

Uso clínico del tomógrafo de coherencia óptica Spectralis en la evaluación del glaucoma

Use of the Spectralis optical coherence tomography scanner to evaluate glaucoma

Elizabeth Arzuaga Hernández, Ibraín Piloto Díaz, Francisco Fumero González, Dailyn Cárdenas Chacón, Marerneda Domínguez Randulfe, Maikel Batista Peña

Instituto Cubano de Oftalmología "Ramón Pando Ferrer". La Habana, Cuba.

RESUMEN

La evolución reciente de las herramientas de imagen ha mejorado notablemente la determinación objetiva y cuantitativa de los cambios estructurales en el glaucoma. El tomógrafo de coherencia óptica de dominio espectral, disponible comercialmente, y su módulo Glaucoma Premium Edition recientemente incorporado, ofrece beneficios en la evaluación del glaucoma, por presentar una mayor resolución axial, velocidades de exploración más rápidas, reproducibilidad mejorada, compensación de movimientos oculares, supresión de interferencia y algoritmos avanzados de segmentación. La presente revisión describe las características técnicas, los parámetros de fiabilidad, los protocolos de estudio, la interpretación de los resultados y los principales artefactos que afectan sus medidas. Esta información permite a la comunidad médica realizar un uso y una evaluación adecuada de esta tecnología, y en consecuencia ajustar la gestión clínica según sea necesario.

Palabras clave: tomografía de coherencia óptica de dominio espectral; oftalmoscopia láser de exploración confocal; artefactos; glaucoma.

ABSTRACT

The recent evolution of imaging tools has notably improved the objective, quantitative determination of structural changes in the glaucoma. The spectral domain optical coherence tomography scanner, commercially available, and its recently incorporated Glaucoma Module Premium Edition, facilitate evaluation of the glaucoma, due to their greater axial resolution, faster exploration speeds, improved reproducibility, eye movement compensation, interference suppression, and advanced segmentation algorithms. The present review describes the technical features, reliability parameters, study protocols, interpretation of results and main artifacts affecting its measurements. Such information will make it possible for the medical community to adequately use and evaluate this technology, adjusting clinical management as required.

Key words: spectral domain optical coherence tomography; confocal scanning laser ophthalmoscopy; artifacts; glaucoma.

INTRODUCCIÓN

El Spectralis OCT es un instrumento óptico que nos permite obtener imágenes tomográficas de la retina, de precisión comparable a los cortes histológicos,¹ pero con la ventaja de obtenerse a tiempo real y *en vivo*.^{2,3} Se compone de dos sistemas de barrido de láser: el tomógrafo de coherencia óptica Spectral-Domain (SD-OCT) y el oftalmoscopio confocal de barrido de láser, lo que permite la adquisición simultánea de imágenes de sección transversal o barridos de volumen de la retina y de una imagen de referencia infrarroja.⁴ Es uno de los equipos de SD OCT más versátiles.^{5,6} Su plataforma incluye múltiples modalidades: angiografía con fluoresceína, indocianina, imagen libre de rojo (*red free*) e infrarrojo, así como también la autofluorescencia de láser azul.^{5,7}

Recientemente ha incorporado el módulo *Glaucoma Premium Edition*, que ofrece un método objetivo de examen de la papila óptica (ONH) al combinar el análisis del borde neuroretiniano, la capa de fibra nerviosa de la retina (CFNR) y el grosor de la capa celular ganglionar,⁸ con lo que se posiciona como un equipo polivalente imprescindible en la consulta moderna.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- *Velocidad de escaneado:* 40 000 A-scan/seg (más rápido del mercado).^{5,9}
- *Resolución axial:* 7 μm y de 4 μm tras el tratamiento digital de las imágenes.
- *Resolución transversal:* 14 micras.
- *Parámetro de fiabilidad:* Signal strength (Q) > 15 dB.

- *Sistema de eye tracking activo* (compensación de los movimientos oculares) y AutoRescan para escanear de forma precisa las mismas áreas a lo largo de diferentes exploraciones.⁵

- *Supresión de interferencias (Heidelberg Noise Reduction)*: el *Eye Tracking Activo* permite adquirir varias imágenes exactamente en la misma posición. La superposición automática en directo de las imágenes (*ART, automatic real time*) permite diferenciar eficazmente las "interferencias" de las señales "verdaderas". De este modo se pueden suprimir todos los ruidos digitales y obtenerse imágenes diagnósticas muy nítidas y con excelente contraste.^{5,7}

PARÁMETROS DE FIABILIDAD DEL TOMÓGRAFO DE COHERENCIA ÓPTICA SPECTRALIS

La fiabilidad de los datos de la OCT depende básicamente de una correcta segmentación de las capas. Para esto debemos fijarnos en una serie de características:

1. *Signal strength intensity (SSI)*: indica la intensidad de la señal y debe ser mayor de 15 (la pantalla presenta además una barra de calidad de la imagen con código de colores).
2. *Centrado de la exploración*: en las imágenes de fondo infrarrojas o SLO debemos observar que la zona a estudiar está incluida completamente y lo más centrada posible.
3. *Continuidad de la imagen*: debemos observar un b-scan continuo sin áreas oscuras (pérdida de información), ya que favorecen fallos en la segmentación. Previo a la obtención de resultados debemos revisar que las capas se han delimitado de manera correcta en todos los b-scans obtenidos.¹⁰

PRINCIPALES PROTOCOLOS DE ESTUDIO

PROTOCOLOS DE ESTUDIO DE LA CAPA DE FIBRA NERVIOSA RETINIANA

Actualmente la evaluación de la capa de fibra nerviosa retiniana es el procedimiento más utilizado con la tecnología OCT para diagnóstico y seguimiento del glaucoma. Incluye software y base normativa.⁵ Se basa en la medición de los espesores de la CFNR en una circunferencia de 3,46 mm de diámetro centrada automáticamente en la papila, utilizando un sistema de alineamiento fovea-disco (FoDi® ó FoBMO), que representa el ángulo entre la fovea y la apertura de la membrana de Bruch (BMO), en relación con el eje horizontal del marco de la imagen.¹¹ Los valores normales oscilan entre 6° y 17° (promedio 7°).¹² Este sistema es útil para evitar la variabilidad en las medidas derivadas de cambios en la posición de la cabeza, del ojo o la rotación de este.⁵ Los estudios reportan que en glaucomas con daño avanzado y miopías elevadas el Spectralis muestra resultados de espesores más finos que sus similares RTVue y Cirrus.^{13,14}

APERTURA DE LA MEMBRANA DE BRUCH Y GROSOR MÍNIMO DEL ANILLO

La membrana de Bruch (BMO) representa la apertura máxima a nivel de la papila óptica, a través de la cual los axones de las células ganglionares de la retina salen del ojo.¹² Teniendo en cuenta que los vasos sanguíneos y los axones no pueden atravesar la membrana de Bruch (BM), se considera el límite estructural apropiado del disco óptico.¹⁴ Lo anterior constituye una ventaja sobre tecnologías precedentes: fotografía del disco óptico (HRT) que definían el margen del disco como el borde interior del anillo escleral, conocido como anillo peripapilar de Elschnig. Sin embargo, la BM puede extenderse más allá del tejido límite de Elschnig o viceversa.¹⁵

El parámetro de grosor mínimo del anillo basado en la apertura de la membrana de Bruch (BMO-MRW) se define como la distancia menor entre cada punto de la BMO y la membrana limitante interna (ILM) en cada B-scan.¹¹ Un reciente estudio encontró que la distancia mínima entre la BMO y ILM era una mejor medida para detectar el daño glaucomatoso que el espesor de la capa de fibra nerviosa de la retina circumpapilar.^{16,17} Chauhan y otros examinaron la capacidad del BMO-MRW con Spectralis OCT para diferenciar los ojos sanos de los ojos glaucomatosos e informaron que el BMO-MRW global proporcionó el mejor rendimiento diagnóstico, con una especificidad del 81 %.¹⁸

PROTOCOLOS DE ESTUDIO DE LA MÁCULA

El Spectralis-OCT dispone de una base de datos normalizada de grosor macular para pacientes sanos. Un estudio prospectivo realizado en 50 pacientes sanos de varias razas con edades comprendidas entre 20 y 84 años determinó que el grosor medio del campo central definido por el *Early Treatment Diabetic Retinopathy Study* (ETDRS) en este OCT era de $270,2 \pm 22,5 \mu\text{m}$. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el grosor macular por la edad o por el sexo. En cambio, los pacientes asiáticos ($279,5 \pm 27,4 \mu\text{m}$) y los caucásicos ($272,7 \pm 20,8 \mu\text{m}$) mostraron mayor grosor que los sujetos de raza negra ($256,5 \pm 16,9 \mu\text{m}$; $P=0,007$).⁵

ANÁLISIS DE ASIMETRÍA DEL POLO POSTERIOR

EL OCT Spectralis realiza un mapa de espesor de la CFNR en la mácula, con un análisis de asimetría entre ambos ojos y ambas hemirretinas, que se basa en la naturaleza asimétrica del glaucoma. De esta forma puede establecerse una comparación punto por punto invertida con el campo visual. Nos proporciona un mapa de espesores en una rejilla 8 x 8.^{5,19}

El principal problema es que no mide específicamente el complejo celular ganglionar (GCC), que es el que se afecta en el glaucoma. Por otro lado, al medir todo el espesor de la mácula, este puede estar reducido en trastornos que afecten a las capas externas de la retina, lo que podría ser un factor de confusión al evaluar la presencia de daño glaucomatoso. Por tanto, se precisan estudios que validen esta aplicación en el glaucoma. Sería aconsejable que en el futuro se realizara un mapa de espesores de la CFNR o del GCC, como en otros dispositivos OCT.¹⁹

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En las figuras 1, 2, 3 y 4 exponemos los informes que consideramos más representativos e ilustrativos de las exploraciones. En cada uno de ellos se esquematiza el resultado imagenológico arrojado por el equipo y su interpretación clínica.

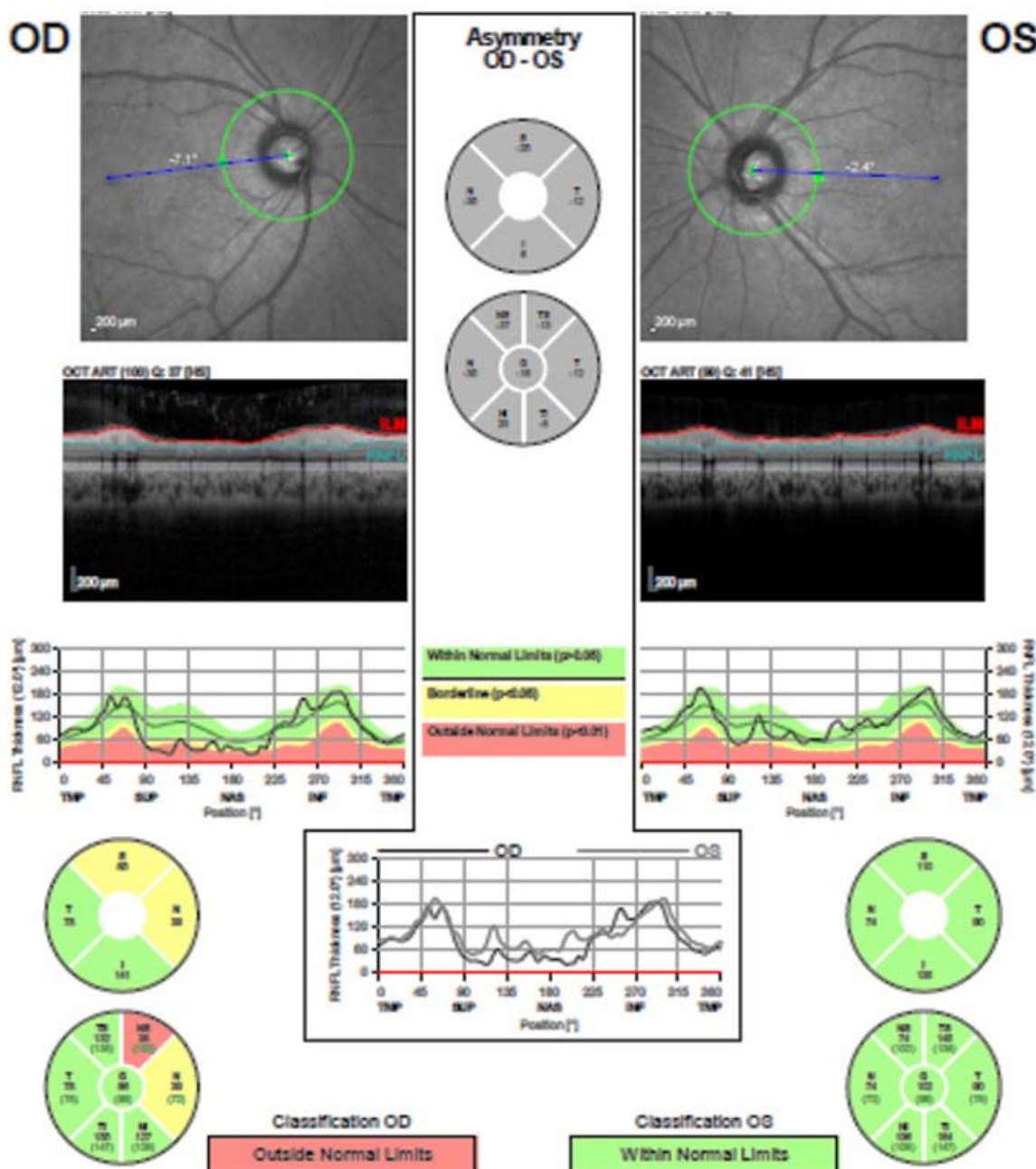


Fig. 1. Formato de impresión de la capa de fibra nerviosa de la retina (CFNR), con FoDi®. Imagen Infrarroja. Imagen tomográfica con la segmentación de la CFNR, gráfico TSNIT con código cromático y gráfico de espesor por cuadrantes y dividido en 6 sectores, con escala cromática. Los valores negros representan el valor medio del espesor de la CFNR medido en cada sector, así como el promedio global (G). El valor indicado abajo en color verde (entre paréntesis) representa el valor medio de la base de datos de valores normales. En este caso el OD es clasificado "fuera de límites normales" y el OI "dentro de límites normales".

Asymmetry Analysis Single Exam Report OU
SPECTRALIS® Tracking Laser Tomography

HEIDELBERG
ENGINEERING

Patient:
Patient ID: ---
Diagnosis: ---

DOB: Sep/27/1989
Exam.: Mar/21/2017
Comment: ---

Sex: M

OD

OS

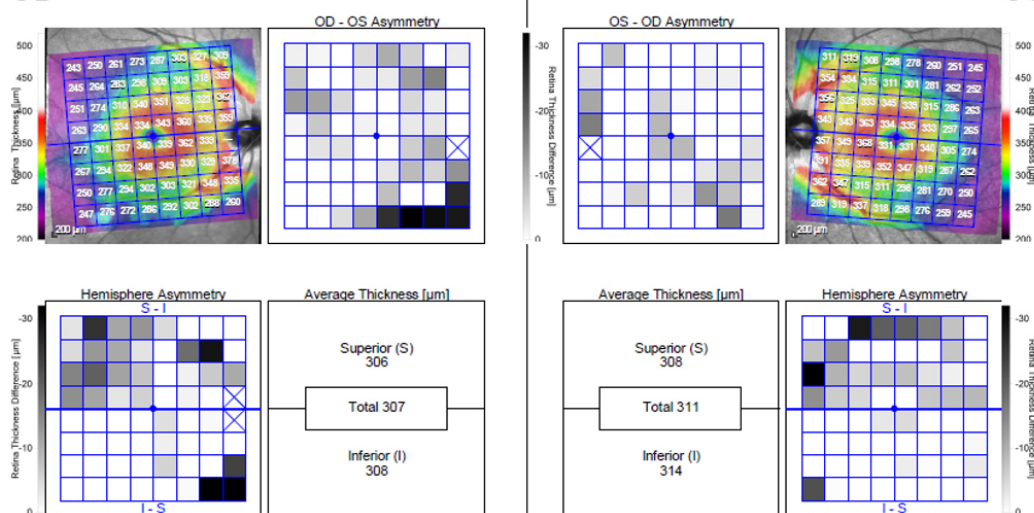


Fig. 2. En las imágenes superiores en color aparece el mapa de espesor de la retina en polo posterior de cada ojo, con valores de espesor en una rejilla 8 x 8, y escala de color. En las imágenes superiores centrales se observa la asimetría de la rejilla entre ambos ojos. En la parte inferior se observa el mapa de asimetría S-I, es decir entre hemirretinas superior e inferior de cada ojo, tanto total (centro) como en cada uno de los recuadros de la rejilla.

Minimum Rim Width Analysis
SPECTRALIS® Tracking Laser Tomography

HEIDELBERG
ENGINEERING

Patient:
Patient ID: ---
Diagnosis: ---

DOB: Sep/27/1989
Exam.: Mar/21/2017
Comment: ---

Sex: M

OD

OS

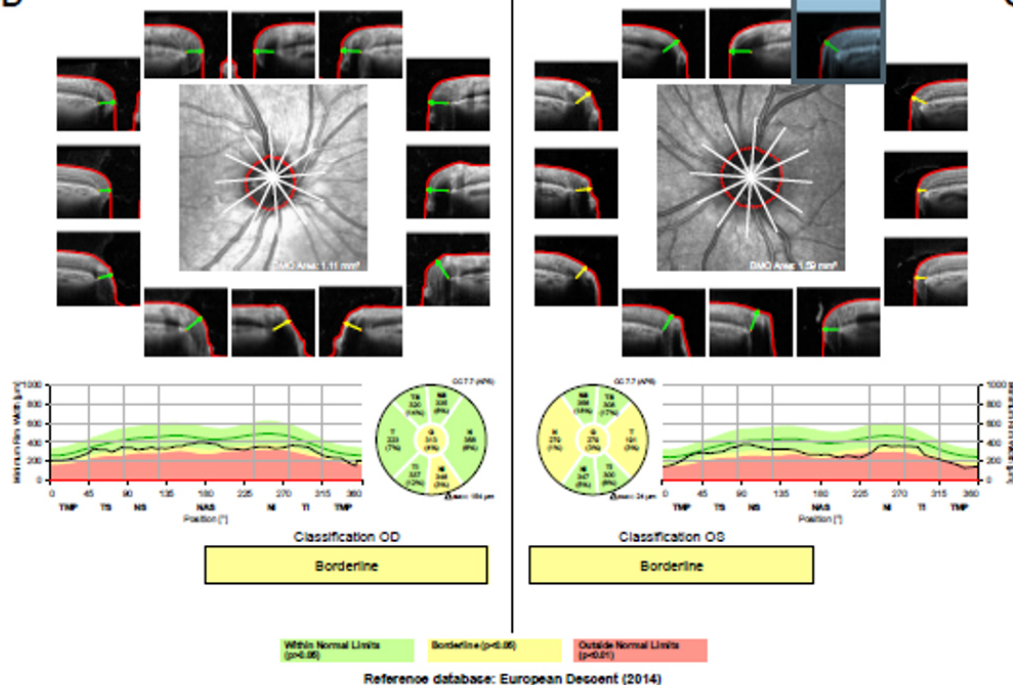


Fig. 3. El área de la membrana de Bruch (BMO) se muestra en la esquina inferior derecha de la imagen infrarroja (resaltada en rojo). La línea negra en el perfil de altura indica el BMO-MRW medido en micras (eje Y) a lo largo de la circunferencia del disco óptico en grados (eje X), comenzando en 0. La línea verde representa el BMO-MRW promedio según la base de datos de referencia, ajustado a la edad y al área de la BMO. Gráfico de clasificación: los números negros representan el promedio de los valores de BMO-MRW en micras en cada sector. Los porcentajes entre paréntesis son los percentiles medios de la base de datos de valores normales ajustados para la edad y el área BMO del ojo examinado. En este caso ambos ojos son clasificados "borderline".

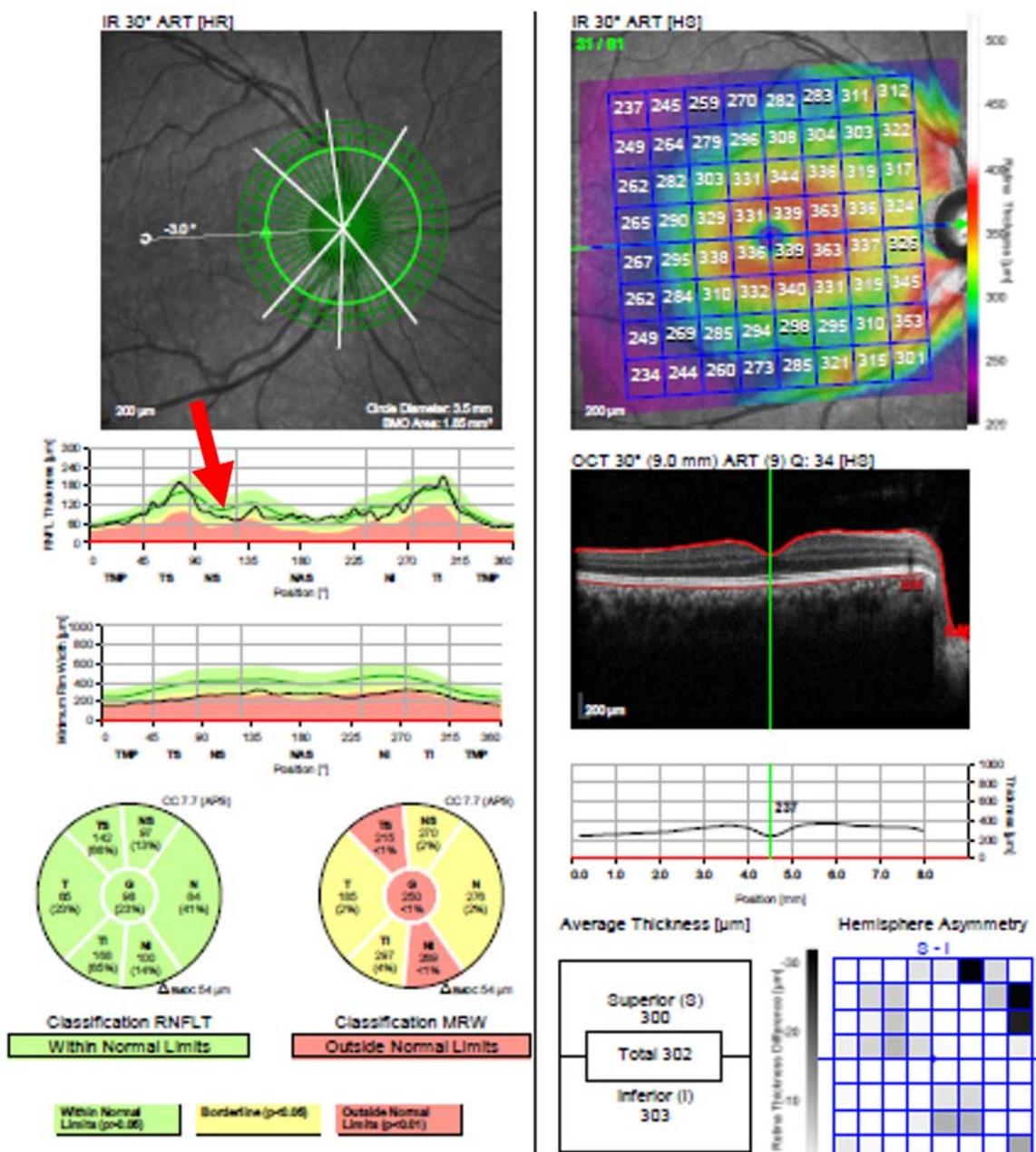


Fig. 4. Informe del protocolo de análisis de la CFNR y mácula. Ejemplo de "enfermedad verde". Aparentemente la medida de la capa de fibra nerviosa de la retina es normal, pero la flecha roja indica una pérdida focal de RNFL superonasalmente en OD.

ARTEFACTOS: ENFERMEDAD ROJA Y VERDE

A medida que más especialistas en glaucoma se basan en esta tecnología, ser consciente de sus limitaciones se ha vuelto cada vez más importante. Aunque las medidas obtenidas con OCT son de extraordinaria precisión, no están exentas de la presencia de artefactos en la captación de la imagen o derivados del software de análisis de esta. Debemos estar atentos para detectar su presencia e intentar evitarlos, ya que pueden determinar errores de medición que podrían tener consecuencias en la toma de decisiones terapéuticas.²⁰

La presencia de un artefacto puede distorsionar las interpretaciones de los estudios de imagen, y SD-OCT ciertamente no es inmune a este concepto. De hecho, un estudio reciente que examina la imagen de SD-OCT para el glaucoma mostró que los artefactos estaban presentes en un 15-36 % de los casos.⁵

Cuando los médicos son engañados por los falsos negativos o positivos en la OCT, lo llamamos "enfermedad roja" o "enfermedad verde".²¹ Rojo y verde son colores utilizados por las máquinas OCT para identificar anormales y normales; el amarillo es frontera. La enfermedad roja es cuando la OCT equivocadamente indica que algo es anormal. Por otro lado, enfermedad verde es cuando los datos OCT no muestran ningún signo de anomalía, pero el ojo está afectado. Muchos oftalmólogos toman los resultados OCT en su valor nominal, por lo que ver el rojo automáticamente les hace tomar conducta, mientras que el verde reflexivamente les anima a asegurar que todo es normal.

Hay muchas cosas que pueden conducir a resultados erróneos de estos instrumentos. Estas son evaluaciones promedio hechas por un programa de computadora, y disponen de bases de datos normativas que no son perfectas. Generalmente estas se basan en 300 a 500 pacientes y no necesariamente incluyen los miopes e hipermétropes altos, niños o miembros de razas diferentes.

Así, por ejemplo, las mediciones de los altos miopes tienden a caer fuera del rango normal, que aparecen en rojo. Por otro lado, pequeñas áreas focales axonales de daño en cualquier ojo suelen aparecer como verde porque el instrumento promedia el grosor de un sector en particular.²⁰ El promedio está a menudo dentro del rango normal, a pesar de la pérdida focal, por lo que toda la impresión es verde, y da la impresión de que no hay daño presente (Fig. 4). A continuación, exponemos los artefactos más frecuentemente encontrados en los dispositivos SD-OCT:

- *Líneas de segmentación incompletas:* en ocasiones, aunque las líneas de segmentación de la retina interna y externa se colocan correctamente de forma automática, se cortan antes de alcanzar los bordes laterales del barrido. Suelen presentarse a nivel periférico; muy raro en la parte central.²⁰ Es relativamente común con OCT Spectralis en la línea de segmentación externa.
- Mala adquisición de la imagen.²¹
- Erróneo centrado del anillo en el nervio óptico.
- Inversión B-scan.²⁰
- Error en la identificación de la retina interna (puede ocurrir en uveítis y retinopatía diabética, donde se produce un engrosamiento de la hialoides posterior que puede ser identificada erróneamente como el límite interno de la retina, así como en procesos que transcurren con tracción vitreomacular, como membranas epirretinianas). Frecuencia: 1,3 % de los casos.²⁰⁻²²
- Límite de retina interna interrumpido por un barrido excesivamente desviado hacia arriba.^{22,23}
- Error en la identificación de la retina externa (se describe en la degeneración macular asociada a la edad, cuando ocurren interrupciones en la línea basal por drusas o complejos neovasculares, que dan lugar a un mayor número de errores de segmentación de la retina externa).^{20,23}
- Imagen degradada en el barrido.²³
- Barridos descentrados, no situados en una depresión foveal identificable.
- Inducidos por opacidades vítreas (11,8 % de los casos).²⁰

- *Presencia de atrofia papilar*: probablemente el SD OCT puede identificar correctamente los bordes de la papila; pero si la atrofia ocupa toda el área del círculo peripapilar de 3,46 mm de medida, puede impedir que se mida correctamente la CFNR en el área de la atrofia.²⁰

- *Artefactos vasculares*: cuando el barrido ocurre sobre un vaso retiniano puede determinar un artefacto cuya intensidad dependerá del diámetro del vaso y de la incidencia del barrido (longitudinal o perpendicular a la pared vascular).^{20,22}

CONCLUSIONES

El tomógrafo de coherencia óptica Spectral-Domain es una valiosa herramienta clínica y una tecnología en evolución que proporciona mediciones de la capa de fibra nerviosa de la retina, la mácula y la papila óptica. Requiere una adecuada y precisa interpretación de sus resultados. No recomendamos su uso de forma aislada en el diagnóstico de glaucoma, sino como un dato más añadido al resto del examen oftalmológico y al estudio de otras técnicas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Schuman JS, Hee MR, Puliafito CA, Wong C, Pedut-Kloizman T, Lin CP, et al. Quantification of nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography. Arch Ophthalmol. 1995;113:586-96.
2. Jones AL, Sheen NJ, North RV, Morgan JE. The Humphrey optical coherence tomography scanner: quantitative analysis and reproducibility study of normal human retinal nerve fiber layer. Br J Ophthalmol. 2001;85:673-7.
3. Appukuttan B, Giridhar A, Gopalakrishnan M, Sivaprasad S. Normative spectral domain optical coherence tomography data on macular and retinal nerve fiber layer thickness in Indians. Indian J Ophthalmol. 2014;62(3):316-21.
4. Heidelberg Engineering. Manual Spectralis. Spectralis Software Versión 5; 2009 [citado 20 de marzo de 2011]. Disponible en: http://www.seeof.es/archivos/eventos/adjunto_2012_47_2.pdf
5. Lara J, Ispa C, Muñoz FJ, Rebolleda G. OCT Spectralis (Heidelberg Instruments). En: FJ Muñoz, Rebolleda G, Díaz M. Tomografía de Coherencia Óptica. Sociedad Española de Oftalmología. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2011. p. 85-91.

6. Enders P, Schaub F, Adler W, Nicoluk R, Hermann MM, Heindl LM. The use of Bruch's membrane opening-based optical coherence tomography of the optic nerve head for glaucoma detection in microdiscs. *Br J Ophthalmol*. 2017; 101(4):530-5.
7. Heidelberg Engineering. Spectralis: la gama completa del diagnóstico; 2009 [citado 20 de marzo de 2011]. Disponible en: <https://www.medsrl.com.ar/wpcontent/uploads/2014/03/CATALOGO1.pdf>
8. Heidelberg Engineering. Posicionamiento de la BMO e interpretación del OCT en glaucoma. Módulo Glaucoma Premium Edition; 2016 [citado 20 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://academy.heidelbergengineering.com/course/view.php?id>
9. Huijuan W, De Boer JF, Chen TC. Diagnostic capability of spectral-domain optical coherence tomography for glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2012; 153(5):815-26.
10. Vigo JF, Fernández-Vigo IA, Macarro A. RTVue Fourier Domain OCT. Modelo: RT 100 (Optovue). En: FJ Muñoz, Rebolleda G, Díaz M. Tomografía de Coherencia Óptica. Sociedad Española de Oftalmología. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2011. p. 92-9.
11. Heidelberg Engineering. Glaucoma Module Premium Edition; 2016 [citado 20 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://innovamed.com/HEIDELBERG-SPECTRALIS-GLAUCOMA>
12. Chauhan B, Mardin CY, Scheuerle AF, Burgoyne CF. Bruch's membrane opening-minimum Rim width and retinal nerve fibre layer in a normal white population. A Multi-centre Study. *Ophthalmology*. 2015;122(9):1786-94.
13. Ferreras A, Polo V. Comparación entre los diversos dispositivos de tomografía óptica de coherencia de dominio espectral en el diagnóstico del glaucoma. En: Muñoz FJ, Rebolleda G, Díaz M. Tomografía de Coherencia Óptica. Sociedad Española de Oftalmología. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2011. p. 630-3.
14. Gmeiner J, Schrems WA, Mardin CY, Laemmer R, Kruse FE, Schrems-Hoesl L. Comparison of Bruch's Membrane Opening Minimum Rim Width and Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Thickness in Early Glaucoma Assessment. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57(9):575-84.
15. Reis AS, O'Leary N, Yang H. Influence of clinically invisible, but optical coherence tomography detected, optic disc margin anatomy on neuroretinal rim evaluation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53:1852-60.
16. Pollet-Villard F, Chiquet C, Romanet JP. Structure-function relationships with spectral-domain optical coherence tomography retinal nerve fiber layer and optic nerve head measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;55(5):2953-62.
17. Mizumoto K, Goshō M, Zako M. Correlation between optic nerve head structural parameters and glaucomatous visual field indices. *Clin Ophthalmol*. 2014;8:1203-8.
18. Chauhan C, O'Leary N, Al Mobarak FA. Enhanced detection of open-angle glaucoma with an anatomically accurate optical coherence tomography-derived neuroretinal rim parameter. *Ophthalmology*. 2013;120:535-43.

19. Muñoz FJ, Koutsoulidis A, Triviño C, Rebolleda G, Cabarga C. Aplicaciones del análisis de la mácula con OCT en el glaucoma. En: Muñoz FJ, Rebolleda G, Díaz M. Tomografía de Coherencia Óptica. Sociedad Española de Oftalmología. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2011. p. 661-6.
20. Muñoz FJ, Ruiz D, Rebolleda G, Losada D. Artefactos de la OCT en el estudio de la retina. En: Muñoz FJ, Rebolleda G, Díaz M. Tomografía de Coherencia Óptica. Sociedad Española de Oftalmología. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2011. p. 47-54.
21. Asrani S, Essaid L, Alder BD, Santiago-Turla C. Artifacts in spectral-domain optical coherence tomography measurements in glaucoma; 2014 [citado 20 de noviembre de 2017]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24525613>
22. Chen JJ, Kardon RH. Avoiding clinical misinterpretation and artifacts of optical coherence tomography analysis of the optic nerve, retinal nerve fiber layer and ganglion cell layer. J Neurophthalmol. 2016;36(4):417-38.
23. Chhablani J, Krishnan T, Sethi V, Kozak I. Artifacts in optical coherence tomography. Saudi J Ophthalmol. 2014;28(2):81-7.

Recibido: 26 de junio de 2017.

Aprobado: 5 de septiembre de 2017.

Elizabeth Arzuaga Hernández. Instituto Cubano de Oftalmología "Ramón Pando Ferrer". Ave. 76 No. 3104 entre 31 y 41 Marianao, La Habana, Cuba. Correo electrónico: franciscoyfg@infomed.sld.cu