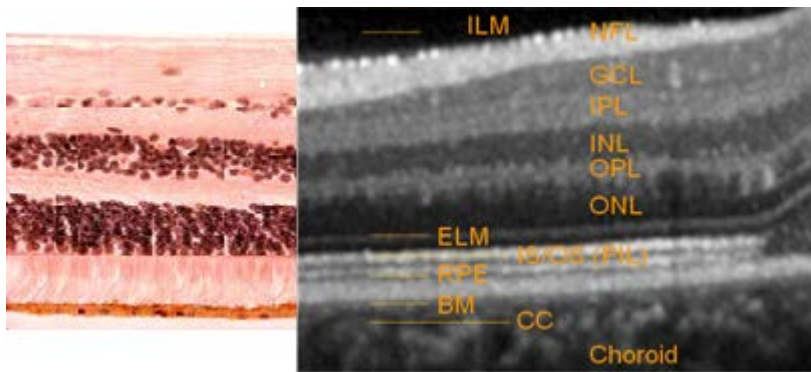


Figura 13-9. Sección retiniana histológica de 50 μm . Imagen OCT-SD que indica las capas correspondientes.

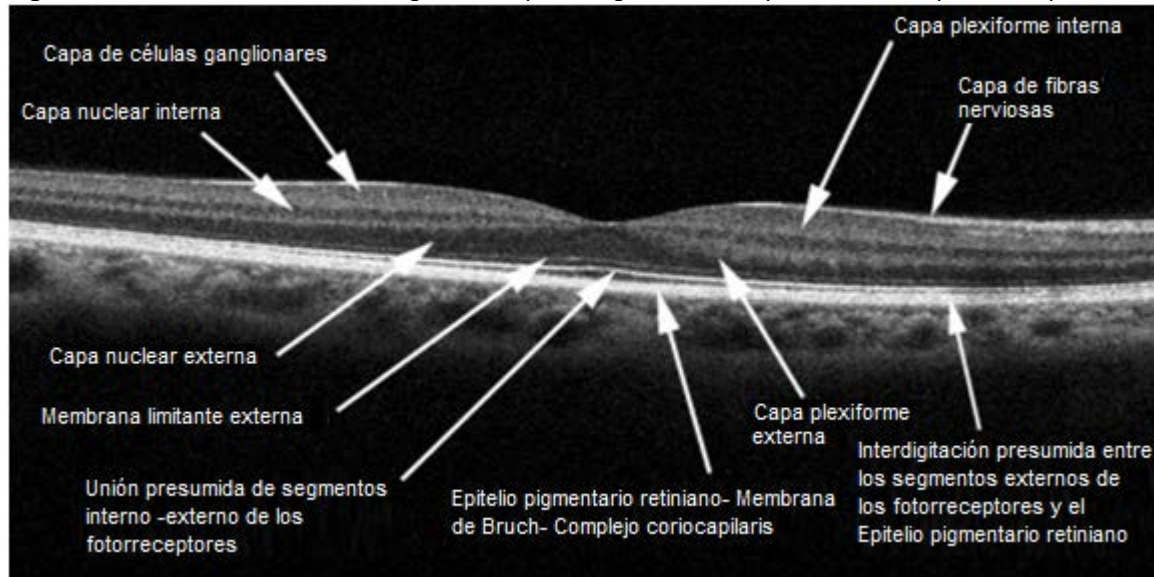


Figura 13-10: Capas de la retina (Cirrus HD OCT)

El cuadrado amarillo en el LSLO representa los bordes de 6mm x 6mm del cubo macular escaneado

La imagen transversal ajustable del fondo muestra la localización de los escaneos horizontal y vertical seleccionados

Escaneo Horizontal B que comprende 512 escaneos A

Escaneo vertical B que comprende 128 escaneos A

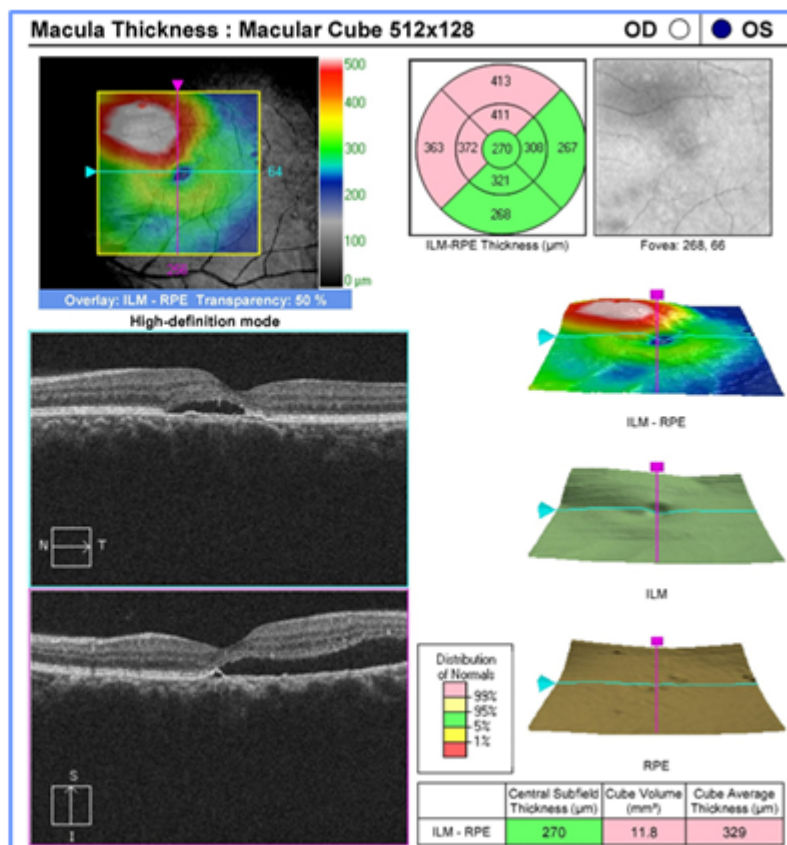


Figura 13-11. Impresión macular OI Cirrus HD-OCT. La imagen está centrada en la fovea con un engrosamiento retinal adyacente.



Otra aplicación clínica del OCT es la visualización de los segmentos internos (IS) y externos (OS) de los fotorreceptores. La línea IS/OS se conoce con el nombre de capa de integridad del fotorreceptor (PIL) y por tanto, una PIL intacta observada con el OCT es una indicación de que la capa de fotorreceptores ha mantenido su integridad, a pesar, de estar frente a un proceso patológico. Esta interfase se ve afectada por enfermedades de la retina externa y aunque esté intacta, es invisible para el profesional mediante la oftalmoscopia.

USO CLÍNICO DEL OCT

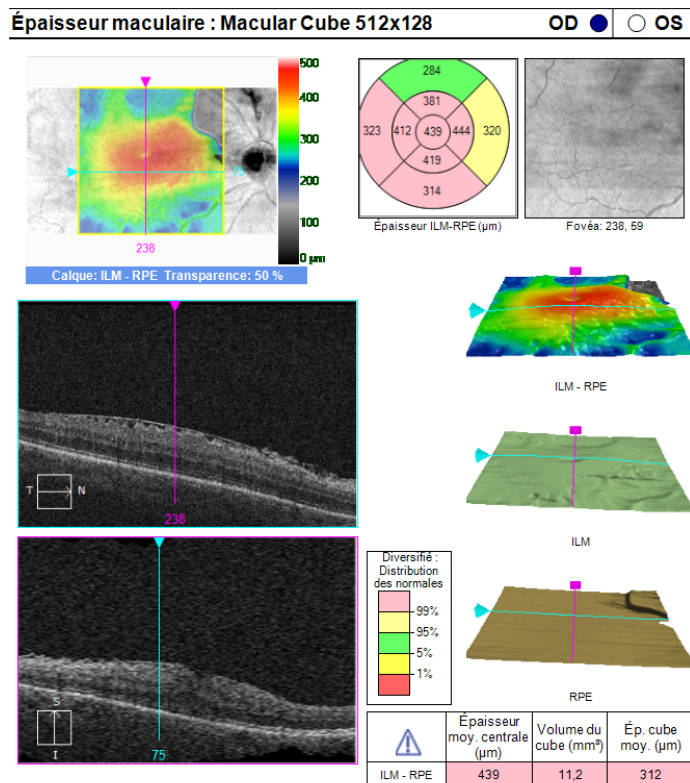
- Evaluación de alta resolución de la anatomía retiniana
- Diagnóstico de condiciones maculares que son difíciles de lograr con la biomicroscopía
- Evaluación cuantitativa de las alteraciones anatómicas vitreoretinianas
- Método objetivo de monitoreo de la progresión de enfermedades o respuestas terapéuticas
 - Por ejemplo, resolución de un edema luego de un tratamiento, progresión y repetibilidad. EL grosor del edema no puede calcularse con la oftalmoscopia.

PATOLOGÍAS COMÚNES QUE SE OBSERVAN O MONITOREAN CON EL OCT

- Tracción vitreomacular
- Neuropatías ópticas que afectan la RNFL
- Distrofias retinianas externas (PIL)
- Tumores retinales
- Desprendimiento de retina
- Retinosquisis
- Retinopatía diabética
- Edema macular
- Agujero macular
- Corioretinopatía central serosa (CSCR)
- Degeneración macular
- Membranas neovasculares coroideas ocultas (CNVM)
- Retinitis
- Coroiditis
- Degeneración coroidea



EJEMPLOS CON EL CIRRUS HD-OCT

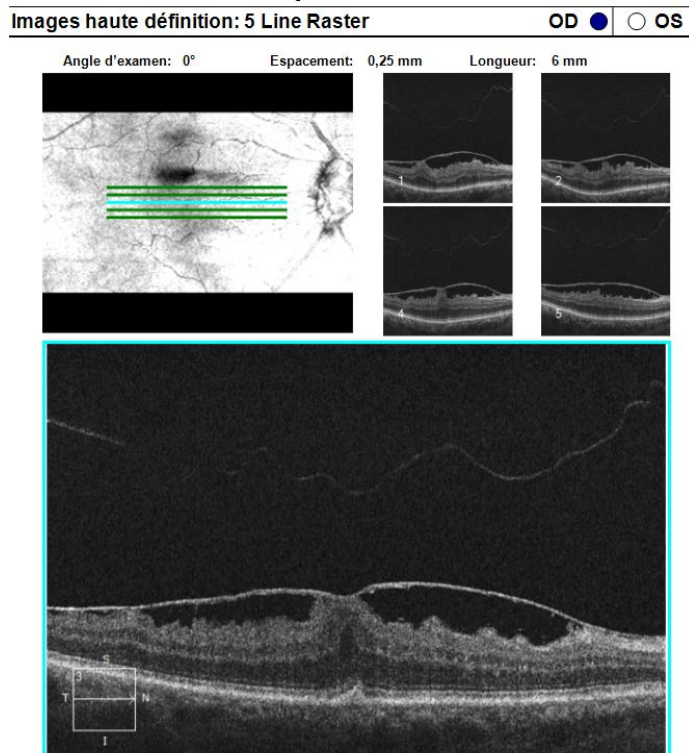


Commentaires

Signature du médecin

SW Ver: 6.0.2.81
Copyright 2012
Carl Zeiss Meditec, Inc.
All Rights Reserved

Figura 13-12: Membrana Epirretiniana. Note la fina capa hiperreflectiva en la superficie retiniana. La membrane Epirretiniana generalmente se asocia con un engrosamiento importante de la retina.



Commentaires

Signature du médecin

SW Ver: 6.0.2.81
Copyright 2012
Carl Zeiss Meditec, Inc.
All Rights Reserved

Figura 13-13: Membrana epirretiniana asociada con una irregularidad de la capa IS/OS

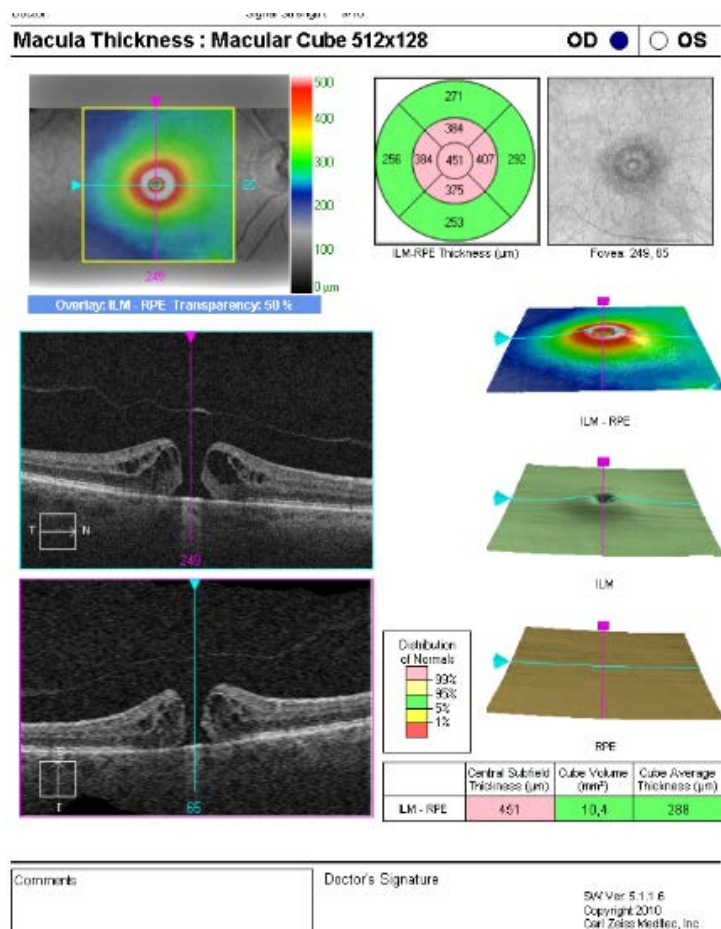


Figura 13-14: Agujero macular de espesor completo con opérculo. Note el edema considerable al borde dle agujero.

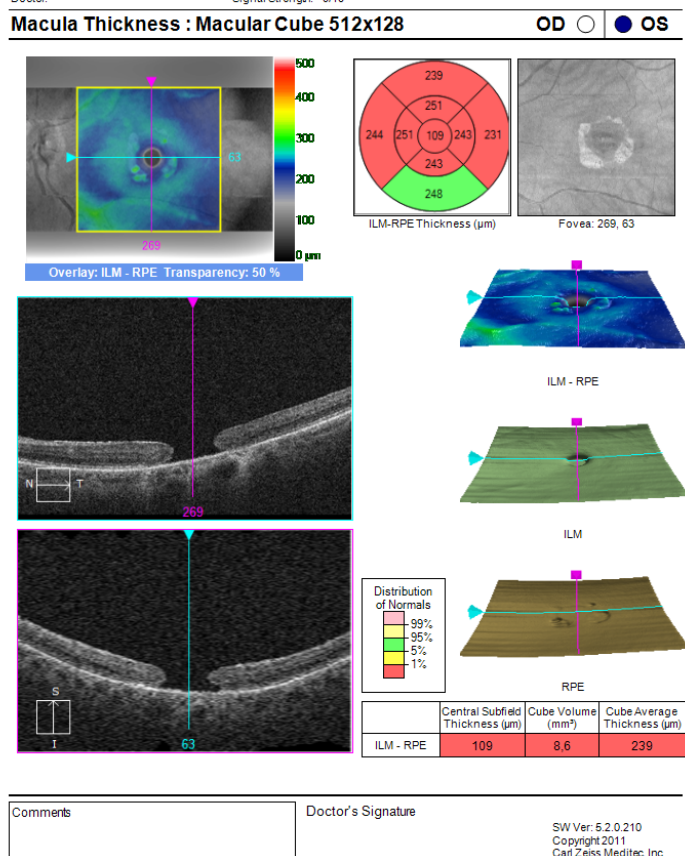


Figura 13-15: Agujero macular de espesor completo con atrofia retiniana alrededor del mismo.

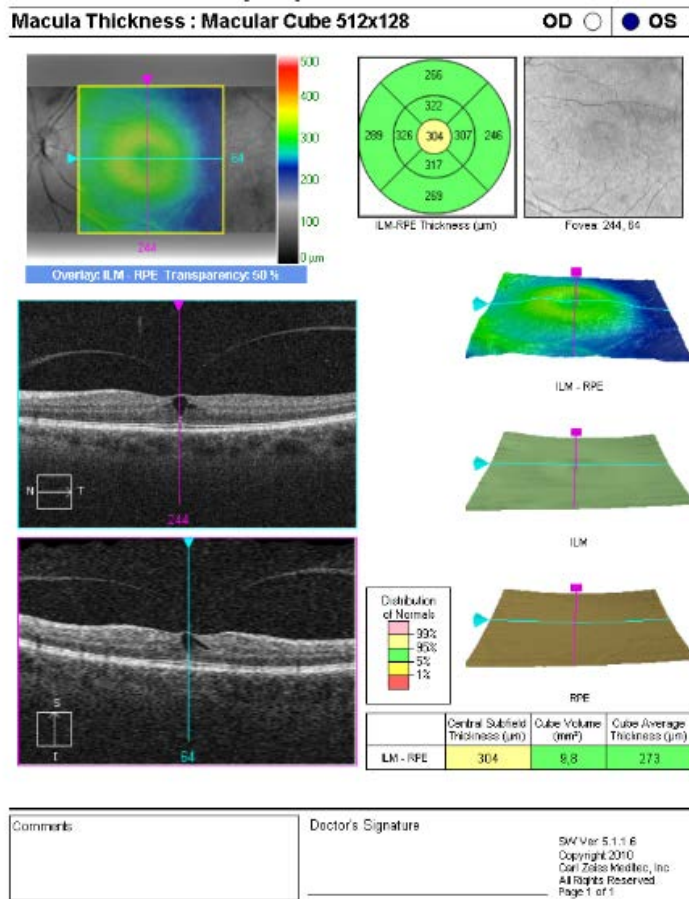


Figura 13-16: Agujero macular estadio 1

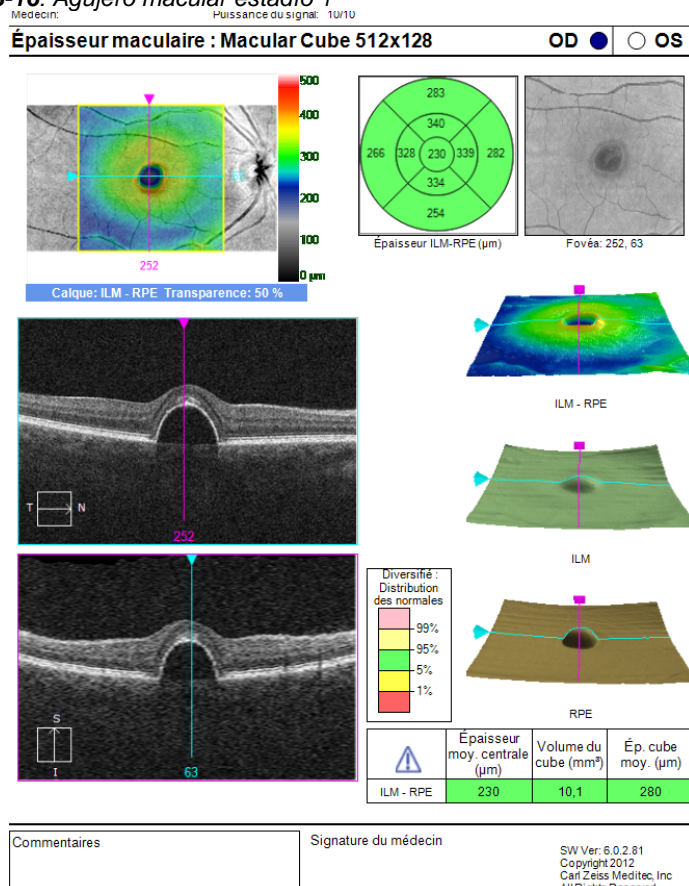


Figura 13-17: Desprendimiento del epitelio pigmentario (PED)

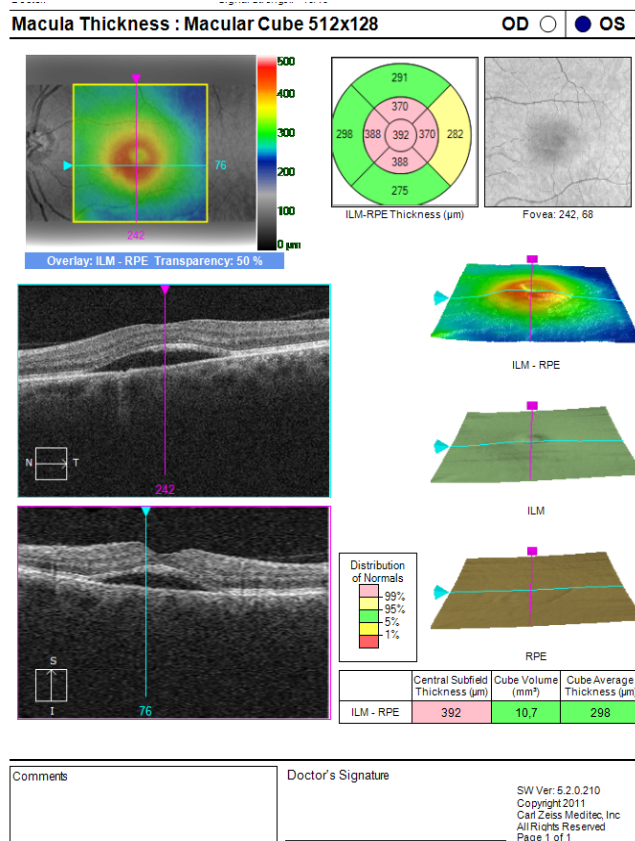


Figura 13-18: Retinopatía central serosa

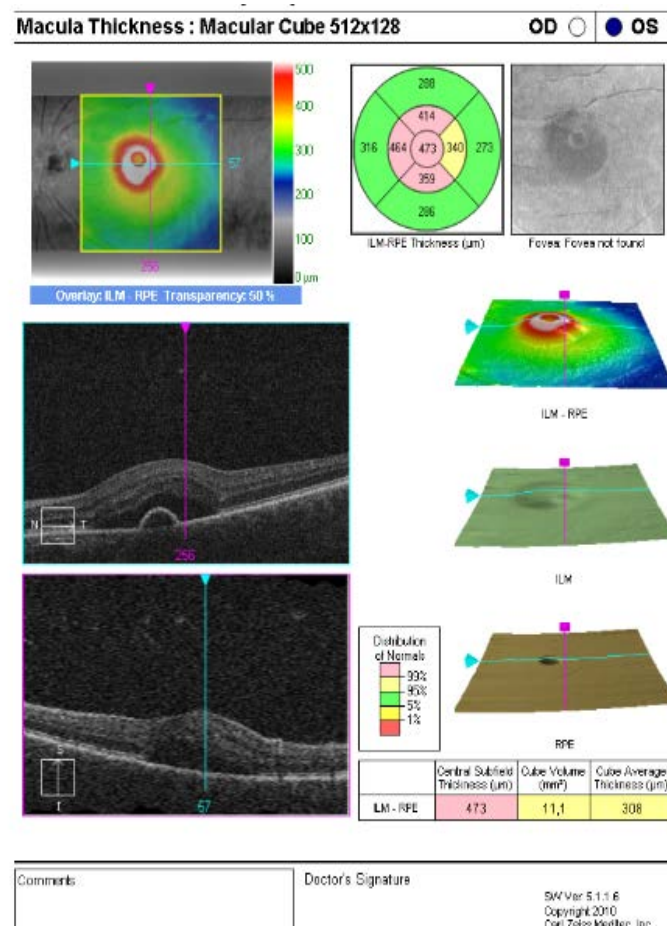


Figura 13-19: Desprendimiento del EPR pequeño con un desprendimiento neurosensorial, asociado a la retinopatía serosa central

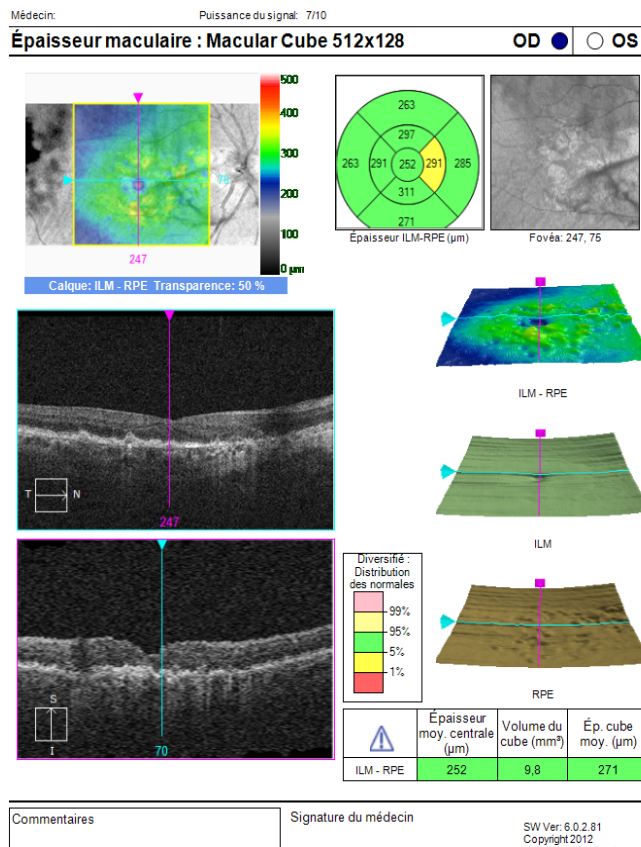


Figura 13-20: Degeneración macular: drusas

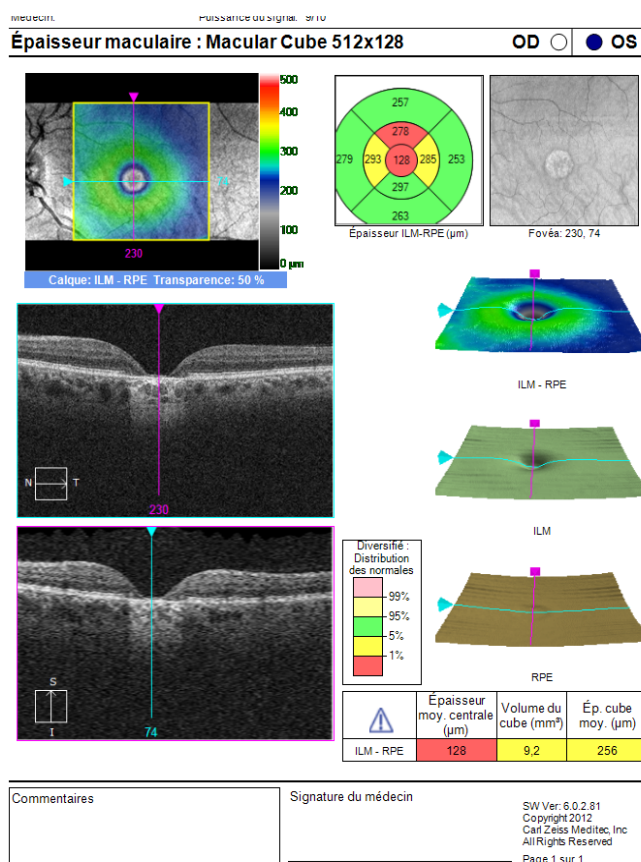


Figura 13-21: Degeneración macular: atrofia del EPR

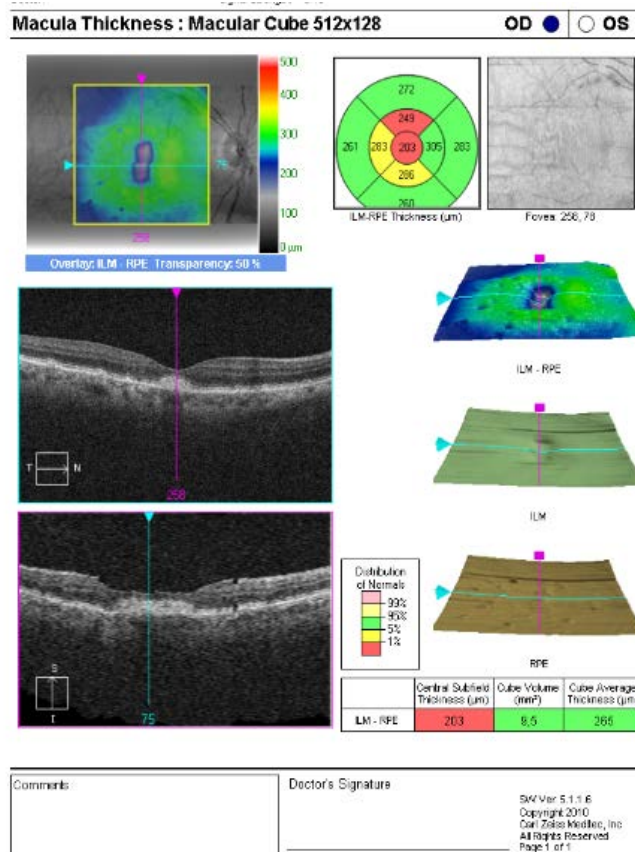


Figura 13-22: Degeneración pseudo-viteliforme

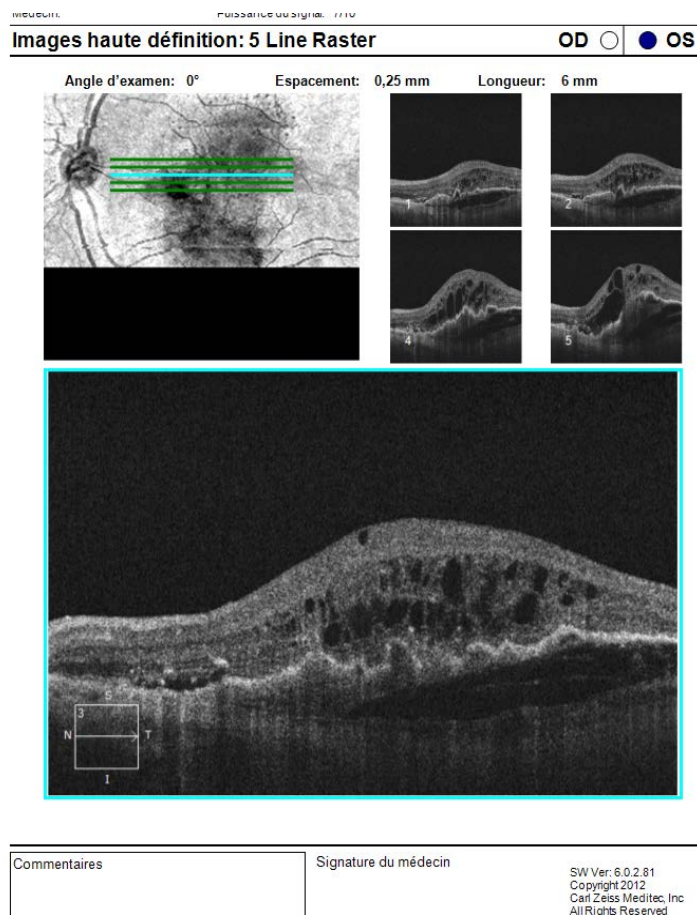


Figura 13-23: Degeneración macular: CNVM con fluido sub e intra retinal

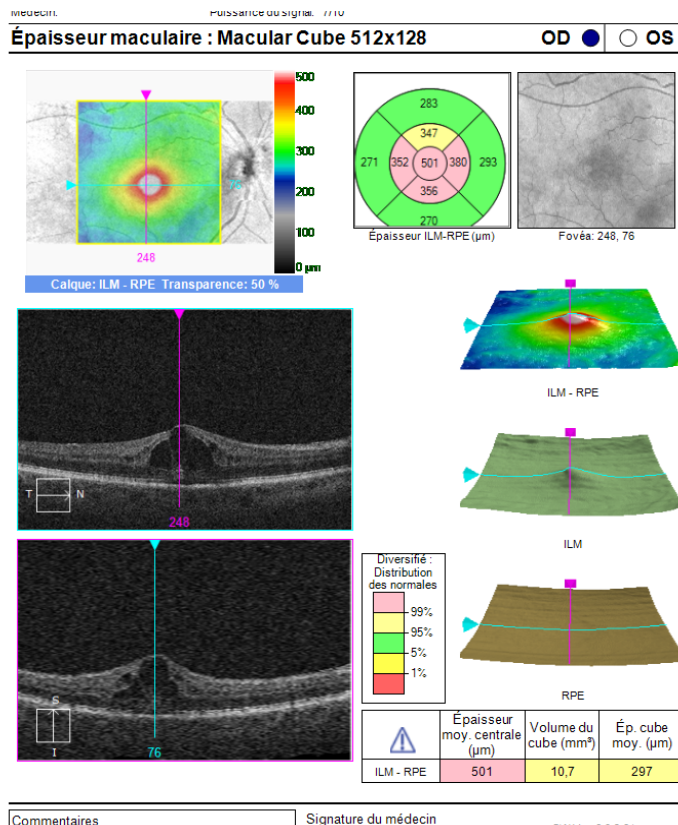


Figura 13-24: Edema Macular Cistoïde (CME) luego de cirugía de catarata

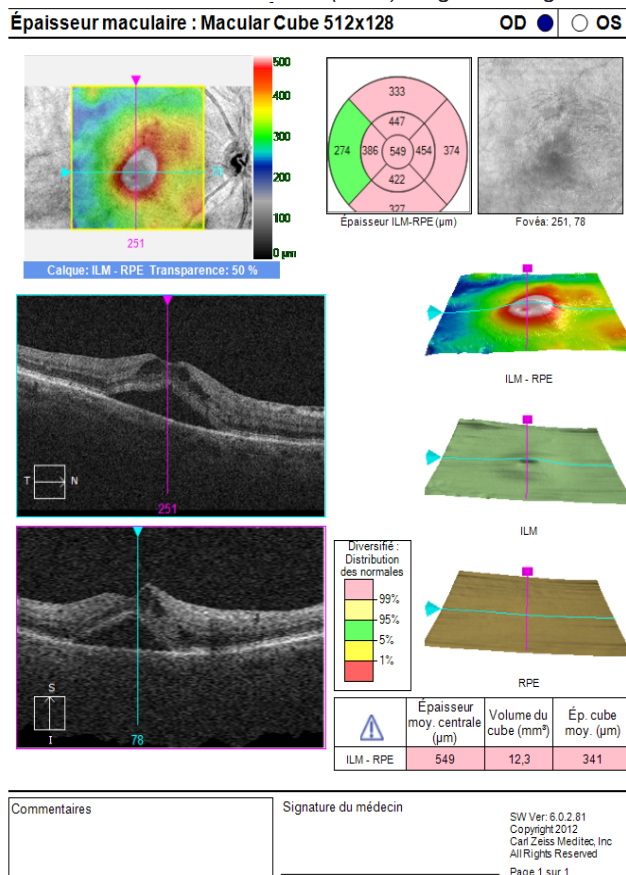


Figura 13-25: Desprendimiento seroso y CME secundario a una occlusion de vena central de la retina (CRVO)

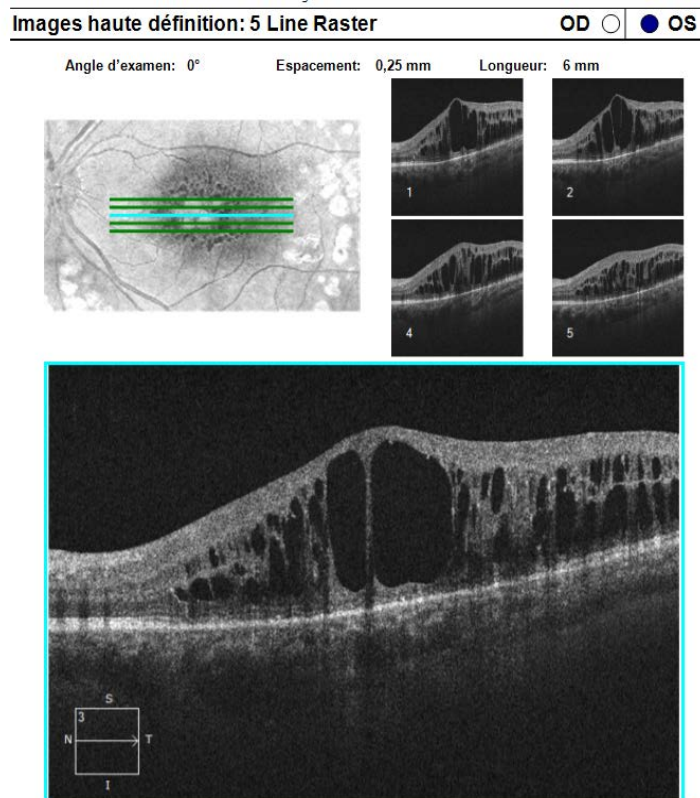


Figura 13-26: Edema macular en un paciente con retinopatía diabética

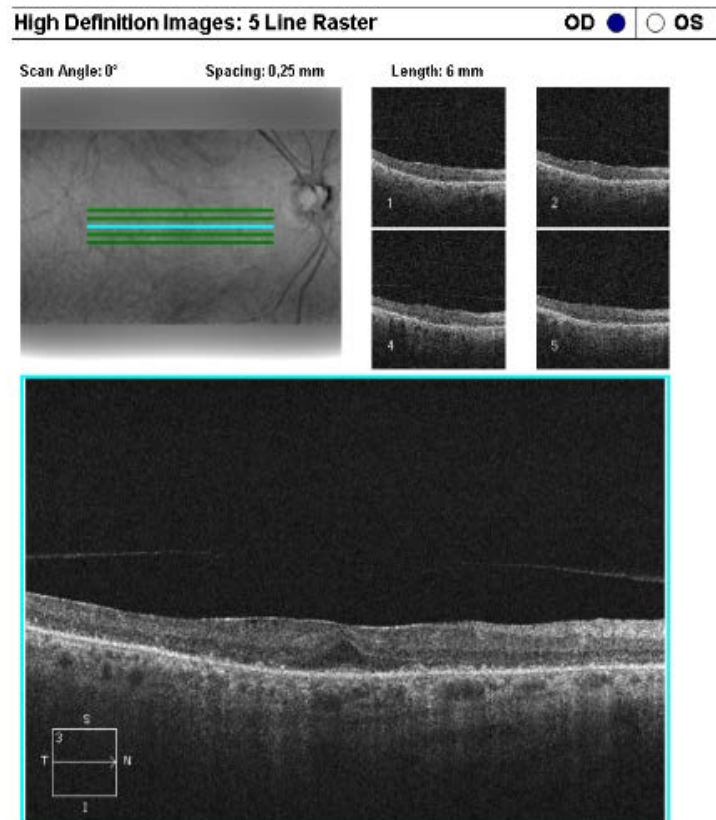


Figura 13-27: Maculopatía por Hidroxicloroquina con pérdida de la union IS/OS

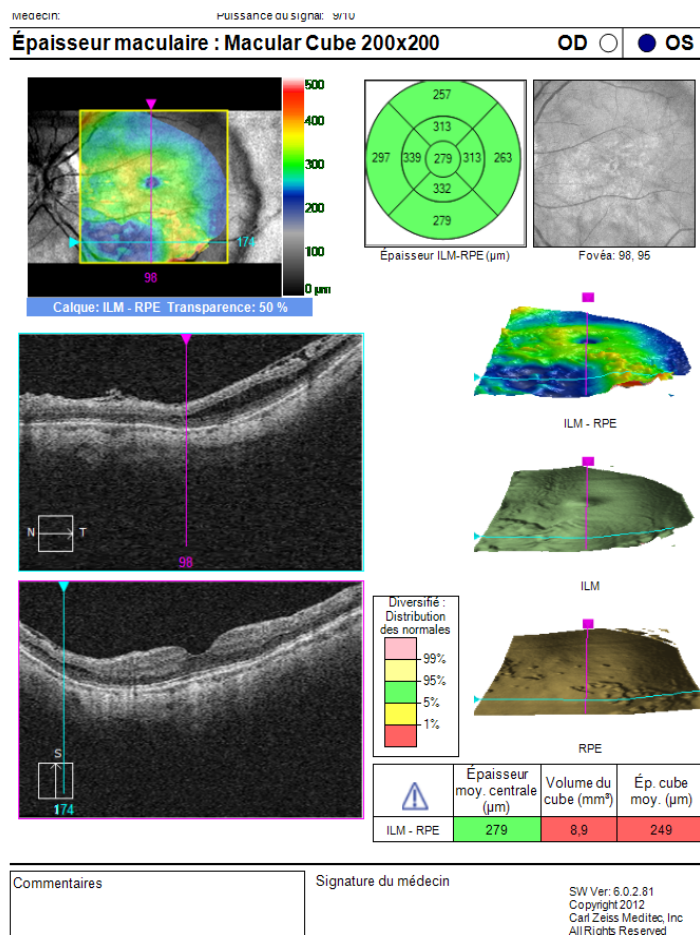


Figura 13-28: Foveosquisis en un paciente con estafiloma

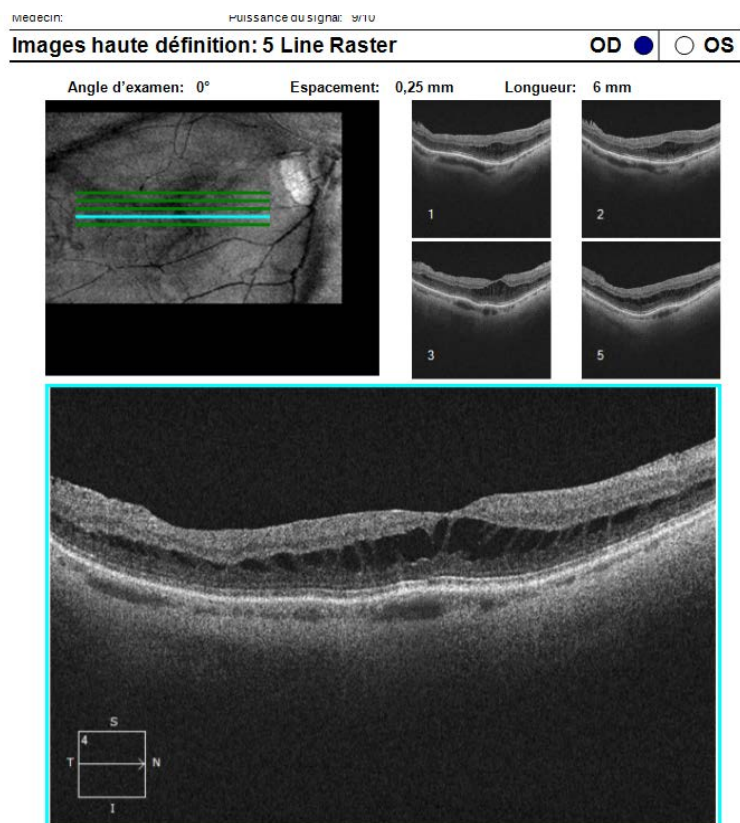


Figura 13-29: Foveosquisis en un paciente con miopía

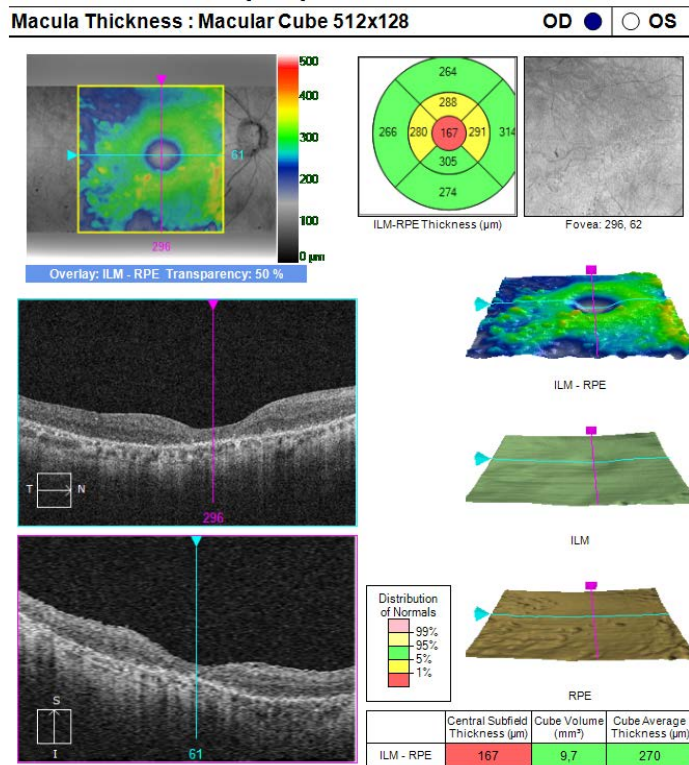


Figura 13-30: Retinitis pigmentosa. Note la pérdida de la union IS/OS

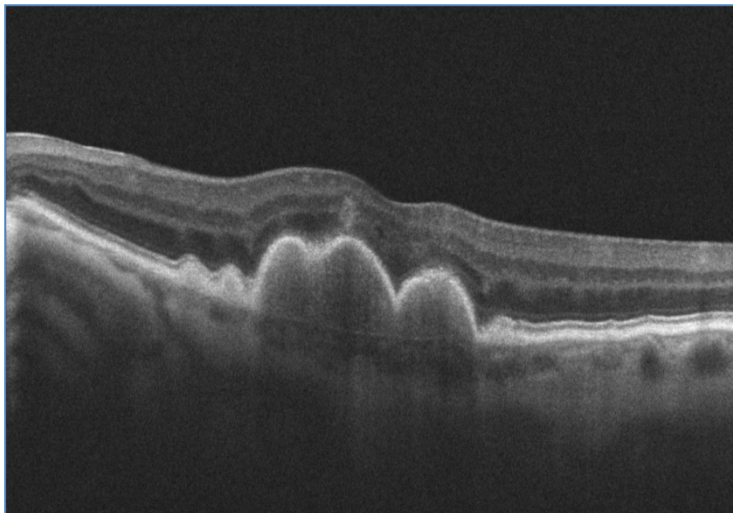


Figura 13-31: Desprendimiento de EPR con drusas a través de la membrana de Bruch

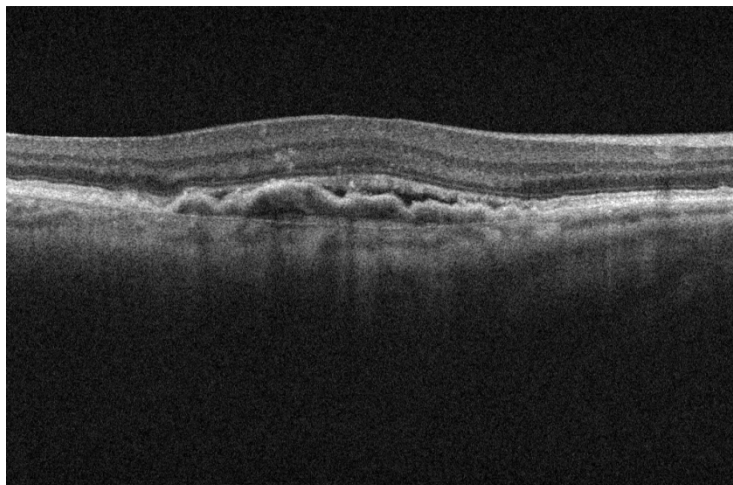


Figura 13-32: Membrana neovascular coroidea

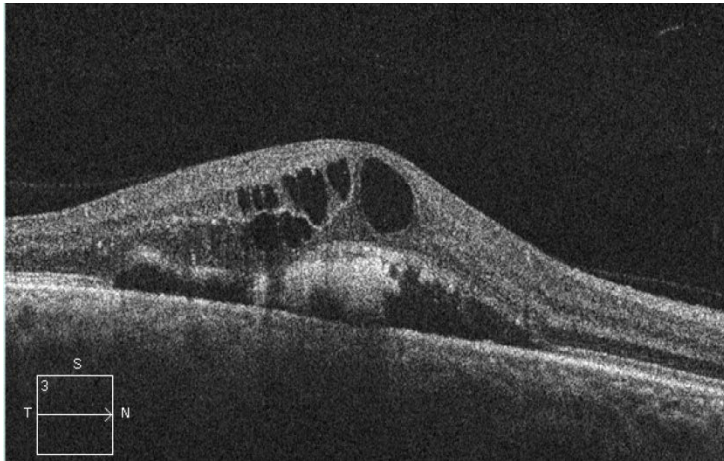


Figura 13-33: Oclusión de rama venosa (BRVO) con edema macular cistoide

OCT EN GLAUCOMA

En comparación con los métodos estándar de diagnóstico y monitoreo del glaucoma (campo visual, presión intraocular (PIO), evaluación subjetiva del nervio óptico), existe necesidad de evaluación objetiva que pueda detectar de manera confiable esos pacientes que tienen glaucoma y/o están en riesgo de desarrollarlo. El software avanzado de los nuevos OCT's permite que haya una progresión del análisis de glaucoma al igual que un análisis de la capa de células ganglionares.

El análisis de OCT estratificado de la RNFL emplea series de líneas de escaneo de 4mm de largo a las 12 horas alrededor del disco que permiten que se genere una medición topográfica del disco óptico al igual que la cuantificación del grosor de la RNFL en cuatro cuadrantes alrededor del disco. El equipo usa la terminación de la membrana de Bruch para determinar el borde del disco. Los parámetros del disco incluyen el volume de la copa, área del disco, relación copa disc, y área del anillo neural. Los datos del grosor de la RNFL se recogen en un área de 3.37mm de diámetro alrededor del ONH. Una imagen transversal peripapilar se obtiene y se muestra como una curva temporal-superior-nasal-inferior-temporal (TSNIT). Usando este protocolo de escaneo, la curva del paciente se muestra entre un interval del 5-95% de confianza según la edad. La significación estadística de cualquier área anormal se muestra en Amarillo (aceptable) y rojo (fuera de límites normales).

El protocolo para el análisis en el OCT cirrus es similar, con una zona de análisis de 6mm x 6mm centrada sobre la cabeza del nervio óptico. El escaneo realizado con el Cirrus, al igual que con el escaneo retinal, cubre la totalidad del área del disco con 200 escaneos A para acumular los datos.. El Cirrus, al igual que el estratificado, brinda información detallada del ONH y la RNFL permitiendo la comparación entre ambos ojos.

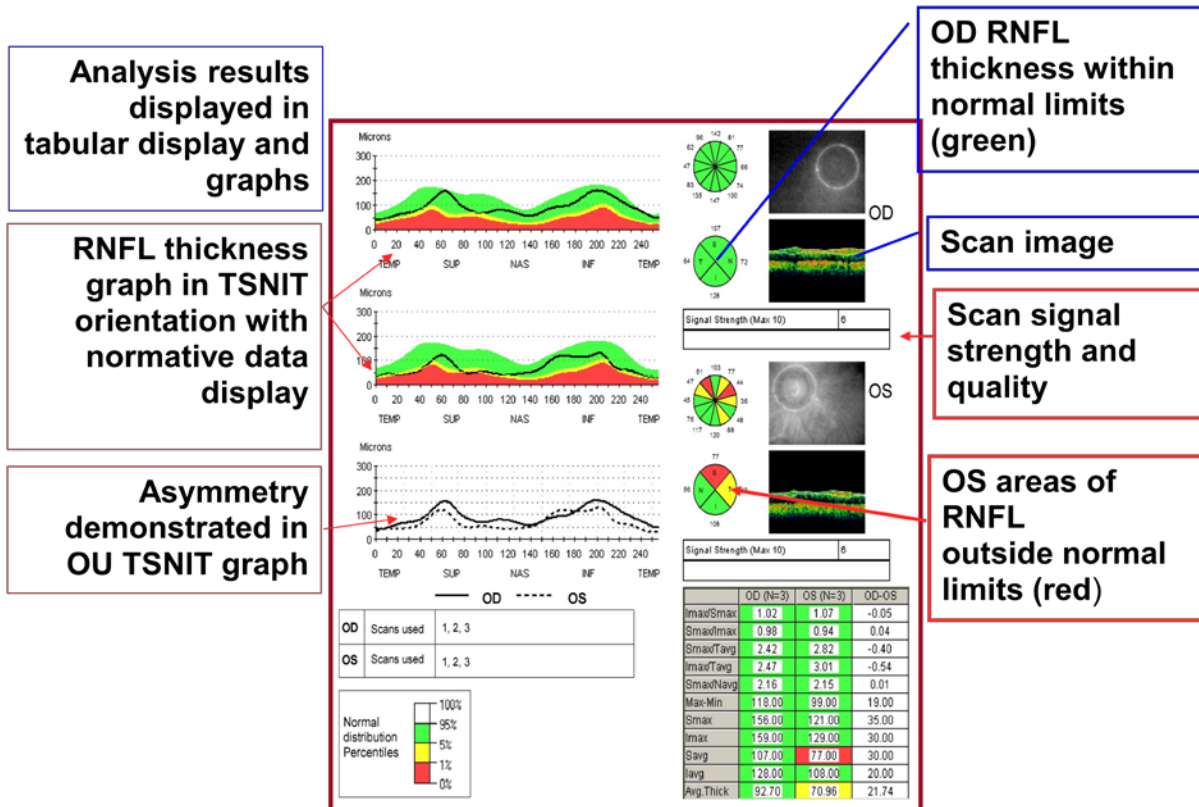


Figura 13-34. Análisis de OCT stratus para glaucoma

EL MAPA DE GROSOR DE LA RNFL muestra el patrón y grosor de la capa de fibras nerviosas en un área de 6mm x 6 mm

El grosor de la RNFL y la comparación con los datos normales se muestra en un círculo, cuadrantes y display horario

El mapa de desviación de la RNF, superpuesto en la imagen del OCT, ilustra con precisión donde se desvía el grosor de la RNFL del rango normal. Los datos que no estén dentro de los rangos normales se resaltan en amarillo y rojo.

El grosor de la RNFL a lo largo del círculo de cálculo se muestra en un formato gráfico y se compara con los datos normales según la edad

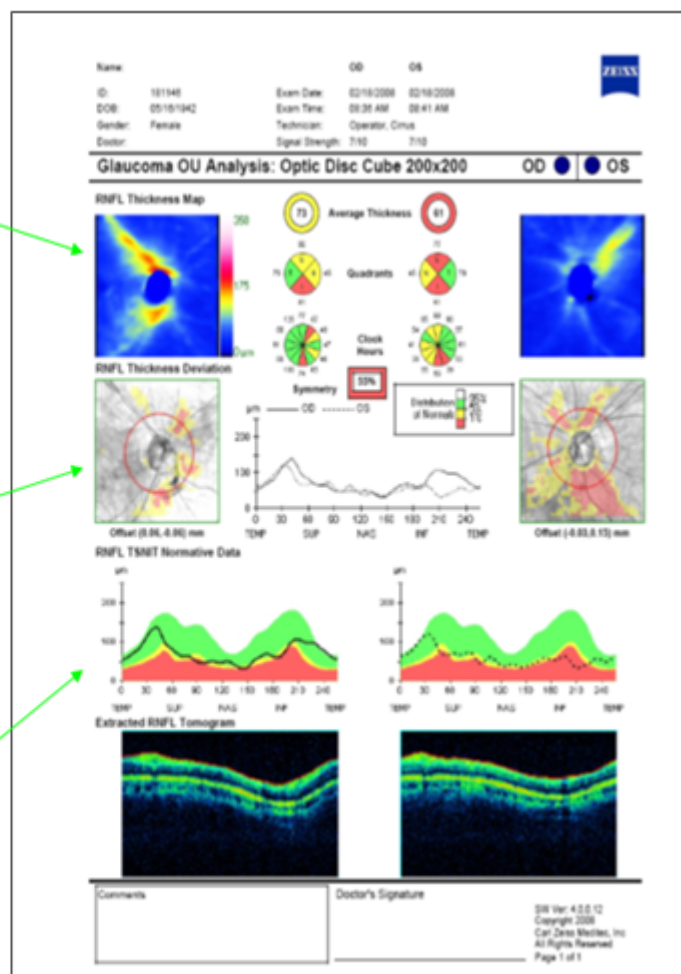


Figura 13-35. OCT cirrus protocolo de Glaucoma

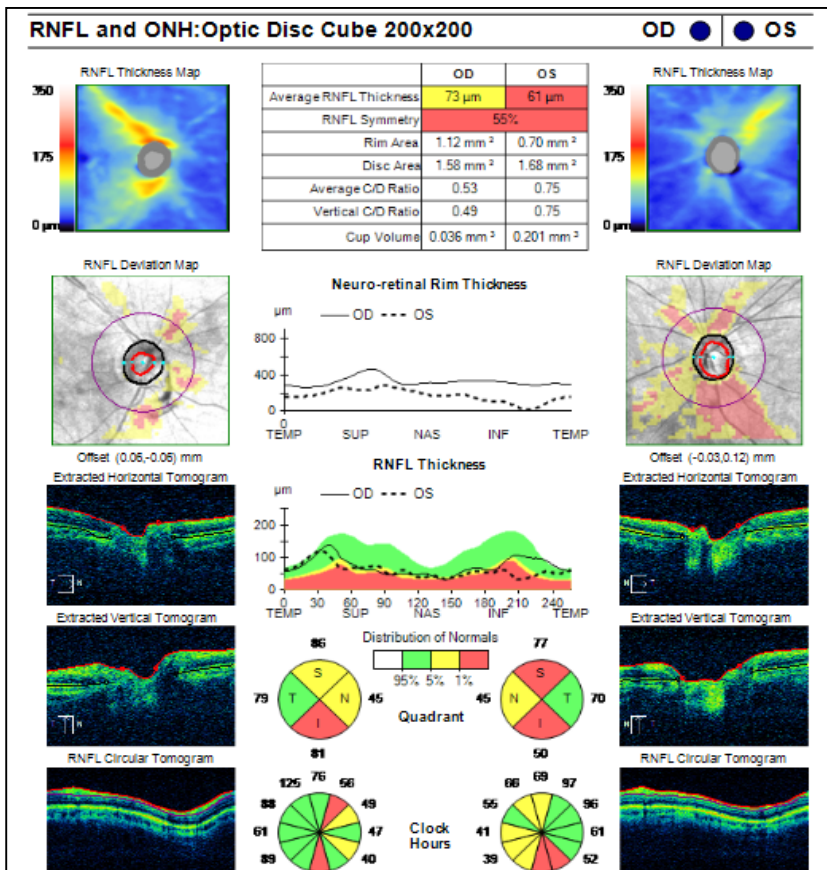


Figura 13-36. Impresión de RNFL y ONH combinada en OCT cirrus con mayor cantidad de detalles del disco óptico en la tabla.

El OCT también permite que el profesional mida el complejo formado por las células ganglionares y las capas plexiformes internas en el área macular. Estudios recientes muestran que el Glaucoma de daño temprano generalmente se da en el área macular y que la medición de las capas plexiforme interna y células ganglionares puede ayudar en el diagnóstico y control de los pacientes con Glaucoma.

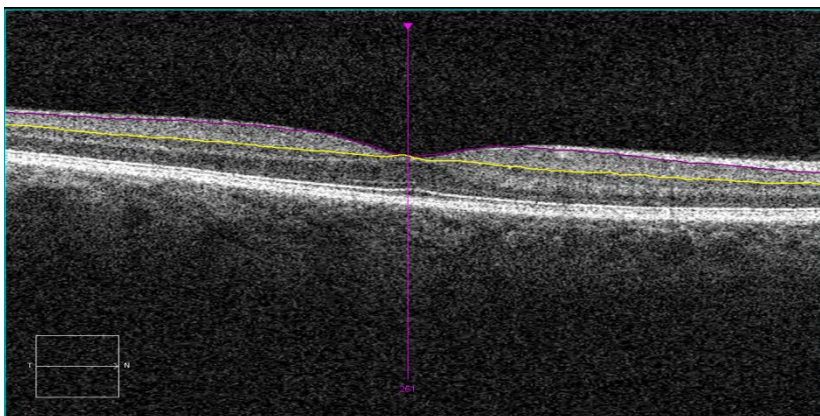


Figura 13-37: La medición de las capas plexiforme interna y células ganglionares puede ayudar en el diagnóstico y control de los pacientes con Glaucoma

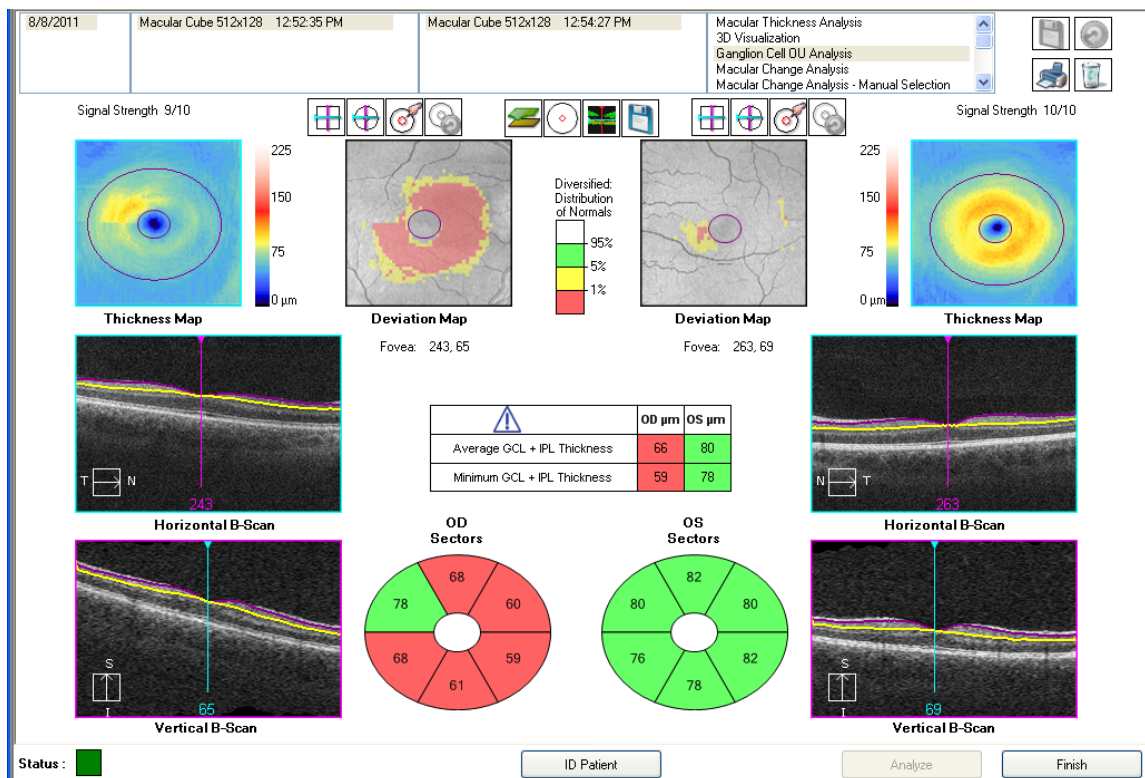


Figura 13-38: Análisis de las células ganglionares realizado por el OCT Cirrus

Con respecto al glaucoma, la investigación clínica muestra lo siguiente:

- El OCT tiene la capacidad de detectar los cambios tempranos ocasionados por el glaucoma midiendo el grosor de la NFL
 - Especialmente en el cuadrante inferior
 - Generalmente antes de la pérdida del CV
- La zona nasal dle nervio óptico se ve afectada antes y más de lo que generalmente se considera
- El grosor promedio y cuadrántico de la NFL tiene una buena correlación con la desviación media asociada y los hallazgos del campo visual.



RECURSOS ADICIONALES

Schuman JS, Puliafito CA, Fujimoto JG. Ocular coherence tomography of ocular disease. 2004. 2nd ed. Slack, Inc. Thorofare, NJ.

REFERENCIAS

- Hee MR, Izatt JA, Swanson EA et al. Optical coherence tomography of the human retina. Archives of Ophthalmology, 1995. 113(3):325-332
- Horn FK, Mardin CY, Laemmer R, et al. Correlation between local glaucomatous visual field defects and loss of nerve fiber layer thickness measured with polarimetry and spectral domain OCT. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009 May;50(5):1971-7.
- Huang D, Swanson EA, Lin CP et al. Optical coherence tomography. Science; 1991, 254(5035):1178-1181
- Lan YW, Henson DB, Kwartz AJ. The correlation between optic nerve head topographic measurements, peripapillary nerve fiber layer thickness, and visual field indices in glaucoma. Br J Ophthalmol. 2003 Sep;87(9):1135-41
- Lee EJ, Kim TW, Park KH, et al. Ability of Stratus OCT to detect progressive retinal nerve fiber layer atrophy in glaucoma. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009 Feb;50(2):662-8.
- Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, et al. Evaluation of retinal nerve fiber layer progression in glaucoma: A study on optical coherence tomography guided progression analysis. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2010 Jan;51(1):217-22.
- Mardin CY, Horn FK, Jonas JB, Budde WM. Preperimetric glaucoma diagnosis by confocal scanning laser tomography of the optic disc. Br J Ophthalmol. 1999 Mar;83(3):299-304.
- Medeiros FA, Zangwill LM, Alencar LM. Detection of glaucoma progression using Stratus OCT retinal nerve fiber layer, optic nerve head, and macular thickness measurements. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009 Dec;50(12):5741-8.
- Wojtkowski M, Srinivasan VJ, Fujimoto JG et al. Three-dimensional retinal imaging with high-speed ultrahigh resolution optical coherence tomography. 2005. Ophthalmology 112 (10):1734-1746.
- Wolf-Schnurrbusch UE, Ceklic L, Brinkmann CK, et al. Macular thickness measurements in healthy eyes using six different optical coherence tomography instruments. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2009 Jul;50(7):3432-
- Yüksel N, Altintas O, Ozkan B, et al. Discriminating ability of optical coherence tomography data in staging glaucomatous damage. Can J Ophthalmol. 2009 Jun;44(3):297-307.