

IMÁGENES EN CARDIOLOGÍA

Utilidad de otras técnicas de imagen en la valoración de la enfermedad coronaria: Ultrasonido intravascular (IVUS)



Libardo Augusto Medina López^{a,*}, Carlos Sebastián Balestrini^b,
Tamara Gorgadze^a y José Federico Saabi Solano^a

^a Departamento de Cardiología intervencionista y hemodinamia, Fundación Cardiovascular / Hospital internacional de Colombia, Bucaramanga, Colombia

^b Instituto Modelo de Cardiología, Córdoba, Argentina

Recibido el 10 de abril de 2018; aceptado el 20 de julio de 2018

Disponible en Internet el 23 de enero de 2019

PALABRAS CLAVE

Angiografía;
Enfermedad
coronaria;
Imagen;
Ecografía
intravascular;
Angioplastia
coronaria

KEYWORDS

Angiography;
Coronary disease;
Image;
Intravascular
ultrasound;
Coronary angioplasty

Resumen El ultrasonido intravascular es una herramienta de imagen complementaria a la angiografía coronaria para la evaluación de la enfermedad coronaria, que permite una visualización global de la placa aterosclerótica y tiene una aplicación clínica de suma importancia, pues ayuda a definir qué lesiones ameritan o no intervención cuando la angiografía coronaria por sí sola no es clara. De igual manera, permite optimizar las intervenciones coronarias, incluidas intervenciones en tronco, bifurcaciones y oclusiones crónicas, con el fin de disminuir la subexpansión o la malaposición de los *stent* y de esta manera minimizar eventos clínicos futuros como la trombosis y la restenosis de los *stents*. De forma adicional, permite realizar un análisis de la composición histológica de la placa aterosclerótica pudiendo identificar características de riesgo para eventos coronarios relacionados con esta.

© 2018 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Usefulness of other imaging techniques in the evaluation of coronary disease: Intravascular ultrasound

Abstract Intravascular ultrasound (IVUS) is a complementary imaging tool to coronary angiography for the evaluation of coronary disease. It provides an overview of the atherosclerotic plaque and has a clinical application of considerable importance, as it helps to define whether or not lesions merit an intervention when coronary angiography on its own is not clear.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: libardomedina2004@yahoo.com (L.A. Medina López).

Similarly, it helps to optimise coronary interventions, including those in the trunk, bifurcations, and chronic occlusions, with aim of decreasing the sub-expansion or poor positioning of the stent, and thus minimises future clinical events like thrombosis and the restenosis of the stents. Additionally, it helps to perform an analysis of the histological composition of the atherosclerotic plaque, on being able to identify risk characteristics for coronary events associated with the plaque.

© 2018 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La enfermedad coronaria sigue siendo la principal causa de muerte en el mundo¹, hecho que ha llevado a un crecimiento del interés en la caracterización de la placa aterosclerótica por ser el sustrato anatómico que da origen a las manifestaciones clínicas de la enfermedad coronaria. La angiografía coronaria tiene sus limitaciones ya que solo ofrece visualización en dos dimensiones y no de la pared vascular, subestimando así la extensión de la enfermedad; además, sufre de variabilidad interobservador. El ultrasonido intravascular (IVUS) es la primera modalidad de imagen para caracterización de la pared vascular y la placa aterosclerótica^{2,3}.

Principios básicos del ultrasonido intravascular

El IVUS facilita la visualización de la pared arterial mediante un transductor miniatura en la punta de un catéter flexible, el cual emite una onda de ultrasonido entre los 10 y 40 MHz, delineando la morfología de la placa y la distribución de esta, permitiendo así racionalizar y guiar las intervenciones coronarias percutáneas⁴.

Existen dos clases de catéteres: los de apertura mecánica y electrónica. El catéter mecánico tiene un solo transductor montado en la punta de un cuerpo flexible que rota a 1.800 rpm y se puede avanzar y retirar para escanear la arteria; estos catéteres tienen frecuencia de ultrasonido hasta 40 MHz, mientras que los de alta definición hasta de 60 MHz. Los catéteres de apertura electrónica tienen 64 transductores pequeños, fijos en la circunferencia de la punta del catéter, que emiten una señal de baja frecuencia (20 MHz), lo cual produce una baja resolución temporal y espacial pero sí mayor profundidad y no sufren la distorsión causada por una rotación no uniforme. Los catéteres actuales tienen una resolución axial de 100 micras y una resolución lateral de 250-300 micras aproximadamente⁵.

Para la interpretación de la imagen del IVUS se deben conocer las capas del vaso:

La íntima es la capa más interna que está en contacto directo con la luz; normalmente no tiene más de dos capas de células de grosor, es ecorreflectiva (color blanco) debido a la lámina elástica interna, pero adquiere importancia cuando la formación de la placa la separa de la capa media y se hace visible la lámina elástica interna (fig. 1).

La capa media es la más gruesa, ecolúcida (color negro), compuesta principalmente por músculo liso y separada de la adventicia por la lámina elástica externa (fig. 1).

La adventicia está compuesta por tejido fibroso y da soporte al vaso (fig. 1).

Medidas básicas en ultrasonido intravascular

Las medidas en ultrasonido se toman con un sistema de planimetría computarizado, en diástole y en tres lugares distintos (fig. 2).

- Lugar de la lesión: lugar más crítico de la lesión coronaria, es decir la menor área luminal encontrada.
- Referencia proximal: lugar de mayor área luminal proximal a la lesión, en el mismo segmento arterial, distante hasta 10 mm de la estenosis.
- Referencia distal: lugar de mayor área luminal distal a la lesión en el mismo segmento arterial, distante hasta 10 mm de la estenosis.

Para cada uno de los tres lugares distintos se deben medir las áreas del vaso representadas por el área de la lámina elástica externa y las áreas del lumen arterial (fig. 2).

- Área total del vaso o área de la membrana elástica externa (MEE): área obtenida a partir del delineamiento de la transición entre las capas media y la adventicia en mm².
- Área del lumen arterial: área obtenida a partir del delineamiento entre la sangre y la capa íntima; medida tanto en las referencias proximal y distal como en el sitio de la lesión.
- Área luminal de referencia (ALR): resultado del promedio de las áreas de referencias luminal proximal y distal.
- Área luminal mínima (ALM): obtenida a partir del delineamiento entre la sangre y la capa íntima en el sitio más estrecho de la lesión.
- Área de la placa más promedio: diferencia entre el área de la MEE y el área luminal.
- Carga de placa (%): área de la placa más promedio dividido en el área de la MEE multiplicado por 100.
- Área de estenosis: se obtiene de restar el ALM en la estenosis al ALR y dividirla por este.

Ultrasonido intravascular como guía en intervenciones coronarias

El IVUS permite caracterizar lesiones angiográficas intermedias (40 a 70%) para definir si requiere o no intervención, optimizar el implante de *stents* coronarios y determinar las

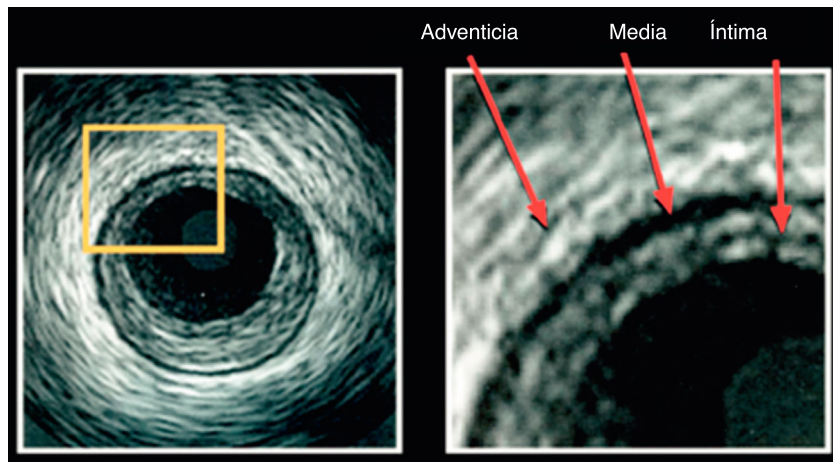


Figura 1 En esta imagen se pueden observar las tres estructuras básicas en la imagen por IVUS “tres capas”. La capa en contacto con el lumen es la íntima; la media es la menos ecogénica y la adventicia es la capa más externa que la de mayor ecogenicidad. Tomado de: *Tools and Techniques: Intravascular ultrasound and optical coherence tomography. Eurointervention. 2012;7.*

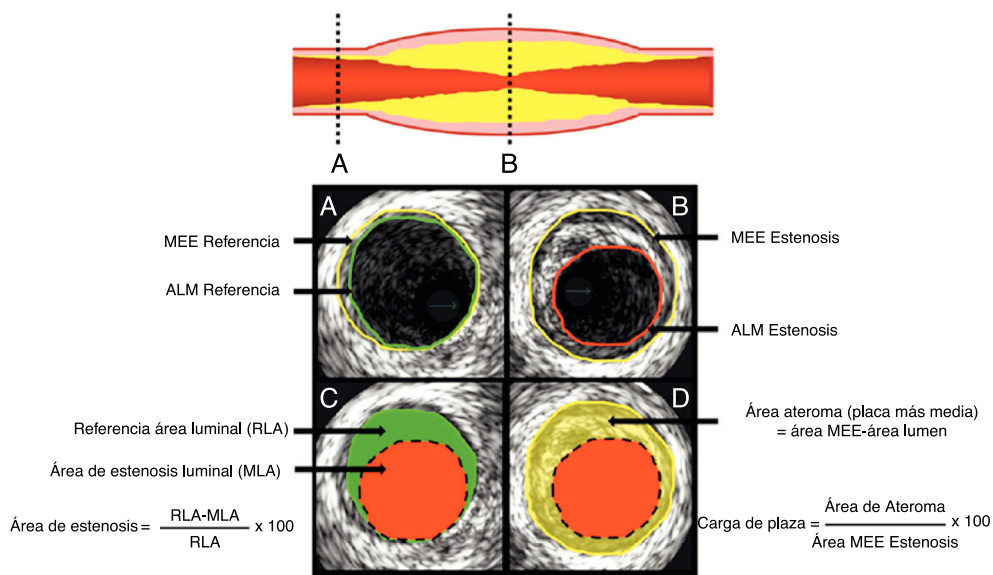


Figura 2 A. Segmento de referencia proximal. B, sitio de mayor estenosis Área luminal mínima (ALM). C, representa el cálculo del área de estenosis la cual compara el lumen de la estenosis con el lumen de referencia. D, representa la carga de placa que compara la estenosis del lumen con la lámina elástica externa MEE.

Tomado de: *J Am Coll Cardiol Int. 2011;4:1155- 67.*

causas por las cuales falló un *stent* (restenosis o trombosis); su uso ha demostrado reducir desenlaces clínicos de importancia.

Ultrasonido intravascular en lesiones angiográficas intermedias diferentes al tronco coronario izquierdo

De forma rutinaria se ha utilizado el IVUS para evaluar las lesiones intermedias y definir si requieren o no intervención, decisión que se basa en la medición del ALM. El método invasivo ideal para evaluar el significado hemodinámico de una lesión intermedia, es el flujo de reserva fraccional (FFR)^{6,7}. En nuestro medio la disponibilidad del FFR es más

limitada que la del IVUS, herramienta que aún desempeña un papel importante en la toma de decisiones en lesiones intermedias, de ahí la importancia de plantear un esquema de interpretación de los hallazgos para una decisión de intervención más acertada.

El punto de corte establecido para intervención en lesiones intermedias en coronarias epicárdicas que no sean el tronco coronario izquierdo ha sido < 4 mm² con base en dos estudios: en uno se correlacionaba el ALM < 4 mm² con isquemia en estudios de perfusión miocárdica y con FFR < 0,75⁸ (sensibilidad 92% y especificidad 56%)⁹ y en otro el ALM > 4 mm² mostró baja tasa de eventos cuando se difería la intervención¹⁰.

El ALM por sí sola es un parámetro con varias limitantes porque el efecto hemodinámico de una lesión intermedia

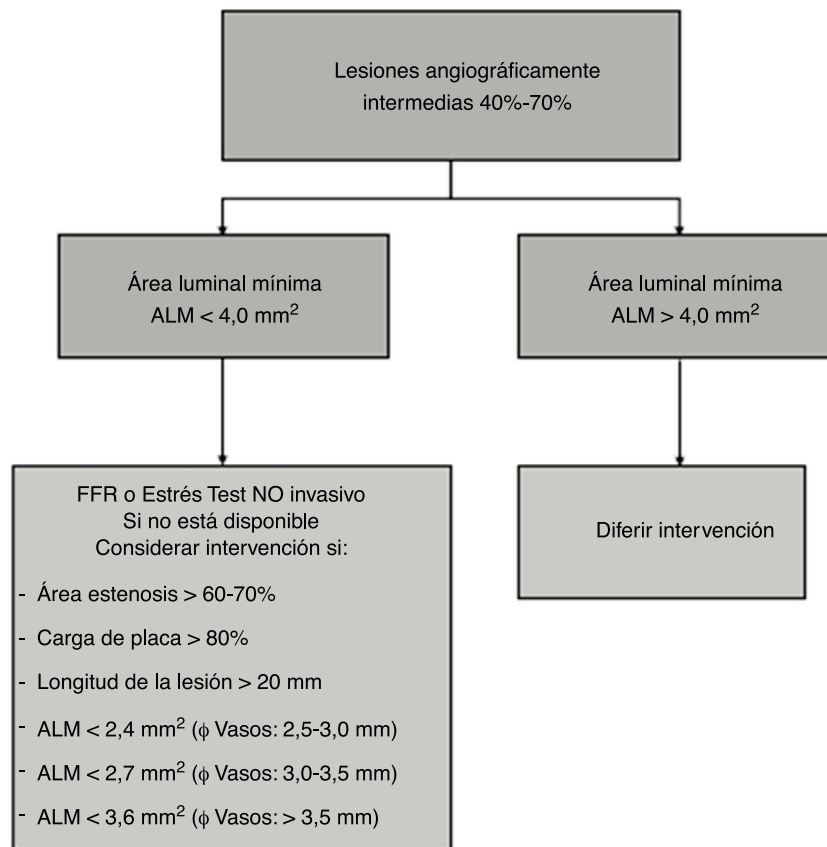


Figura 3 Flujograma para Lesiones intermedias en coronarias epicárdicas. Tomado y modificado de: J Am Coll Cardiol Int. 2011;4:1155-67.

depende adicionalmente de la longitud de la lesión, la excentricidad, los diámetros de referencia proximales y distales y la cantidad de miocardio a riesgo dependiente de la lesión¹¹. Por esta razón, se han correlacionado otros hallazgos por IVUS que puedan reflejar el impacto hemodinámico de la lesión. Es así como las lesiones intermedias con ALM < 3 mm², área de estenosis > 60%, carga de placa > 80% y longitud de la lesión > 20 mm que predicen mucho mejor un FFR < 0,75¹², ALM < 2,8 mm² y < 3,2 mm² se correlacionaron con FFR < 0,75 y < 0,80 respectivamente; no obstante, la mejor ALM para predecir un FFR < 0,80 es 2,4 mm² (sensibilidad 90% y especificidad 60%)¹³⁻¹⁵.

En conclusión, en una lesión intermedia con ALM > 4,0 mm² se puede diferir la intervención y en caso de ALM < 4,0 mm², esta por sí sola no es suficiente para justificarla, de tal forma que se deben tener en cuenta otros parámetros (fig. 3).

El ALM crítica para definir intervención depende del diámetro del vaso: ALM < 2,4 mm² para vasos con diámetro de referencia entre 2,5-3,0 mm, < 2,7 mm² para diámetros de referencia entre 3,0 y 3,5 mm y < 3,6 mm² para vasos mayores de 3,5 mm de diámetro.

Ultrasonido intravascular en lesiones angiográficas intermedias en tronco coronario izquierdo

Las lesiones intermedias en el tronco representan un reto para su evaluación angiográfica, ya que generalmente están

ubicadas sobre un segmento corto, calcificado, que puede comprometer el ostium o la bifurcación (fig. 4).

Se consideran como severas las lesiones con ALM < 6 mm² con base en un estudio en el cual un ALM < 5,9 mm² (sensibilidad 95% y especificidad 95%) y un diámetro del lumen < 2,8 mm (sensibilidad 93% y especificidad 98%), se correlacionaban con un FFR < 0,75¹⁶; adicionalmente, en otro estudio un ALM > 6,0 mm² discriminó pacientes con bajo riesgo de eventos isquémicos¹⁷, en tanto que un estudio reciente en población asiática encontró que un ALM < 4,8 mm² se correlaciona de mejor manera con un FFR < 0,80¹⁸. Este último es un parámetro para tener en cuenta en nuestro medio ya que la población asiática se asemeja más a la nuestra en cuestiones antropométricas. En conclusión, si se obtiene un ALM > 6,0 mm² se puede diferir la intervención, pero si el ALM es < 6,0 mm² se debe complementar el estudio con una prueba detectora de isquemia o realizar FFR o decidir la intervención de forma directa si el ALM es < 4,8 mm² (fig. 5).

Ultrasonido intravascular como guía en angioplastia coronaria con stent

El ultrasonido permite verificar, de manera rápida y exacta, las dimensiones del vaso, la longitud y la extensión o carga de la placa, así como su composición y remodelación. Una vez identificadas estas características es posible que el operador planee y realice la intervención acorde con estas para obtener el mejor resultado.

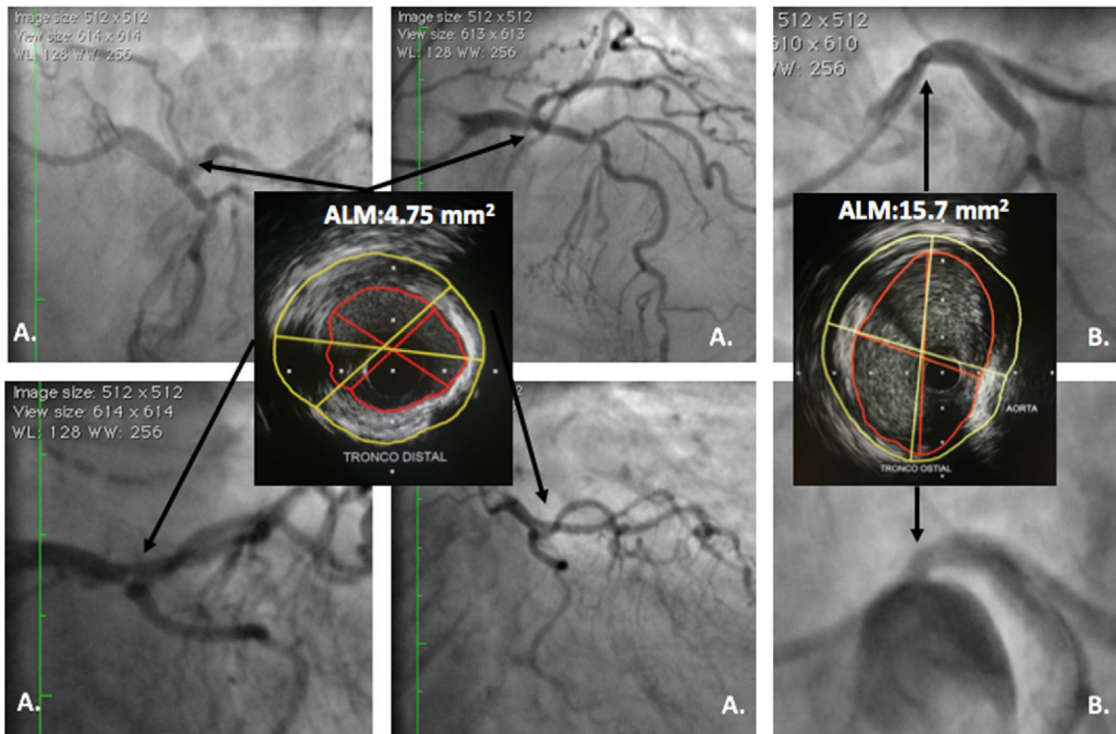


Figura 4 A. Lesión ambigua de tronco; en las diferentes vistas angiográficas, el IVUS evidencia lesión focal corta con ALM de 4,7 mm² en el tronco distal la cual se consideró severa. B. Lesión ambigua de tronco ostial; el IVUS evidencia ALM amplia de 15,7 mm² que descarta estenosis severa. La imagen angiográfica se consideró secundaria a la curva inicial del tronco en su origen.

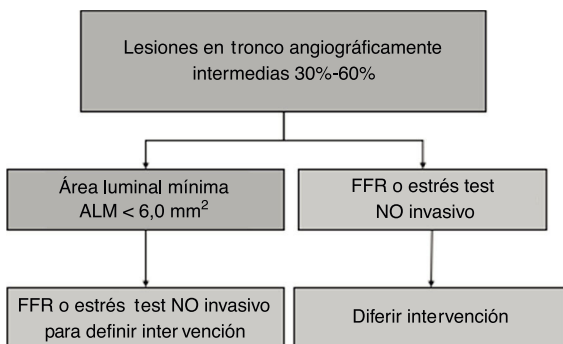


Figura 5 Flujograma para lesiones intermedias en tronco coronario izquierdo. Tomado y modificado de: J Am Coll Cardiol Int. 2011;4:1155-67.

Los estudios iniciales de angioplastias fallidas (restenosis y trombosis) se realizaron con IVUS, lo cual arrojó información valiosa que explicaba la aparición de estos eventos¹⁹ y sentó las bases para introducir mejoras sustanciales en las técnicas de implante²⁰, específicamente Colombo et al. en 1995 lograron demostrar que con el implante de los *stents* a alta presión (14-16 atmósferas) y no al 70% de la presión nominal (como lo indicaba la industria), se obtenía una mejor expansión y aposición de los *stents* demostrado por IVUS, y se lograba disminuir la trombosis aguda y subaguda utilizando solo antiagregación sin necesidad de esquemas de anticoagulación que obviamente acarrearían complicaciones hemorrágicas. Esto abrió la puerta para el uso de los *stents* en casi todas las lesiones coronarias y no solo para "bailout" en angioplastia con balón con resultados subóptimos.

Es así como se utiliza el IVUS en todas las fases de la angioplastia con *stent*: en la planeación permite evaluar las dimensiones de la luz tanto en el segmento sano proximal como distal a la lesión, escoger el tamaño del *stent* a implantar y determinar la longitud y extensión de la placa, mientras que en el análisis postimplante permite detectar anomalías corregibles como malaposición, subexpansión, disección de los bordes o placa aterosclerótica no cubierta y protrusión de la placa, así como factores que pueden dar origen a restenosis y/o trombosis del *stent*¹¹ (figs. 5 y 6).

Ultrasonido intravascular como guía en angioplastia con *stent* convencional y *stent* medicado

En la era de los *stents* convencionales la angioplastia guiada por IVUS demostró reducción de la restenosis y bajó la tasa de reintervenciones sin lograr disminuir la mortalidad²¹. Con los *stents* medicados la evidencia inicial no logró demostrar beneficio con el IVUS a pesar de obtener buenas dimensiones en el *stent* postimplante, lo cual sugiere que el beneficio y la eficacia de los *stent* liberadores de medicamentos superaba la utilidad de la guía de implante con IVUS²²⁻²⁴. Recientemente, la superioridad del IVUS como guía en intervención coronaria percutánea con *stent* liberadores de medicamentos en comparación con solo guía angiográfica, se comprobó en el estudio IVUS-XPL el cual arrojó una disminución significativa de la necesidad de reintervención de la lesión tratada (TLR)²⁵. Adicionalmente, un metanálisis de los principales estudios observacionales con más de 25.000 pacientes, mostró disminución de la trombosis del

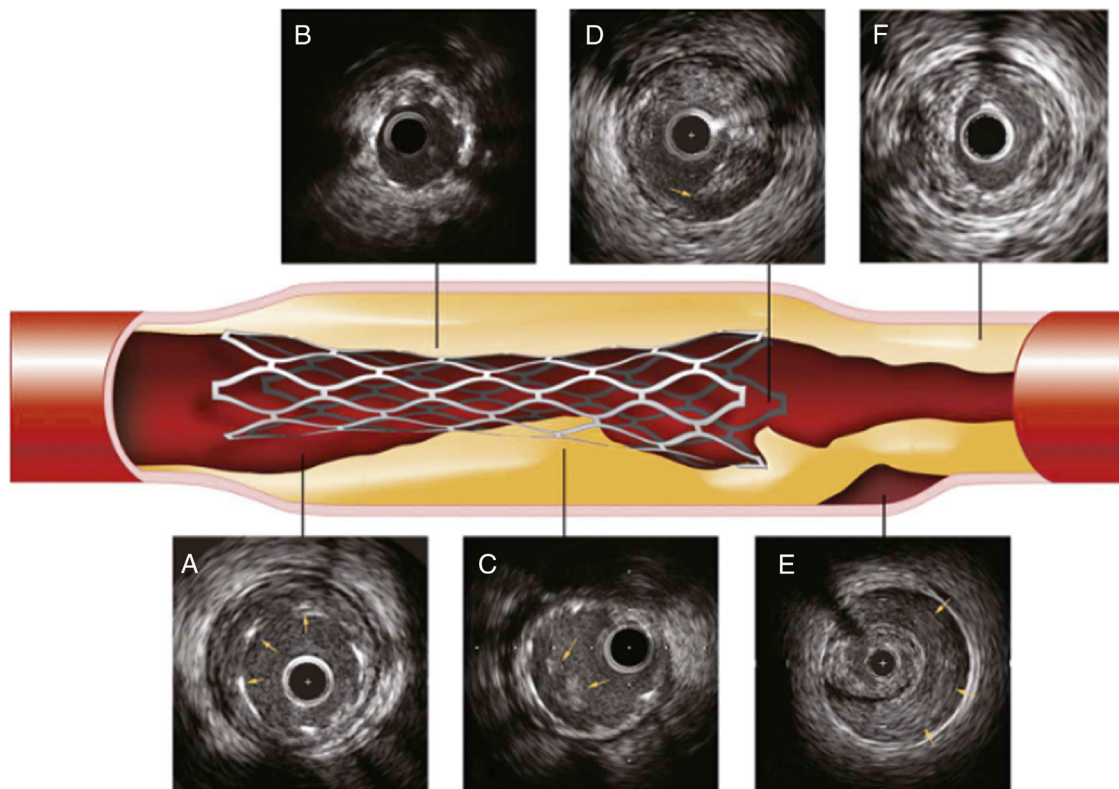


Figura 6 Problemas con el implante de *stent* detectados por IVUS.

A, Malposición en la que se evidencia un espacio entre el borde del *stent* (flechas) y la pared del vaso. B, Subexpansión del *stent* en comparación con diámetros de referencia. C, Prolapso de tejido (trombo, placa o ambos) dentro del *stent*. D, Disección del borde, disrupción de la placa (flecha) en el borde. E, Hematoma intramural, sangre en la media de la arteria (flechas). F, Carga de placa residual significativa. Tomado de: Intravascular Ultrasound: Textbook of Interventional Cardiology. 6th. edition.

stent, mortalidad, infarto y reintervención en la angioplastia guiada por IVUS²⁶.

La definición de un implante óptimo de un *stent* varía entre los diferentes estudios. Comúnmente se ha considerado como un implante óptimo la aposición completa de los *struts* del *stent*, la ausencia de disecciones en el borde y la expansión adecuada que se define como un ALM > 5mm² o > 90% del área del lumen de referencia distal¹¹. De igual forma, se han descrito otros criterios de implante óptimo en dos estudios diferentes, MUSIC²⁷ y AVIO²⁸ (tabla 1, figs. 5 y 6).

En cuanto a la prevención de la trombosis de *stent* en intervención coronaria percutánea con *stent* liberadores de medicamentos, el IVUS parece tener un papel más importante por su capacidad para detectar implantes subóptimos (disección de los extremos, subexpansión, protrusión de placa, placa no cubierta, etc.) y corregirlos de inmediato. Es así que en un estudio de intervención coronaria percutánea con *stent* liberadores de medicamentos guiada con IVUS, se logra disminuir la trombosis del *stent* a 30 días (0,5% vs. 1,4% p 0,0046) y a 12 meses (0,7% vs. 2,0% p 0,014)²⁹ (fig. 6).

Tabla 1 Criterios MUSIC y AVIO utilizados para definir por criterios por IVUS sobre la expansión adecuada de un *stent*

Criterios MUSIC	Criterios AVIO
Aposición completa del <i>stent</i>	Área mínima post- <i>stent</i> >70% del área del balón utilizado para la post-dilatación del <i>stent</i>
Expansión adecuada del <i>stent</i>	El balón no complaciente para la post-dilatación debe ser seleccionado con el promedio de los diámetros máximo y mínimo de los siguientes puntos
ALM intra- <i>stent</i> >90% del promedio del área luminal de referencia o >100% del segmento de referencia con la menor área cuando el ALM es <9 mm ²	Segmento distal intra- <i>stent</i>
ALM intra- <i>stent</i> >80% del promedio del área luminal de referencia o >90% del segmento de referencia con la menor área cuando el ALM es >9 mm ²	Segmento proximal intra- <i>stent</i>
Expansión del <i>stent</i> simétrica definida por el diámetro luminal mínimo dividido por el diámetro luminal máximo >0,7	Máximo estrechamiento intra- <i>stent</i>

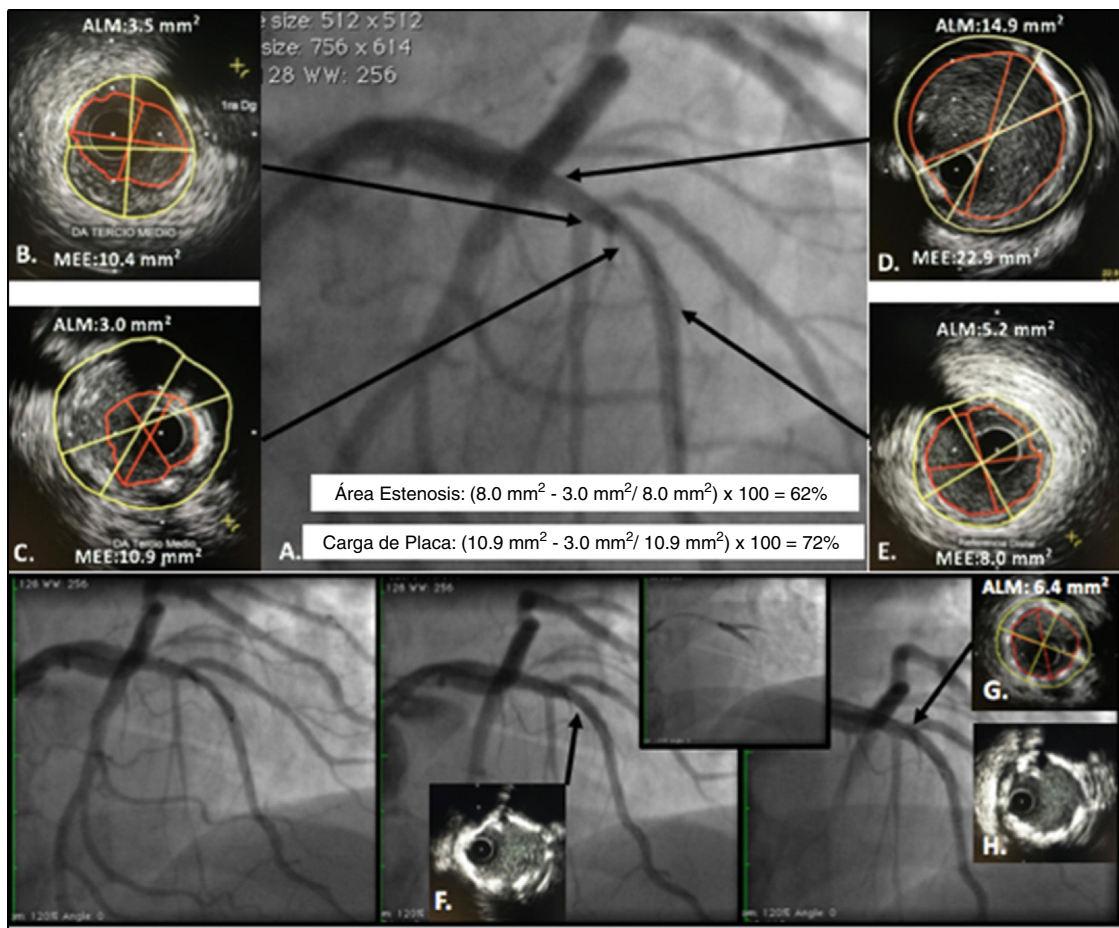


Figura 7 IVUS para decidir y guiar intervención en lesión intermedia en bifurcación entre la DA y primera Dg. A. Lesión intermedia en la DA con lesión severa en la primera Dg. Se realiza estudio con IVUS; B. Evidencia de placa en la bifurcación con la primera Dg con ALM de 3,5 mm², C. Evidencia lesión más severa en la DA con ALM de 3,0 mm². Teniendo en cuenta los segmentos de referencia proximal y distal D y E, se calculó un área de estenosis de 62% y carga de placa de 72% y una longitud aproximada de la lesión de 21 mm. Se decide realizar angioplastia con dos stents utilizando técnica de doble *kissing crush*. Los recuadros inferiores muestran el implante inicial del *stent* de la primera Dg y posteriormente el *stent* de la DA, el IVUS post angioplastia F. evidencia malposición del *stent* hacia las 5, la cual corrige después del *kissing* balón H. En el sitio de mayor estenosis se logra conseguir un ALM de 6,4 mm². G. que es mayor al 80% del ALM del segmento de referencia distal considerando adecuada expansión del *stent*.

Diseción del borde

Su incidencia por IVUS después del implante de un *stent* medicado es del 10% y solo el 40% es visible mediante angiografía. Se clasifica como diseción de alto grado por IVUS el área luminal que se estrecha por debajo de los 4 mm², factor considerado como predictor de trombosis del *stent*, cuyo manejo usual es la dilatación prolongada con balón o el implante de un segundo *stent*³⁰.

Subexpansión del *stent*

Se relaciona con la presencia de trombosis de *stent* liberadores de medicamentos generalmente cuando existe un ALM < 5 mm², lo cual se demostró en un estudio en pacientes con trombosis temprana donde el ALM baja fue un factor de riesgo independiente para ALM (4,3±1,6 mm² vs. 6,2±1,9 mm², p<0,001) y la expansión óptima del *stent* (65±

18% vs. 85±14% del lumen de referencia, p<0,001)³¹ fue un factor protector.

Por los datos anteriores y la falta de otros estudios, la expansión ideal de un *stent* sea convencional o medicado, se da cuando se alcanza al menos el 80% del ALM del segmento de referencia.

Malposición del *stent*

Se define como la ausencia de contacto entre los *struts* del *stent* y la pared del vaso y tiene una incidencia del 10%. Esto se puede presentar de forma aguda o desarrollarse con el tiempo (malposición adquirida); la aguda responde a mala técnica en el implante del *stent* y la adquirida a malposición aguda persistente, remodelación positiva, resolución del trombo presente al momento del implante o reacción de hipersensibilidad. La malposición tardía es cuatro veces más frecuente con *stent* liberadores de medicamentos que con BMS¹¹. En un metanálisis de 5 estudios con un total de

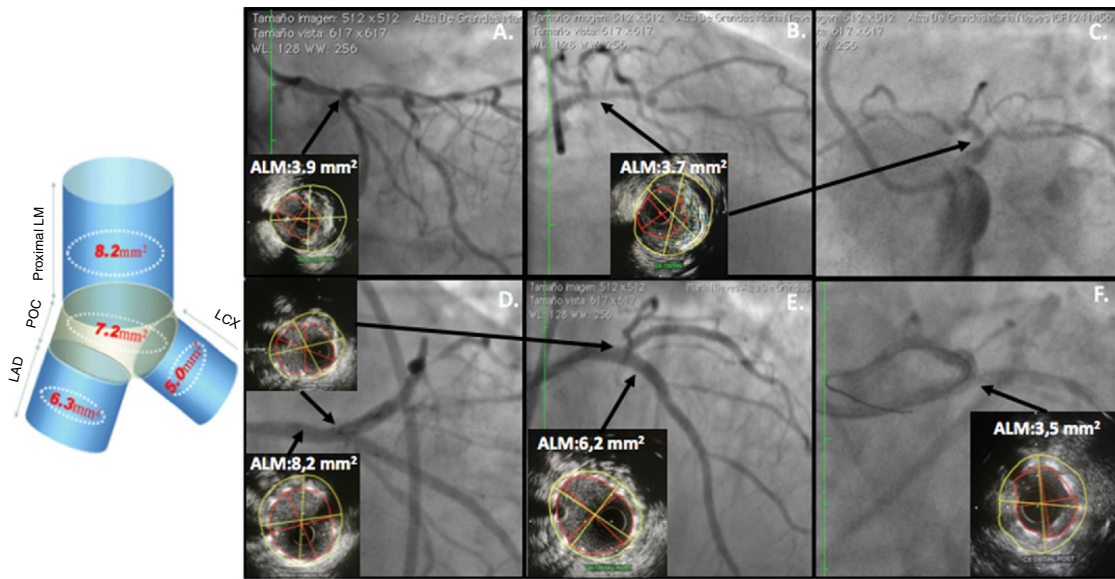


Figura 8 IVUS en angioplastia de tronco. Los recuadros superiores muestran una lesión severa de tronco distal que se extiende hacia el *ramus* intermedio y la DA proximal. Los tres recuadros inferiores muestran el resultado postangioplastia con las medidas del ALM en tronco proximal, carina, DA ostial y Cx ostial; todos con un resultado aceptable excepto en el ostium de la Cx donde el ALM ideal es 5,0 mm² y se obtuvo un ALM de solo 3,5 mm².

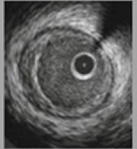
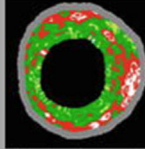
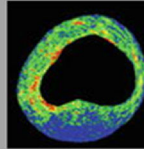
			
	IVUS	Histología Virtual	iMap
Tipo de Dispositivo	Mecánico y Eléctrico	Mecánico y Eléctrico	Mecánico
Frecuencia del Transductor	20-40 MHz	20-45 MHz	40 MHz
Código de Color	Escala de Grises	Fibroso: Verde Centro Necrótico: Rojo Calcio: Blanco Fibro-lipídica: Verde Claro	Fibroso: Verde Claro Centro Necrótico: Rosado Calcio: Azul Fibro-lipídica: Amarillo

Figura 9 Comparación de las características del IVUS convencional y los catéteres disponibles para histología virtual.

228 pacientes con malposición comparado con pacientes sin ésta, se asoció con riesgo de trombosis del *stent* con razón de disparidad de 6,51 (IC 95% 1,34 a 34,91 p 0,02).

Ultrasonido intravascular como guía en angioplastia del tronco

La literatura reciente avala la intervención coronaria percutánea con los estudios EXCEL y NOBEL^{32,33}, demostrando resultados comparables con la cirugía de revascularización, hecho que resalta la optimización de este tipo de angioplastia con IVUS. El estudio MAIN-COMPARE³⁴ mostró tendencia a presentar menor mortalidad cuando se realizaba

angioplastia del tronco con guía por IVUS vs. guía angiográfica (6,0 vs. 13,6% p 0,063) principalmente por disminución de la muerte súbita secundaria a trombosis del *stent*.

El IVUS en tronco, como en cualquier otra angioplastia, permite planear la intervención al detectar la cantidad de calcio que obligue a utilizar dispositivos (rotablandor), así como a evaluar el tamaño real del vaso y el compromiso con placa de la rama lateral (ostium de la circunfleja). Pero lo más importante es la optimización de la angioplastia y para esto los parámetros más utilizados son el ALM en cuatro diferentes puntos: tronco ALM > 8,2 mm², polígono de confluencia > 7,2 mm², descendente anterior ostial 6,3 mm² y Cx ostial > 5 mm^{20,35} (figs. 7 y 8).

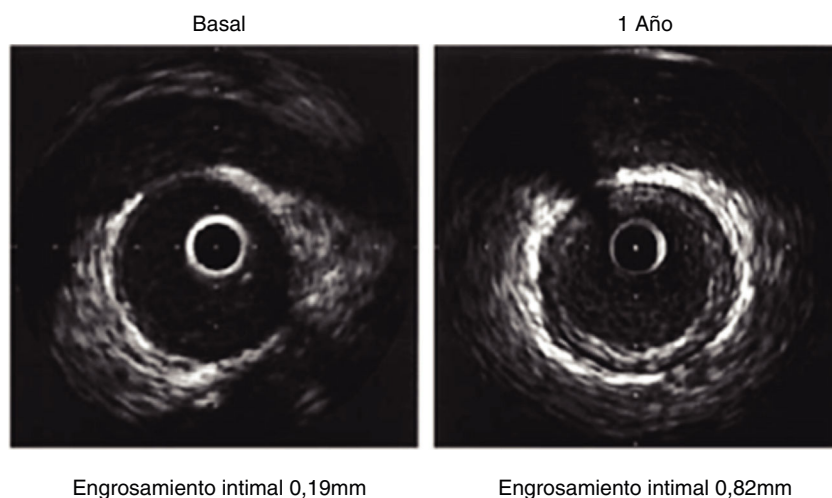


Figura 10 El primer panel evidencia un vaso con mínima proliferación neointimal que no compromete toda la circunferencia. En el segundo panel se muestra un engrosamiento significativo $> 0,5$ mm y que compromete toda la circunferencia.

Ultrasonido intravascular para determinar la causa de la falla de un stent (restenosis y trombosis)

La restenosis y las trombosis de los stents son las manifestaciones clínicas del fallo de un *stent*. No existe una causa única de trombosis o restenosis del *stent*. Por su impacto clínico ambos escenarios han sido estudiados de forma extensa con IVUS³⁶.

Restenosis intrastent

Las causas de restenosis intrastent identificadas pueden ser hiperplasia neointimal, subexpansión tardía del *stent*, neoaterosclerosis y fractura del *stent*. La causa más común de restenosis es la subexpansión del *stent*, específicamente cuando se tiene un ALM en el *stent* menor a $5,5$ mm² y también el uso de *stents* largos o longitudes cubiertas por *stent* mayores a 40 mm³⁷.

Trombosis del *stent*

Por otro lado, la trombosis temprana (< 30 días después del implante) se relaciona con factores del procedimiento, incluidos subexpansión del *stent*, disección del borde, hematoma intramural y protrusión de placa^{38,39}. En los casos de trombosis tardía de *stent* la causa más común es la malaposición (puede ser adquirida o generarse desde el implante), la neoaterosclerosis y los *struts* no endotelizados⁴⁰.

Ultrasonido intravascular para la caracterización de la placa (histología virtual) y la detección de placa vulnerable

En vista de la capacidad del IVUS para delinear el lumen, la capa media y el borde de la adventicia, al realizar un análisis espectral de la onda de radiofrecuencia emitida por el transductor, es posible caracterizar diferentes componentes en la pared del vaso. Para este propósito se usan distintos *software*, entre ellos, la histología virtual

(IVUS-HV) (Volcano Corp, Rancho Cordoba, CA) y el iMAP (Boston Scientific) (fig. 9).

En IVUS-HV, los principales componentes de la placa son el centro necrótico (CN), el tejido fibrolipídico (TFL), el tejido fibroso (TF) o el calcio denso (CD) y según la concentración o predominio de estos en la placa dan origen a cuatro tipos de placas: engrosamiento intimal adaptativo, patológico, fibrótico y fibrocalcificado, y fibroateromas con capa delgada o gruesa⁴¹.

La caracterización de la placa tiene relevancia clínica ya que aquella que más se correlaciona con síndromes coronarios es la de capa fibrosa delgada (TCFA por su sigla en inglés), la cual se reconoce por un gran centro necrótico y contenido lipídico separados de la luz por una capa muy delgada (< 60 micras). Esto último no puede ser identificado por el IVUS ya que este solo tiene una resolución entre 100 y 200 micras. Para detectar este tipo de placa de forma indirecta se debe recurrir a otras características como placa con más de 20% de contenido necrótico y en contacto con la luz en más del 30% de la circunferencia, más de 5% de contenido de calcio y carga de placa mayor a 50%⁴².

Ultrasonido intravascular en la predicción de eventos coronarios

El estudio PROSPECT, en el que se realizó IVUS de los tres vasos en pacientes con síndrome coronario agudo, mostró que las lesiones no culpables que tenían una carga de placa mayor al 70%, ALM < 4 mm² y características de ateroma de capa fibrosa delgada (TCFA), tuvieron once veces más riesgo de desencadenar un evento adverso cardiovascular mayor (MACE) en comparación con lesiones que no tenían esta característica; solo la presencia de TCFA determinó tres veces más riesgo de MACE^{43,44}. Estas características de la placa, aunque fueron altamente prevalentes, casi 40-50% de la población, tuvieron bajo valor predictivo positivo y alto valor predictivo negativo, de modo que su presencia no justifica la intervención preventiva de estas lesiones, aunque sí la optimización de manejo médico intensivo, principalmente con estatinas.

Tabla 2 Clasificación de la vasculopatía postrasplante

Clase	Grado	Engrosamiento íntima (mm)	Circunferencia del vaso
0		Ninguno	Ninguno
I	Mínimo	<0,3	<180°
II	Ligero	<0,3	>180°
III	Moderado	0,3-0,5	<180°
IV	Severo	>0,5 ó 1,0 en cualquier zona	>180°

Estudios con IVUS-HV han mostrado estabilización de la placa por reversión de las características de alto riesgo, sin disminución significativa del CN, pero sí engrosamiento de la capa fibrosa⁴⁵ (fig. 10).

Utilidad del ultrasonido intravascular en la vasculopatía postrasplante

La vasculopatía postrasplante cardíaco (rechazo crónico), es una de las principales causas de muerte después del primer año entre este tipo de pacientes.

La angiografía convencional es incapaz de detectar las fases iniciales de esta enfermedad, caracterizada por engrosamiento homogéneo de la íntima sin afectación de la luz arterial. Por esta razón, en estos pacientes es fundamental el seguimiento rutinario y protocolizado con IVUS para la toma de decisiones (fig. 9).

Se considera un predictor de mortalidad un incremento del grosor íntimal $\geq 0,5$ mm en los primeros años postrasplante cardíaco. La vasculopatía postrasplante se ha clasificado en cuatro clases según el grado de engrosamiento íntimo y los grados de la circunferencia del vaso comprometidos⁴⁶ (tabla 2).

Conclusión

El IVUS es una herramienta invaluable en la angioplastia coronaria con *stents*, ya que permite evaluar adecuadamente las lesiones, planear la intervención y verificar el resultado del implante de los mismos. Se considera casi imperativo cuando se interviene el tronco de la coronaria izquierda y en la restenosis o trombosis de los *stents*.

A pesar de prolongar el tiempo de procedimiento ha demostrado disminuir las complicaciones y mejorar los resultados a corto y largo plazo.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Bibliografía

1. Finegold JA, Asaria P, Francis DP. Mortality from ischaemic heart disease by country, region, and age: statistics from World Health Organization and United Nations. *Int J Cardiol.* 2013;168:934-45.
2. Roelandt JR, Serruys PW, Bom N, Gussenhoven WG, Lancee CT, ten Hoff H. Intravascular real-time, two dimensional echocardiography. *Int J Card Imaging.* 1989;4:63-7.
3. Gussenhoven EJ, Essed CE, Lancee CT, Mastik F, Frietman P, van Egmond FC, et al. Arterial wall characteristics determined by intravascular ultrasound imaging: an in vitro study. *J Am Coll Cardiol.* 1989;14:947-52.
4. Yock P, Fitzgerald P, Popp R. Intravascular ultrasound. *Sci Am Science Med.* 1995;2:68.
5. Mintz GS, Guagliumi G. Intravascular imaging in coronary artery disease. *Lancet.* 2017;390:793-809.
6. Tonino PA, De Bruyne B, Pijls NH, Siebert U, Ikeno F, van't Veer M, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention. *N Engl J Med.* 2009;360:213-24.
7. De Bruyne B, Pijls NH, Kalesan B, Barbato E, Tonino PA, Piroth Z, et al. Fractional flow reserve-guided PCI versus medical therapy in stable coronary disease. *N Engl J Med.* 2012;367:991-1001.
8. Nishioka T, Amanullah AM, Luo H, Berglund H, Kim CJ, Nagai T, et al. Clinical validation of intravascular ultrasound imaging for assessment of coronary stenosis severity: comparison with stress myocardial perfusion imaging. *J Am Coll Cardiol.* 1999;33:1870-8.
9. Briguori C, Anzuini A, Airoidi F, Gimelli G, Nishida T, Adamian M, et al. Intravascular ultrasound criteria for the assessment of the functional significance of intermediate coronary artery stenoses and comparison with fractional flow reserve. *Am J Cardiol.* 2001;87:136-41.
10. Abizaid AS, Mintz GS, Mehran R, Abizaid A, Lansky AJ, Pichard AD, et al. Long-term follow-up after percutaneous transluminal coronary angioplasty was not performed based on intravascular ultrasound findings: importance of lumen dimensions. *Circulation.* 1999;100:256-61.
11. McDaniel MC, Eshtehardi P, Sawaya FJ, Douglas JS Jr, Samady H. Contemporary clinical applications of coronary intravascular ultrasound. *JACC Cardiovasc Interv.* 2011;4:1155-67.
12. Takagi A, Tsurumi Y, Ishii Y, Suzuki K, Kawana M, Kasanuki H. Clinical potential of intravascular ultrasound for physiological assessment of coronary stenosis: relationship between quantitative ultrasound tomography and pressure-derived fractional flow reserve. *Circulation.* 1999;100:250-5.
13. Kang SJ, Lee JY, Ahn JM, Mintz GS, Kim WJ, Park DW, et al. Validation of intravascular ultrasound-derived parameters with fractional flow reserve for assessment of coronary stenosis severity. *Circ Cardiovasc Interv.* 2011;4:65-71.
14. Ben-Dor I, Torguson R, Gaglia MA Jr, Gonzalez MA, Maluenda G, Bui AB, et al. Correlation between fractional flow reserve and intravascular ultrasound lumen area in intermediate coronary artery stenosis. *EuroIntervention.* 2011;7:225-33.
15. Lee CH, Tai BC, Soon CY, Low AF, Poh KK, Yeo TC, et al. New set of intravascular ultrasound-derived anatomic criteria for defining functionally significant stenoses in small coronary arteries (results from Intravascular Ultrasound Diagnostic Evaluation of Atherosclerosis in Singapore [IDEAS] study). *Am J Cardiol.* 2010;105:1378-84.
16. Jasti V1, Ivan E, Yalamanchili V, Wongpraparut N, Leesar MA. Correlations between fractional flow reserve and intravascular ultrasound in patients with an ambiguous left main coronary artery stenosis. *Circulation.* 2004;110:2831-6.
17. de la Torre Hernandez JM, Hernández Hernandez F, Alfonso F, Rumoroso JR, Lopez-Palop R, Sadaba M, et al. Prospective application of pre-defined intravascular ultrasound criteria for assessment of intermediate left main coronary artery lesions results from the multicenter LITRO study. *J Am Coll Cardiol.* 2011;58:351-8.
18. Park SJ, Ahn JM, Kang SJ, Yoon SH, Koo BK, Lee JY, et al. Intravascular ultrasound-derived minimal lumen area criteria

- for functionally significant left main coronary artery stenosis. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014;7:868–74.
19. Hoffmann R, Mintz GS, Dussaillant GR, Popma JJ, Pichard AD, Satler LF, et al. Patterns and mechanisms of in-stent restenosis. A serial intravascular ultrasound study. *Circulation.* 1996;94:1247–54.
 20. Tobis JM, Akiyama T, Reimers B, Di Mario C, Wong ND, Colombo A, et al. Angiographic and intravascular ultrasound predictors of in-stent restenosis. *J Am Coll Cardiol.* 1998;32:1630–5.
 21. Parise H1, Maehara A, Stone GW, Leon MB, Mintz GS. Meta-analysis of randomized studies comparing intravascular ultrasound versus angiographic guidance of percutaneous coronary intervention in pre-drug-eluting stent era. *Am J Cardiol.* 2011;107:374–82.
 22. Jakabcin J, Spacek R, Bystron M, Kvasnák M, Jager J, Veselka J, et al. Long-term health outcome and mortality evaluation after invasive coronary treatment using drug eluting stents with or without the IVUS guidance. Randomized control trial. HOME DES IVUS. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2010;75:578–83.
 23. Chieffo A, Latib A, Caussin C, Presbitero P, Galli S, Colombo A, et al. A prospective, randomized trial of intravascular-ultrasound guided compared to angiography guided stent implantation in complex coronary lesions: the AVIO trial. *Am Heart J.* 2013;165:65–72.
 24. Kim JS, Kang TS, Mintz GS, Park BE, Shin DH, Hong MK, et al. Randomized comparison of clinical outcomes between intravascular ultrasound and angiography-guided drug-eluting stent implantation for long coronary artery stenoses. *JACC Cardiovasc Interv.* 2013;6:369–76.
 25. Hong SJ, Kim BK, Shin DH, Nam CM, Kim JS, Ko YG, et al. Effect of Intravascular Ultrasound-Guided vs Angiography-Guided Everolimus-Eluting Stent Implantation: The IVUS-XPL Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2015 Nov 24;314:2155–63.
 26. Ahn JM, Kang SJ, Yoon SH, Park HW, Kang SM, Lee JY, et al. Meta-analysis of outcomes after intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided drug-eluting stent implantation in 26,503 patients enrolled in three randomized trials and 14 observational studies. *Am J Cardiol.* 2014 Apr 15;113:1338–47.
 27. Park SM, Kim JS, Ko YG, Choi D, Hong MK, Jang Y, et al. Angiographic and intravascular ultrasound follow up of paclitaxel- and sirolimus-eluting stent after poststent high-pressure balloon dilation: from the poststent optimal stent expansion trial. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;77:15–21.
 28. Chieffo A, Latib A, Caussin C, Presbitero P, Galli S, Colombo A, et al. A prospective, randomized trial of intravascular-ultrasound guided compared to angiography guided stent implantation in complex coronary lesions: the AVIO trial. *Am Heart J.* 2013;165:65–72.
 29. Roy P, Steinberg DH, Sushinsky SJ, Okabe T, Pinto Slottow TL, Kaneshige K, et al. The potential clinical utility of intravascular ultrasound guidance in patients undergoing percutaneous coronary intervention with drug-eluting stents. *Eur Heart J.* 2008;29:1851–7.
 30. Rabbani LE, Collins M, Stone GW, Moses JW, Mehran R, Leon MB, et al. Intravascular ultrasound assessment of the incidence and predictors of edge dissections after drug-eluting stent implantation. *JACC Cardiovasc Interv.* 2009;2:997–1004.
 31. Lansky AJ, Kreps EM, Collins M, Stone GW, Moses JW, Leon MB, et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:995–8.
 32. Lansky AJ, Kreps EM, Collins M, Stone GW, Moses JW, Leon MB, et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:995–8.
 33. Mäkiö T, Holm NR, Lindsay M, Spence MS, Erglis A, Menown IB, et al. Percutaneous coronary angioplasty versus coronary artery bypass grafting in treatment of unprotected left main stenosis (NOBLE): a prospective, randomised, open-label, non-inferiority trial. *Lancet.* 2016;388:2743–52.
 34. Park SJ, Kim YH, Park DW, Lee SW, Kim WJ, Suh J, et al. Impact of intravascular ultrasound guidance on long-term mortality in stenting for unprotected left main coronary artery stenosis. *Circ Cardiovasc Interv.* 2009;2:167–77.
 35. Kang SJ, Ahn JM, Song H, Kim WJ, Lee JY, Park DW, et al. Comprehensive intravascular ultrasound assessment of stent area and its impact on restenosis and adverse cardiac events in 403 patients with unprotected left main disease. *Circ Cardiovasc Interv.* 2011;4:562–9.
 36. Adriaenssens T, Joner M, Godschalk TC, Malik N, Alfonso F, Xhepa E, et al. Optical Coherence Tomography Findings in Patients With Coronary Stent Thrombosis: A Report of the PRES-TIGE Consortium (Prevention of Late Stent Thrombosis by an Interdisciplinary Global European Effort). *Circulation.* 2017 Sep 12;136:1007–21.
 37. Hong MK, Mintz GS, Lee CW, Park DW, Choi BR, Park KH, et al. Intravascular ultrasound predictors of angiographic restenosis after sirolimus-eluting stent implantation. *Eur Heart J.* 2006;27:1305–10.
 38. Fujii K, Carlier SG, Mintz GS, Yang YM, Moussa I, Weisz G, et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:995–8.
 39. Prati F, Kodama T, Romagnoli E, Gatto L, Di Vito L, Ramazzotti V, et al. Suboptimal stent deployment is associated with subacute stent thrombosis: optical coherence tomography insights from a multicenter matched study. From the CLI Foundation investigators: the CLI-THRO study. *Am Heart J.* 2015;169:249–56.
 40. Guagliumi G, Sirbu V, Musumeci G, Gerber R, Biondi-Zoccai G, Ikejima H, et al. Examination of the in vivo mechanisms of late drug-eluting stent thrombosis: findings from optical coherence tomography and intravascular ultrasound imaging. *JACC Cardiovasc Interv.* 2012;5:12–20.
 41. Koskinas KC, Ughi GJ, Windecker S, Tearney GJ, Räber L. Intracoronary imaging of coronary atherosclerosis: validation for diagnosis, prognosis and treatment. *Eur Heart J.* 2016;37, 524-35a-c.
 42. Virmani R1, Kolodgie FD, Burke AP, Farb A, Schwartz SM. Lessons from sudden coronary death: a comprehensive morphological classification scheme for atherosclerotic lesions. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2000;20:1262–75.
 43. Stone GW, Maehara A, Lansky AJ, de Bruyne B, Cristea E, Mintz GS, et al. A prospective natural-history study of coronary atherosclerosis. *N Engl J Med.* 2011;364:226–35.
 44. Cheng JM, Garcia-Garcia HM, de Boer SP, Kardys I, Heo JH, Akkerhuis KM, et al. In vivo detection of high-risk coronary plaques by radiofrequency intravascular ultrasound and cardiovascular outcome: results of the ATHEROREMO-IVUS study. *Eur Heart J.* 2014;35:639–47.
 45. Puri R, Libby P, Nissen SE, Wolski K, Ballantyne CM, Barter PJ, et al. Long-term effects of maximally intensive statin therapy on changes in coronary atheroma composition: insights from SATURN. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2014;15:380–8.
 46. Kobashigawa JA, Tobis JM, Starling RC, Tuzcu EM, Smith AL, Valentine HA, et al. Multicenter intravascular ultrasound validation study among heart transplant recipients: outcomes after five years. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:1532–7.