

Artefactos de angiografía por tomografía de coherencia óptica en glaucoma

Artifacts of Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma

Elizabeth Arzuaga Hernández^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0662-2049>

Liamet Fernández Argones¹ <https://orcid.org/0000-0002-8155-5475>

Lizet Sánchez Acosta¹ <https://orcid.org/0000-0002-3873-7388>

Maikel Batista Peña¹ <https://orcid.org/0000-0002-6013-6650>

Yantsy Pérez Rangel¹ <https://orcid.org/0000-0002-3159-2059>

¹Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia: earzuagah@gmail.com

RESUMEN

Los artefactos son una limitación común de todos los dispositivos de imágenes, en especial para tecnologías nuevas como la angiografía por tomografía de coherencia óptica. El objetivo de esta investigación es identificar la frecuencia, el tipo, los factores de riesgo, el impacto clínico y los métodos actuales para la corrección de los artefactos de angiografía por tomografía de coherencia óptica en glaucoma. Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura científica de mayor impacto. Se limitó por tipo de diseño (revisiones, series de casos, estudios descriptivos, analíticos y experimentales, metaanálisis). No se tuvo en cuenta el idioma de la publicación. Los artefactos se presentan en el 72-100 % de los casos. Varían según el tipo de artefacto y dispositivo de tomografía de coherencia óptica estudiado. La baja calidad de imagen y la enfermedad subyacente del segmento posterior se asocian con su mayor prevalencia. Los más frecuentes son los de movimiento y

proyección. Las imágenes de angiografía por tomografía de coherencia óptica, con elevada frecuencia presentan artefactos. Identificar e interpretar su presencia mejora la atención clínica de los pacientes.

Palabras clave: glaucoma; artefactos; angiografía por tomografía de coherencia óptica; intensidad de la señal.

ABSTRACT

Artifacts are a common limitation of all imaging devices, especially for new technologies such as optical coherence tomography angiography. The objective of this research is to identify the frequency, type, risk factors, clinical impact, and current methods for the correction of optical coherence tomography angiography artifacts in glaucoma. A systematic search of the highest-impact scientific literature was performed. It was limited by type of design (reviews, case series, descriptive, analytical and experimental studies, meta-analysis). The language of publication was not taken into account. Artifacts are present in 72-100 % of cases. They vary according to the type of artifact and optical coherence tomography angiography device studied. Poor image quality and underlying posterior segment disease are associated with their higher prevalence. The most frequent are motion and projection artifacts. Optical coherence tomography angiography images frequently present artifacts. Identifying and interpreting their presence improves the clinical care of patients.

Keywords: glaucoma; artifacts; optical coherence tomography angiography; signal intensity.

Recibido: 05/12/2024

Aceptado: 16/12/2024

Introducción

El *glaucoma* es una enfermedad multifactorial, caracterizada por una neuropatía óptica progresiva, y pérdida irreversible y gradual del campo visual. La presión

intraocular elevada constituye el principal factor de riesgo, y el único modificable en el desarrollo de la enfermedad.⁽¹⁾ Sin embargo, existe suficiente evidencia para sugerir que no es responsable del desarrollo y la progresión de todos los casos de glaucoma.⁽²⁾

De esta forma, es importante destacar los factores vasculares entre los que se incluye el flujo sanguíneo ocular, en particular la perfusión del disco óptico. Los defectos de autorregulación vascular o los fenómenos que favorecen el menor aporte de flujo vascular como el vasoespasmo local, la hipertensión arterial o la hipotensión nocturna resultan decisivos para el desarrollo y progresión de la enfermedad.⁽¹⁾

Para evaluar el flujo sanguíneo ocular se utilizan varios dispositivos y técnicas, tales como la imagen Doppler a color, la flujometría láser Doppler, el analizador de vasos retinianos y la angiografía fluoresceínica. Sin embargo, estas herramientas tienen una capacidad limitada para proporcionar información sobre estructuras vasculares, lo que se debe a su alta variabilidad y naturaleza invasiva.⁽³⁾

La angiografía por tomografía de coherencia óptica (OCTA) es uno de los avances más recientes para evaluar la influencia vascular en el glaucoma,^(3,4,5,6,7) con el doble propósito de realizar un análisis estructural y fisiológico con un único equipo. Es una técnica de imagen rápida y no invasiva. Se basa en el principio de interferometría de baja coherencia de Michelson;^(4,5) y está orientada a representar los vasos sanguíneos oculares en tiempo real, a partir de las señales obtenidas en la OCT estructural.^(4,6)

A pesar del potencial para el manejo del glaucoma y alta repetibilidad y reproducibilidad;^(6,7,8) sus medidas están influidas por la presencia de artefactos, que limitan su interpretación y aplicación clínica.^(9,10,11,12) El objetivo del estudio fue identificar la frecuencia, el tipo, los factores de riesgo, el impacto clínico y los métodos actuales para la corrección de los artefactos de angiografía por tomografía de coherencia óptica en glaucoma.

Métodos

Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura científica de mayor impacto, usando las siguientes palabras clave (MeSH): glaucoma, angiografía por tomografía de coherencia óptica, *optical coherence tomography angiography*, OCTA, *artifact*, *artefact*, artefactos. Se limitó la búsqueda por tipo de diseño (revisiones, series de casos, estudios descriptivos, analíticos y experimentales, metanálisis). No se tuvo en cuenta el idioma de la publicación.

Las bases de datos utilizadas fueron: PubMed, EBSCOhost, Google Scholar y ScienceDirect. Se identificaron y evaluaron 109 artículos, de los cuales se seleccionaron 25; que constituyeron la fuente bibliográfica para el desarrollo de texto.

Artefactos

Una imagen es la representación de un objeto que está relacionada con él a través de una serie de reglas. A pesar del método que se utilice en el mundo real, la imagen que se obtiene no es perfecta, siempre hay partes de información que sobran o faltan o la reproducción puede no ser exacta. Estos problemas producen defectos en la imagen final, que la diferencian del objeto que se representa y que conocemos con el nombre de artefactos.⁽¹³⁾

Los artefactos de imagen pueden tener múltiples causas que van desde factores técnicos hasta clínicos.^(7,9,11,13) Estos incluyen cómo se adquieren y generan los datos, las propiedades intrínsecas del ojo y la enfermedad ocular, el movimiento ocular y, cómo se procesan y muestran los datos de OCT como imágenes angiográficas.⁽³⁾ Lo anterior rige el rendimiento, así como la susceptibilidad a los artefactos y ayuda a enmarcarlos.

Prevalencia

La prevalencia de artefactos oscila entre el 72-100 %.^(8,9,11,14,15,16,17) Varía según el tipo de artefacto y dispositivo OCTA estudiado.^(3,18) La baja calidad de imagen y la

enfermedad subyacente del segmento posterior se asocian con su mayor prevalencia.^(18,19,20) (tabla).

Tabla -Prevalencia de artefactos de angiografía por tomografía de coherencia óptica según los diferentes estudios

Artefactos	Dispositivo	Grupo de estudio	Autores
Segmentación (0% en ojos sanos, 64,1% en MER) Movimiento (7,5 % en ojos sanos, 53,8 % en MER)	AngioVue, RTVue XR Avanti SD-OCT	Normales y MER	<i>Bontzos y otros 2020</i> ⁽⁵⁾
Proyección (100 %), movimiento (75,2 %), desenfoque (24,3 %), descentración (21,3 %)	SS-OCTA	Normales y glaucoma	<i>Weijing y otros 2020</i> ⁽¹⁷⁾
Desplazamiento (96,3 %), sombras (92,3 %), líneas blancas finas (63,4 %), duplicación de vasos (35,4 %)	PLEX Elite 9000	Normales	<i>Eastline y otros 2019</i> ⁽²¹⁾
Movimiento (96,3 %), sombras (51,9 %)	SD-OCTA Spectralis	Normales y esclerosis múltiple	<i>Iftikjhar y otros 2019</i> ⁽¹⁵⁾
Proyección (100 %), segmentación (55 %), movimiento (49 %), bandas (43 %)	SD-OCTA Cirrus 5000 (módulo AngioPlex)	Normales, retinopatía diabética, oclusiones vasculares	<i>Enders y otros 2019</i> ⁽¹⁹⁾

MER: Membrana Epiretinal; SD-OCTA (OCT Dominio Espectral); SS-OCTA (OCT Swept-source).

En pacientes con retinopatía diabética, *Holmen y otros*⁽¹⁴⁾ reportaron al menos un artefacto en el 97,3 % de las imágenes. En una población bien diversificada del norte de Texas compuesta por 292 pacientes, *Mekala y otros*⁽²²⁾ encuentran que la mayoría de los casos (99,3 %) tenían al menos un artefacto; los más graves (que afectaron a más del 10 % del área de exploración) se presentaron en pacientes con glaucoma (31,4 %) y miopía (30,8 %). *Weijing y otros*⁽¹⁷⁾ informaron que el 88,3 % de las imágenes OCTA del plexo vascular superficial de 343 ojos de 183 sujetos, incluidos 100 pacientes con glaucoma y 83 participantes sanos, mostraron al menos un tipo de artefacto. Sin embargo, *Cheng y otros*⁽¹⁸⁾ solo lo observan en el 24,5 % de los pacientes, al analizar 4426 imágenes con el uso de OCTA de fuente de barrido. En teoría, estos instrumentos que emplean luz de longitud de onda más larga se afectan menos por los artefactos, en comparación con los de dominio espectral.

Factores de riesgo

Los factores asociados a la presencia de los artefactos incluyen edad avanzada, mala agudeza visual,⁽¹⁸⁾ cooperación deficiente del paciente,⁽¹⁴⁾ diámetro pupilar inferior a 2 mm, aberraciones ópticas, afecciones sistémicas como el parkinson o enfermedades oculares que incluyen afecciones retinocoroideas, trastornos de la superficie ocular^(3,4,6) y el glaucoma primario de ángulo abierto.⁽¹⁸⁾ El adelgazamiento de la capa de fibras nerviosa de la retina glaucomatosa se asocia a una disminución de su reflectividad, lo que hace más difícil la determinación automática de su espesor.^(18,23)

Por otro lado, la disminución de la calidad de la imagen incrementa la presencia de artefactos, y es más probable a medida que progresa el glaucoma.⁽¹⁸⁾ De forma reciente *Kamalipour* y otros⁽⁸⁾ mostraron que el 40 % de las imágenes OCTA en el grupo de glaucoma tenían peor calidad. La catarata densa o la hemorragia difusa en vítreo causan una disminución global de la señal, mientras que las opacidades focales causan una pérdida localizada, detrás de la opacidad.⁽¹³⁾ Algunas investigaciones reportan que los pacientes pseudofáquicos tienen una mayor frecuencia de errores en comparación con los ojos normales.^(11,12) Quizás la opacidad de cápsula posterior sutil, que no tiene repercusión significativa en la visión, puede disminuir la transmisión de la fuente de luz y afectar la fuerza de la señal. Otra posibilidad es que el lente intraocular por sí mismo pueda causar la dispersión de la luz fuera de la superficie frontal o posterior de la lente, lo que puede degradar la intensidad de la señal.⁽¹¹⁾

Clasificación de los artefactos

En la actualidad no existe una clasificación que tenga un uso extendido y que se acepte por la mayoría de la comunidad científica.

En sentido práctico, los artefactos generalmente agregan información no deseada (artefactos de proyección, movimiento) o restan información necesaria (opacidad de los medios: flóculos vítreos, catarata, hemorragia vítrea; depósito intra o

subretiniano: material drusenoide o viteliforme, sangre; flujo sanguíneo demasiado lento o rápido para ser visto: microaneurisma).⁽¹³⁾

Holmen y otros⁽¹⁴⁾ los clasifican en relacionados con el equipo u operador (proyección, segmentación, desenfoque, descentrado) y relacionados con el paciente (bandas, sombras). Algunos artefactos pueden estar relacionados con más de un subconjunto de estas categorías, por ejemplo, los de movimiento.

Tipos de artefactos

El siguiente cuadro ofrece una descripción general de los artefactos.⁽³⁾

Cuadro - Descripción general de los artefactos

Tipo de artefactos		Definición
Movimiento	Líneas blancas finas horizontales	Líneas blancas finas horizontales, que conducen a la pérdida de integridad de los vasos (interrupción o desplazamiento ilusorio de estos)
	Líneas de parpadeo	Líneas o bandas negras horizontales o verticales en el angiograma
	Desplazamiento	Ondulación o discontinuidad de los vasos retinianos
	Estiramiento	Vasos estirados o presencia de franjas lineales cortas en el borde de la imagen
	Acolchado	Patrón rectangular o de tablero de ajedrez
	Duplicación de vasos	Los vasos se muestran dos veces uno al lado del otro dentro de una capa
Segmentación		Identificación errónea de los límites de la retina
Bandas		Bandas horizontales de diferente brillo
Desenfoque		Disminución de la intensidad de reflexión y pobre visualización de los pequeños vasos en el angiograma
Sombra		Disminución de la intensidad de las capas de la retina en áreas aisladas, que se reemplazan por zonas oscuras en el angiograma
Descentración		Disco óptico o mácula no centradas en el angiograma
Desplazamiento Z		B-scan verticales fuera de la ventana de adquisición del escaneo
Proyección		Imagen fantasma de los vasos retinianos superficiales en las capas más profunda

Artefactos de movimiento

Se les denomina a las descorrelaciones clínicas debidas al movimiento y no al flujo sanguíneo. Cualquier movimiento ocular puede generar artefactos en la imagen. Los tiempos de *interscan* que se utilizan en los dispositivos comerciales son largos, así

que pequeñas sacudidas del paciente en general (el ciclo cardíaco, la respiración, los temblores) o del ojo en particular (microsacadas) ocasionan la oscilación de la coroides y la retina, lo que provoca cambios dramáticos de un B-scan al siguiente.^(2,11) Las imágenes OCTA se ven típicamente *en face* y el movimiento del ojo produce una distorsión cortante o espacios vacíos en estas, que son más evidentes que en OCTA estructural.⁽⁵⁾

Lauermann y otros⁽²⁴⁾ clasificaron los artefactos de este tipo en dos grupos:

- los causados por el movimiento ocular: líneas blancas finas, líneas de parpadeo y desplazamiento (fig. 1) y
- los artefactos debidos a la corrección del movimiento ocular por el programa del equipo: artefactos de estiramiento, duplicación de vasos (fig. 2) y acolchado.

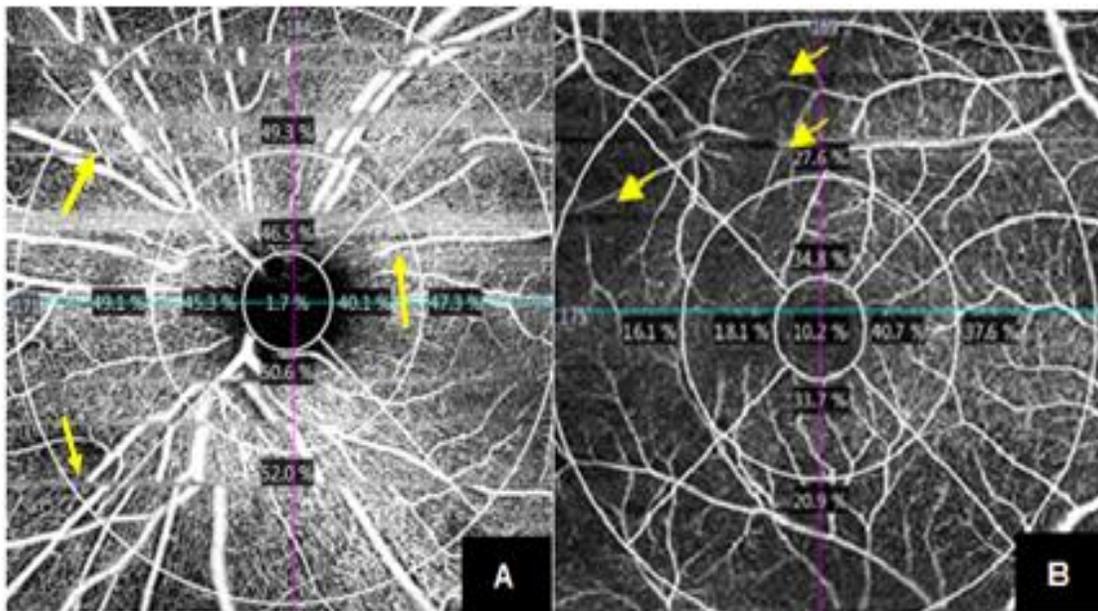


Fig. 1- Artefactos de movimiento. A) Líneas blancas finas horizontales y desplazamiento del curso de los vasos retinianos. B) Líneas de parpadeo: se observan bandas negras horizontales en el angiograma, lo que indica que faltan exploraciones.

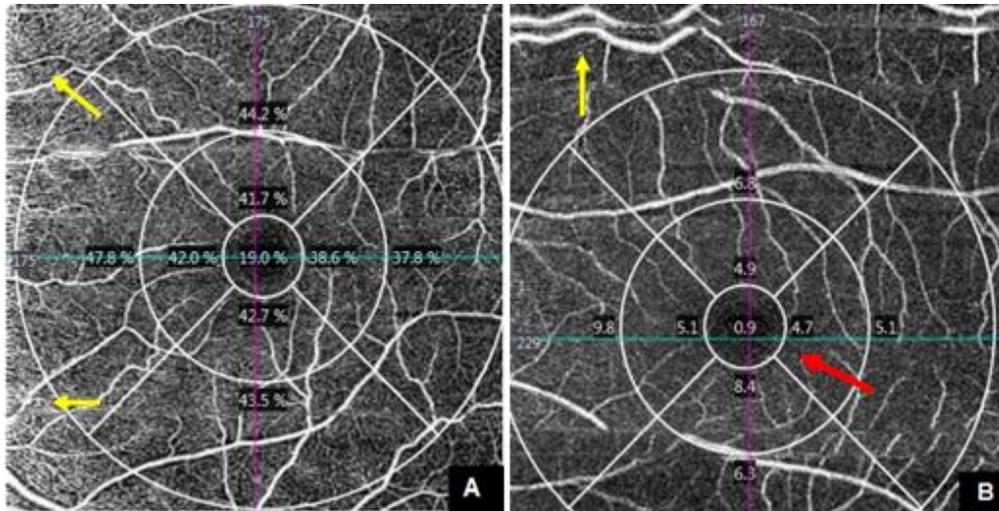


Fig. 2 - A) Artefacto de estiramiento (flecha amarilla). **B)** Duplicación de vasos (flecha amarilla) y descentrado de la fovea en la imagen “en face” a nivel del plexo capilar superficial (flecha roja).

Las líneas blancas finas horizontales representan una zona de falso flujo positivo, que conducen a la pérdida de integridad (interrupción o desplazamiento) de los vasos en el angiograma.^(3,21) Las líneas de parpadeo son causadas por el cierre de los ojos durante la adquisición de imágenes, que resulta en una pérdida total de la intensidad de reflectancia en un área de escaneos B adyacentes; esto origina bandas negras de extremo a extremo con un ancho que depende de la duración del cierre ocular.⁽¹⁸⁾ Por otro lado, el desplazamiento de múltiples escaneos B adyacentes conduce a la distorsión lineal de una imagen, y como consecuencia se visualiza un vaso retiniano ondulado o discontinuo.⁽¹¹⁾

Los artefactos de duplicación se definen como la aparición de dos o más imágenes similares que no se superponen. Los vasos se muestran uno al lado del otro dentro de una capa, al registrar de forma incorrecta las señales de los ejes X e Y. En el de estiramiento, se observan vasos estirados y/o bandas o franjas lineales cortas de diferente brillo en el borde de la imagen OCTA (duplicación de bordes) (fig. 2). El acolchado (defecto entrecruzado o de tablero de ajedrez) es el resultado de la falla del equipo para corregir múltiples movimientos sacádicos; aparece como un patrón rectangular de artefactos.⁽¹³⁾

Desplazamiento Z (o fuera de la ventana)

Pérdida de los bordes periféricos de las exploraciones B (obtenidas en un patrón de trama tanto horizontal como vertical) debido a una mala alineación de la posición de la cabeza durante la captura de escaneo.^(8,20) Este tipo de artefacto ocurre si la visualización de un B-scan está fuera de la ventana de adquisición del escaneo⁽¹⁴⁾ (fig. 3 A).

Artefactos de segmentación

Cualquier equivocación en la detección de la posición correcta de los límites de la retina conduce a artefactos de segmentación. Un estudio reciente los definió como una desviación superior al 50 % del grosor del plexo que le corresponde. Estos errores son más frecuentes en imágenes de baja calidad y en ojos con enfermedad retiniana⁽¹³⁾ (fig. 3 B).

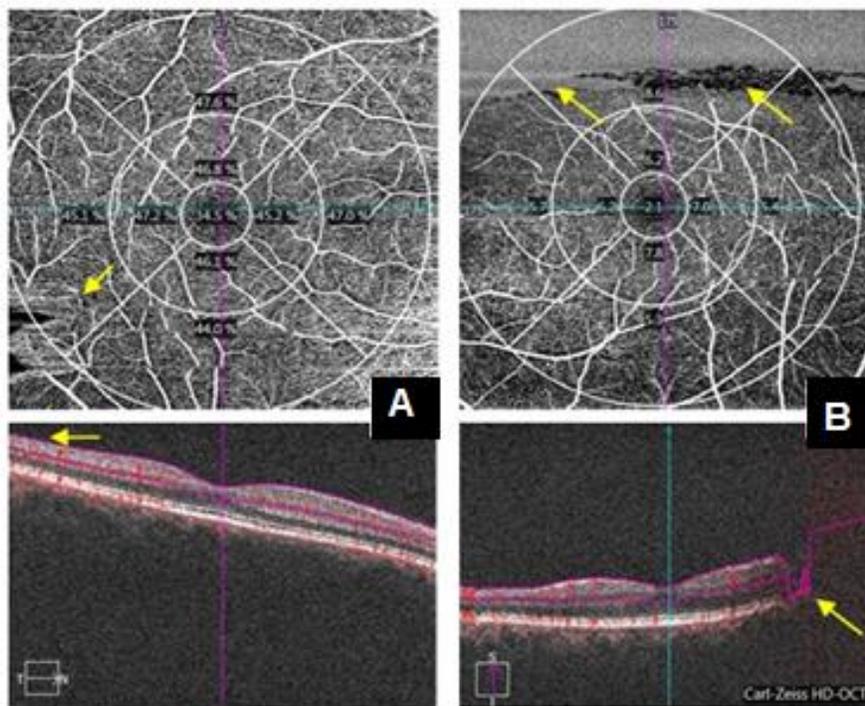


Fig. 3 - A) Desplazamiento Z (pérdida en los datos de la imagen, resultante de B-scans fuera de la ventana de adquisición). B) Error de segmentación; arriba: en la imagen *en face*; debajo: en el B-scan correspondiente.

Las imágenes frontales de los plexos capilares (superficial, profundo, retina avascular externa y coriocapilar) no se generan al proyectar capas retinianas específicas. Estas se obtienen a partir de la estimación de los rangos de profundidad previstos para ellos en la retina; al tener en cuenta su localización habitual. Los parámetros para diferenciarlas pueden basarse en la reflectividad, textura u otros atributos, de forma directa o mediante inferencia bayesiana, *deep learning*, etc.^(4,5) Sin embargo, esta estrategia falla en situaciones en las que la arquitectura de la retina normal está alterada y la identificación de las capas no se realiza con facilidad. Las estrategias de segmentación diseñadas en ojos sanos, fallan en ojos con edemas retinianos, atrofas, sangrados, infiltración, altos miopes con estafiloma (aún sin neovascularización coroidea o esquisis) o irregularidades tisulares.⁽⁵⁾ Esto produce una imagen vascular sin significado clínico, porque la imagen es una fusión de capas vasculares dispares y no se refleja la anatomía real.^(23,24) En la actualidad es imposible que un algoritmo informático identifique con precisión todas las capas retinianas en cada tipo de enfermedad.

La segmentación automática en sujetos sanos es muy fiable, pero incluso en estos ojos se demostró que los dispositivos de tres OCTA comerciales segmentaron de forma incorrecta la anatomía vascular de la fóvea, pues una parte del plexo vascular profundo fue considerada parte del plexo superficial; esto se debe a que la capa nuclear interna no existe en la fóvea.^(5,23) El principal desafío en la actualidad radica en lograr una confiable y correcta segmentación.

Descentrado

Translocación del centro de la cabeza del nervio óptico o mácula desde el centro del angiograma frontal a la periferia de la exploración; de modo que los subcampos centrales o internos quedan fuera de la cuadrícula OCT después de reposicionarlos en al menos un 10 %⁽¹⁴⁾ (fig. 2) El algoritmo del equipo puede o no identificar de forma correcta el nuevo centro de disco óptico o mácula.^(3,18)

Artefactos de proyección

La luz que pasa a través de los vasos sanguíneos puede ser reflejada, refractada o absorbida. La luz reflejada desde las células en movimiento es la base del funcionamiento de la OCTA. Sin embargo, cuando la luz transmitida a través de un vaso, se refleja desde superficies reflectantes subyacentes (epitelio pigmentario de la retina, etc.) puede dar la impresión que hay flujo sanguíneo, donde en realidad no existe. Por lo tanto, los artefactos de proyección son la presencia de flujo falso en las capas más profundas. Se debe considerar un artefacto de proyección si los vasos del plexo capilar profundo parecen tener el mismo patrón que los vasos sanguíneos superficiales.⁽¹³⁾

Hay varias capas del fondo de ojo que actúan como reflectores naturales: el epitelio pigmentario de la retina y las capas plexiformes. Además de las drusas y pigmentaciones focales o lípidos, por lo que se debe tener cuidado al evaluar la apariencia del flujo en la OCTA en las capas profundas de la retina o en el espacio subretiniano.^(9,10,13) Entender bien este tipo de error es fundamental para la precisa evaluación clínica. Es sencilla su identificación con el entrenamiento adecuado, mediante el examen secuencial de imágenes *en face* a diferentes profundidades.

Desenfoque

Produce una disminución de la intensidad de reflexión de las capas retinianas internas en comparación con las imágenes OCT estándar normales; y se origina por una imagen desenfocada y pobre visualización de los pequeños vasos en el angiograma^(11,14) (fig. 4).

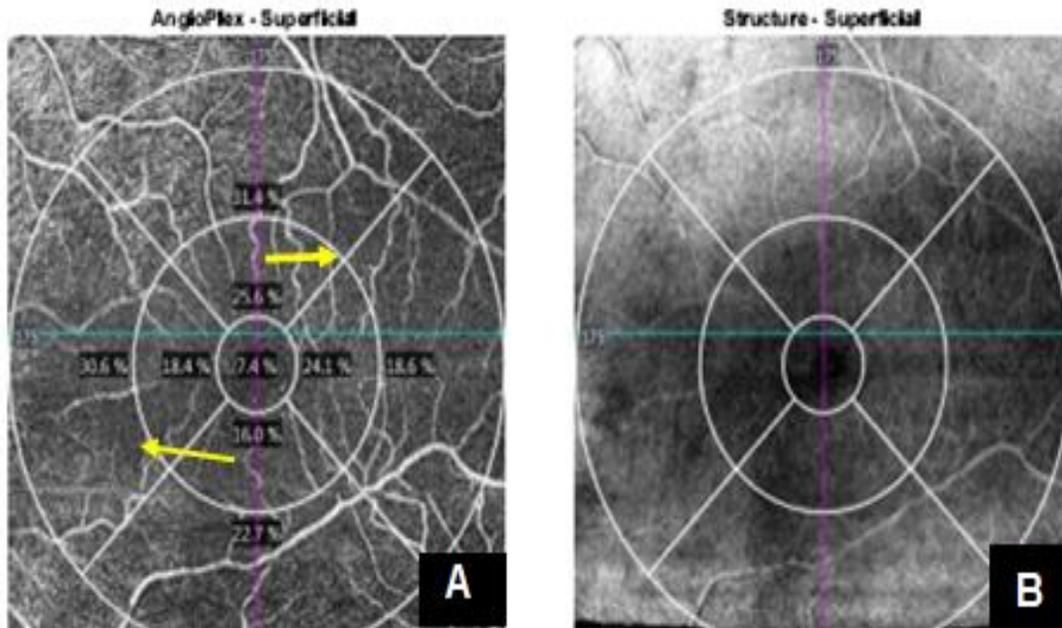


Fig. 4- A) Paciente con glaucoma en estadio moderado, donde se visualizan áreas de visibilidad reducida del patrón microvascular (artefacto de desenfoque). B) Imagen estructural correspondiente.

Bandas

Su causa es un cambio temporal en el poder de refracción de la córnea durante el parpadeo, lo que hace que una parte de la imagen esté desenfocada. Se visualizan como rayas o bandas horizontales adyacentes de diferente brillo.^(6,14)

Sombras

Disminución de la intensidad de las capas de la retina en áreas aisladas, a menudo debido a flóculos vítreos u opacidades de la córnea. Como resultado, estas estructuras no se pueden visualizar claramente y se reemplazan con áreas oscuras en el angiograma^(3,14) (fig. 5).

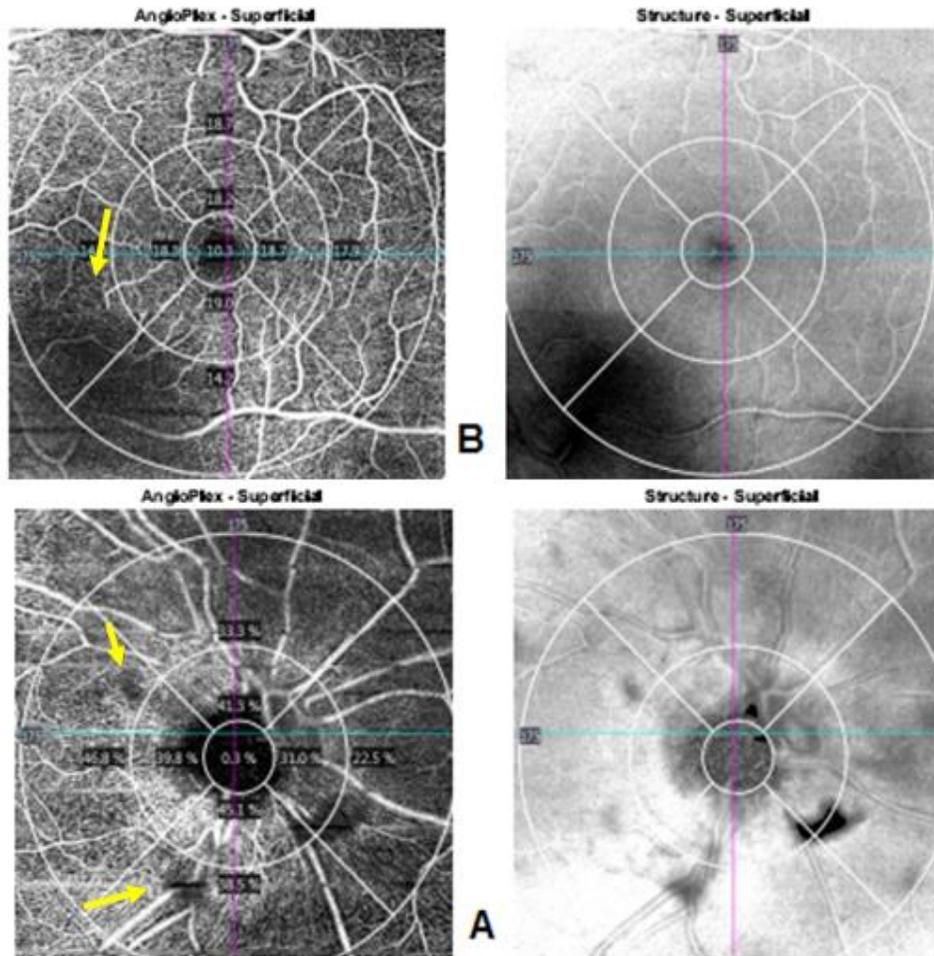


Fig. 5 - Áreas de señal reducida (artefacto de sombras) en un paciente con flóculos vítreos.

Algoritmos para la corrección de artefactos

La introducción de programas o algoritmos rápidos y precisos han reducido de forma significativa la tasa de artefactos (seguimiento ocular, sustracción de artefactos de movimiento, eliminación de proyección).^(4,6,10,23,25)

El Eye Tracking se utiliza para reducir los efectos del movimiento. Todos los fabricantes de tecnología OCT disponen de alguna forma de seguimiento ocular activo.^(8,9) Con el *tracking* ocular, la posición del ojo se corrige de forma inmediata mediante el reescaneo de las partes afectadas, si el movimiento es mayor que el umbral establecido; el resultado se adjunta al escaneo original.⁽¹³⁾ Este sistema de seguimiento de la mirada permite comparar el mismo tejido en cada ocasión. Es útil

en la confirmación de la progresión y por ende el diagnóstico de glaucoma.^(2,4,6) Determinados movimientos oculares de alta frecuencia: temblor o un nistagmo, están más allá de las capacidades del *tracking* ocular, la corrección del programa del equipo o los enfoques combinados; en la actualidad no tienen solución. De forma paradójica, los propios algoritmos de corrección, pueden generar nuevos artefactos (duplicación de vasos, estiramiento de la imagen, acolchado, etc.) en el intento de compensar estos.⁽²⁴⁾

En relación con los artefactos de proyección se han descrito varios métodos para mitigar su presencia, pero es muy difícil excluirlas de la imagen de OCTA. Los algoritmos más recientes para reducirlos, trabajan con *A-scans* individuales y se conocen como *projection resolved* OCTA (PR-OCTA) y *reflectance-based projection-resolved* OCTA.⁽¹⁰⁾ A pesar de estos avances, el PR-ATCO comercial podría no ser capaz de eliminar por completo el flujo falso que se asocia con exudados duros y migraciones de pigmentos en la proliferación angiomasiosa retiniana.⁽²⁵⁾ Los artefactos de proyección representan un fenómeno inherente a la tecnología actual. La investigación sobre este tema está en curso y es probable que los algoritmos sean cada vez mejores.

Además, pueden surgir otros en la fase posterior al procesamiento, incluido el defecto en la segmentación de capas en ojos con enfermedad ocular (miopía degenerativa, atrofia tislular);⁽¹⁶⁾ si la forma automática es errónea, en teoría se puede realizar de forma manual. Muchos fabricantes de equipos tienen programas que permiten realizar correcciones a través de múltiples *B-scan*, pero este proceso puede llevar mucho tiempo y no es exacto en absoluto.⁽²⁵⁾ Por lo tanto no es adecuado para la práctica clínica ni para los estudios multicéntricos a gran escala. Existen artefactos (desenfoco, sombra, etc.) que no cuentan con algoritmos para su corrección; lo que puede modificar los resultados cuantitativos de OCTA.

Impacto de los artefactos en la precisión e interpretación de las métricas derivadas de OCTA

Los artefactos pueden afectar los resultados cualitativos y cuantitativos de OCTA, lo que dificulta la interpretación de imágenes. *Abu-Yaghi* y otros⁽⁹⁾ reportan que al comparar las características de las imágenes con y sin artefactos, las primeras tenían una densidad vascular central significativamente más alta (22,62 vs. 16,60) y una densidad vascular inferior más baja. Un aumento significativo en la densidad vascular central solo está presente en imágenes con artefacto de desplazamiento Z. El artefacto de movimiento conlleva a informar áreas faltantes y duplicadas de la retina en el escaneo; sin embargo, no provoca alteración en los parámetros cuantitativos.

Stepien y otros⁽¹¹⁾ observaron que la densidad vascular en el 74 % de los ojos con enfermedad de la retina y el 54,7 % de los sujetos normales no era confiable debido a la presencia de artefactos. En el 72 % de las imágenes con densidad vascular poco confiable se encontró más de un error.⁽¹¹⁾

Se puede concluir que las imágenes de angiografía por tomografía de coherencia óptica presentan artefactos, con elevada frecuencia, tanto en sujetos normales como glaucomatosos. Se debe realizar una evaluación detallada de los factores de riesgo del paciente; lo que permitirá identificar su presencia, ajustar la técnica de adquisición de las imágenes e interpretar de forma cuidadosa los resultados.

Referencias bibliográficas

1. Tanna AP, Boland MV, Giaconi JA, Krishnan C, Lin SC, Medeiros FA, *et al* (ed.). Introduction to Glaucoma: Terminology, Epidemiology and Genetics. En: American Academy of Ophthalmology. Basic and Clinical Science Course 2022-2023. San Francisco: American Academy of Ophthalmology; 2022 [acceso 22/02/2024]. Disponible en:

https://books.google.com.cu/books/about/2021_2022_Basic_and_Clinical_Science_Cou.html?id=ASagzgEACAAJ&redir_esc=y

2. Rao HL, Pradhan ZS, Suh MH, Moghimi S, Mansouri K, Weinreb RN. Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma. *Journal of glaucoma*. 2020;29(4):312-21. DOI: [10.1097/IJG.0000000000001463](https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001463)
3. Anvari P, Ashrafkhorasani M, Habibi A, Falavarjani KG. Artifacts in Optical Coherence Tomography Angiography. *J Ophthalmic Vis Res*. 2021;16(2):271-86. DOI: [10.18502/jovr.v16i2.9091](https://doi.org/10.18502/jovr.v16i2.9091)
4. Kooner K RM, Suresh S, Buchanan E, Albdour M, Zuberi H. The Role of Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma. *Optical Coherence Tomography-Developments and Innovations in Ophthalmology.IntechOpen*. 2023. DOI: [10.5772/intechopen.110272](https://doi.org/10.5772/intechopen.110272)
5. Bontzos G, Kabanarou SA, Garnavou-Xirou C, Gkizis I, Kontou E, Triantafyllou D, *et al*. Segmentation errors and motion artifacts in OCT-A associated with epiretinal membranes. *Can J Ophthalmol*. 2020;55(4):293-300. DOI: [10.1016/j.jcjo.2019.12.007](https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2019.12.007)
6. Kleerekooper I, Houston S, Dubis AM, Trip SA, Petzold A. Optical Coherence Tomography Angiography (OCTA) in Multiple Sclerosis and Neuromyelitis Optica Spectrum Disorder. *Front Neurol*. 2020;11:604049. DOI: [10.3389/fneur.2020.604049](https://doi.org/10.3389/fneur.2020.604049)
7. Bayer A, Akman A. Artifacts and Anatomic Variations in Optical Coherence Tomography. *Turkish journal of ophthalmology*. 2020;50(2):99-106. DOI: [10.4274/tjo.galenos.2019.78000](https://doi.org/10.4274/tjo.galenos.2019.78000)
8. Kamalipour A, Moghimi S, Hou H, Penteado RC, Oh WH, Proudfoot JA, *et al*. OCT Angiography Artifacts in Glaucoma. *Ophthalmology*. 2021;128(10):1426-37. DOI: [10.1016/j.ophtha.2021.03.036](https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.03.036)
9. Abu-Yaghi NE, Obiedat AF, AlNawaiseh TI, Hamad AM, Bani Ata BA, Quzli AA, *et al*. Optical Coherence Tomography Angiography in Healthy Adult Subjects: Normative Values, Frequency, and Impact of Artifacts. *Biomed Res Int*. 2022;2022:7286252. DOI: [10.1155/2022/7286252](https://doi.org/10.1155/2022/7286252)

10. Ashraf M, Sampani K, Abu-Qamar O, Cavallerano J, Silva PS, Aiello LP, *et al.* Optical Coherence Tomography Angiography Projection Artifact Removal: Impact on Capillary Density and Interaction with Diabetic Retinopathy Severity. *Translational Vision Science & Technology.* 2020;9(7):10-17. DOI: [10.1167/tvst.9.7.10](https://doi.org/10.1167/tvst.9.7.10)
11. Stepien KE, Konda SM, Etheridge T, Holmen I, Kopplin L, Pak JW, *et al.* Impact of artifacts in optical coherence tomography angiography image analysis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2020 [acceso 15/03/2024];61(7):4818-26. Disponible en: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2768707>
12. Li A, Thompson AC, Asrani S. Impact of Artifacts From Optical Coherence Tomography Retinal Nerve Fiber Layer and Macula Scans on Detection of Glaucoma Progression. *Am J Ophthalmol.* 2021;221:235-45. DOI: [10.1016/j.ajo.2020.08.018](https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.08.018)
13. Gómez-Ulla F R-MJ, Arias L. Artefactos en la OCTA y calidad de la imagen obtenida. En: *Angiografía por Tomografía de Coherencia Óptica (OCTA) 97 Ponencia Oficial de la Sociedad Española de Oftalmología.* España. 2021 [acceso 15/03/2024]. Disponible en: https://www.ofthalmoseo.com/libros_seo/ponencia_seo/angiografia-por-tomografia-de-coherencia-optica-octa-2/
14. Holmen IC, Konda SM, Pak JW, McDaniel KW, Blodi B, Stepien KE, *et al.* Prevalence and severity of artifacts in optical coherence tomographic angiograms. *JAMA ophthalmology.* 2020;138(2):119-26. DOI: [10.1001/jamaophthalmol.2019.4971](https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2019.4971)
15. Iftikhar M, Zafar S, Gonzalez N, Murphy O, OhemaaKwakyi MS, Sydney Feldman BS, *et al.* Image Artifacts in Optical Coherence Tomography Angiography Among Patients with Multiple Sclerosis. *Curr Eye Res.* 2019;44(5):558-63. DOI: [10.1080/02713683.2019.1565892](https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1565892)
16. Poon LY, Wang CH, Lin PW, Wu PC. The prevalence of optical coherence tomography artifacts in high myopia and its influence on glaucoma diagnosis. *J Glaucoma.* 2023;32(9):725-33. DOI: [10.1080/02713683.2019.1565892](https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1565892)
17. Weijing C, Zhang X, Wang W. Artifacts associated with swept-source OCT-angiography measurements in glaucoma. *Investigative Ophthalmology & Visual*

- Science. 2020 [acceso 10/03/2024];61(7):4117-26. Disponible en: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2769383>
18. Cheng W, Song Y, Lin F, Xiong J, Li F, Jin L, *et al.* Assessment of Artifacts in Swept-Source Optical Coherence Tomography Angiography for Glaucomatous and Normal Eyes. *Translational Vision Science & Technology.* 2022;11(1):23. DOI: [10.1167](https://doi.org/10.1167)
19. Enders C, Lang GE, Dreyhaupt J, Loidl M, Lang GK, Werner JU. Quantity and quality of image artifacts in optical coherence tomography angiography. *PloS One.* 2019;14(1):e0210505. DOI: [10.1371/journal.pone.0210505](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210505)
20. Ghasemi Falavarjani K, Habibi A, Anvari P, Ghasemizadeh S, Ashraf Khorasani M, Shenazandi H, *et al.* Effect of segmentation error correction on optical coherence tomography angiography measurements in healthy subjects and diabetic macular edema. *Br J Ophthalmol.* 2020;104(2):162-6. DOI: [10.1136/bjophthalmol-2019-314018](https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314018)
21. Eastline M, Munk MR, Wolf S, Schaal KB, Ebnetter A, Tian M, *et al.* Repeatability of Wide-field Optical Coherence Tomography Angiography in Normal Retina. *Transl Vis Sci Technol.* 2019;8(3):6. DOI: [10.1167/tvst.8.3.6](https://doi.org/10.1167/tvst.8.3.6)
22. PKP M, Patel M, Kim-Cavdar KKS, Editors. OCT-A artifacts in healthy, ocular hypertension, glaucoma suspect, myopic and glaucomatous eyes. In: American Academy of Ophthalmology annual Meeting. Chicago IL. 2022 [acceso 15/03/2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9184968>
23. Hood DC, La Bruna S, Tsamis E, Thakoor KA, Rai A, Leshno A, *et al.* Detecting glaucoma with only OCT: Implications for the clinic, research, screening, and AI development. *Prog Retin Eye Res.* 2022;90:101052. DOI: [10.1016/j.preteyeres.2022.101052](https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2022.101052)
24. Lauer mann JL, Woetzel AK, Treder M, Alnawaiseh M, Clemens CR, Eter N, *et al.* Prevalences of segmentation errors and motion artifacts in OCT-angiography differ among retinal diseases. *Graefe's Arch ClinExpOphthalmol.* 2018;256(10):1807-16. DOI: [10.1007/s00417-018-4053-2](https://doi.org/10.1007/s00417-018-4053-2)

25. Hormel TT, Huang D, Jia Y. Artifacts and artifact removal in optical coherence tomographic angiography. Quant Imaging Med Surg. 2020;11(3):1120-33. DOI: [10.21037/qims-20-730](https://doi.org/10.21037/qims-20-730)

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.