A stylized illustration of a human figure from the neck to the feet, showing the internal vascular system. Red lines represent arteries, and blue lines represent veins. The background is a soft-focus image of red blood cells. At the top right, there is a dark blue banner with a play button icon and the text 'Biblioteca virtual'. Below it is a red banner with the text 'Incluye e-Book y videos'. The title 'Rutherford' is in red, and 'CIRUGÍA VASCULAR Y TERAPIA ENDOVASCULAR ARTERIAL' is in large black letters. The authors' names 'Anton N. Sidawy • Bruce A. Perler' are in white on a red background. Below them is a list of other contributors. At the bottom left is the AMOLCA logo, and at the bottom right is the SVS logo and the text 'Society for Vascular Surgery'.

**Biblioteca virtual**

Incluye **e-Book** y videos

*Rutherford*

# CIRUGÍA VASCULAR Y TERAPIA ENDOVASCULAR ARTERIAL

9a EDICIÓN

**Anton N. Sidawy • Bruce A. Perler**

AbuRahma • Blankensteijn • Eidt • Forbes • Henke • Hoballah •  
Killewich LaMuraglia • Mills • Rockman • Upchurch • Weaver



**SVS** | Society for  
Vascular Surgery

# Rutherford

# Cirugía vascular y terapia endovascular

**ARTERIAL**

**9<sup>NA</sup>** EDICIÓN

**Anton N. Sidawy, MD, MPH**

Profesor y Cátedra «Lewis B. Saltz»  
Departamento de Cirugía  
Universidad George Washington  
Washington, Distrito de Columbia, EUA

**Bruce A. Perler, MD, MBA**

Profesor «Julius H. Jacobson II, MD»  
Vicepresidente de Operaciones Clínicas y Asuntos Financieros  
Departamento de Cirugía  
Escuela de Medicina de la Universidad Johns Hopkins  
Baltimore, Maryland, EUA  
Director Ejecutivo Asociado de Cirugía Vascular  
Junta Americana de Cirugía  
Filadelfia, Pensilvania, EUA

**SVS** | Society for  
Vascular Surgery

**2020**



# Contenido

## Sección 1 CIENCIA BÁSICA 1

- 1 Epidemiología y metodología de la investigación 1**  
Louis L. Nguyen y Rebecca E. Scully
- 2 Embriología y anatomía en desarrollo 13**  
Eric D. Endean
- 3 Biología de la pared del vaso 30**  
Bauer Sumpio y Jason Chin
- 4 Aterosclerosis 44**  
Christopher D. Owens y Karen J. Ho
- 5 Hiperplasia intimal 54**  
Mark G. Davies
- 6 Isquemia-reperfusión 64**  
Robert J. Beaulieu, Joshua C. Grimm y Heitham T. Hassoun
- 7 Arteriogénesis y angiogénesis 72**  
Adam Strickland y Paul DiMuzio
- 8 Hemodinámica arterial 87**  
R. Eugene Zierler
- 9 Fisiopatología venosa 97**  
José A. Díaz y Peter K. Henke
- 10 Fisiopatología linfática 105**  
Marlys H. Witte y Michael J. Bernas

## Sección 2 Factores de riesgo aterosclerótico 123

- 11 Factores de riesgo aterosclerótico: fumar 123**  
C. Keith Ozaki y Samir K. Shah
- 12 Factores de riesgo aterosclerótico: diabetes 129**  
Lidie Lajoie y Subodh Arora
- 13 Factores de riesgo aterosclerótico: hiperlipidemia 138**  
M. Ashraf Mansour
- 14 Factores de riesgo aterosclerótico: hipertensión 153**  
Paul N. Fiorilli y Emile R. Mohler III

- 15 Factores de riesgo de aterosclerosis: arterioesclerosis familiar 164**  
Zhao-Jun Liu y Omaid C. Velázquez
- 16 Causas menos comunes de aterosclerosis 174**  
Amir F. Azarbal y Gregory L. Moneta
- 17 Tendencias internacionales y étnicas en la enfermedad vascular 180**  
Lidie Lajoie y Subodh Arora

## Sección 3 Evaluación de laboratorio clínico y vascular 189

- 18 Evaluación clínica del sistema arterial 189**  
Philip P. Goodney
- 19 Evaluación clínica de los sistemas venoso y linfático 198**  
Jason Johanning y Thomas G. Lynch
- 20 Laboratorio vascular: evaluación fisiológica arterial 212**  
Gale L. Tang y Ted R. Kohler
- 21 Laboratorio vascular: escaneo dúplex arterial 227**  
Patrick A. Stone y Stephen M. Hass
- 22 Laboratorio vascular: evaluación fisiológica venosa 238**  
Brajesh K. Lal y Shahab Toursavadkahi
- 23 Laboratorio vascular: escaneo dúplex venoso 246**  
David L. Dawson y Edward Ronningen

## Sección 4 Imágenes vasculares 265

- 24 Seguridad radiológica 265**  
Amy B. Reed
- 25 Arteriografía 274**  
Amir F. Azarbal y Robert B. McLafferty
- 26 Venografía 294**  
Richard H. Pin, Micheal T. Ayad y David Gillespie

**27 Tomografía computarizada 313**

Jan D. Blankensteijn y Leo J. Schultze Kool

**28 Imágenes de resonancia magnética y arteriografía 327**

Jeffrey P. Carpenter, Harold Litt y Mamatha Gowda

**29 PET/TC y SPECT/TC vascular 355**

Andor W.J.M. Glaudemans, Ora Israel, Riemer H.J.A. Slart y Simona Ben-Haim

**30 Ultrasonido intravascular 369**

Halim Yammine, Jocelyn K. Ballast y Frank R. Arko III

**31 El futuro de la imagenología para la cirugía endovascular y abierta 381**

Alan B. Lumsden y Ponraj Chinnadurai

**Sección 5 Cuidado perioperatorio 390****32 Evaluación preoperatoria y manejo 390**

G. Matthew Longo y Thomas G. Lynch

**33 Manejo intraoperatorio 403**

Michael P. Lilly y Tanya R. Flohr

**34 Manejo postoperatorio 424**

Giuseppe Papia

**35 Readmisiones hospitalarias en cirugía vascular 441**

Louis L. Nguyen y Rebecca E. Scully

**Sección 6 Hemorragia y coagulación 448****36 Coagulación normal 448**

Kenneth G. Mann, Laura M. Haynes y Kathleen E. Brummel-Ziedins

**37 Coagulopatía y hemorragia 465**

Jeffrey H. Lawson y Elisabeth T. Tracy

**38 Estados hipercoagulables 484**

Howard A. Liebman e Ilene Ceil Weitz

**39 Medicamentos anticoagulantes 497**

Iqbal H. Jaffer y Jeffrey I. Weitz

**40 Agentes antiplaquetarios 510**

Joseph-Vincent V. Blas and Spence M. Taylor

**41 Agentes trombolíticos 518**

Josefina A. Domínguez, Sung Wan Ham y Fred A. Weaver

**Sección 7 Complicaciones 530****42 Complicaciones sistémicas: cardíacas 530**

Giora Landesberg y Chen Rubinstein

**43 Complicaciones respiratorias 544**

Lisa M. Kodadek y Pamela A. Lipsett

**44 Complicaciones sistémicas: renal 555**

Daniel J. Myers y Stuart I. Myers

**45 Complicaciones neurológicas 567**

Adam C. Ring, Judith W. Cook y Faisal Aziz

**46 Trombosis de injerto 577**

Bjoern D. Suckow y David H. Stone

**47 Infección de injerto 588**

Martin R. Back

**48 Aneurismas anastomóticos 603**

Sarah E. Deery y Raúl J. Guzmán

**49 Complicaciones locales: fístula aortoentérica 615**

Ross Milner y Samantha Minc

**50 Complicaciones endovasculares locales y su manejo 624**

Jeffrey J. Siracuse y James F. McKinsey

**51 Complicaciones venosas 637**

Ellen Dillavou y Misaki Kiguchi

**52 Complicaciones locales: linfático 644**

Audra A. Duncan

**Sección 8 Técnica 653****53 Exposición vascular torácica y toracoabdominal 653**

Adam Z. Oskowitz, Mark Archie y William Quiñones-Baldrich

**54 Exposiciones vasculares abdominales 663**

Loay S. Kabbani y Alexander D. Shepard

**55 Exposición cerebrovascular 679**

Linda M. Harris y Maciej Dryjski

**56 Exposición arterial de las extremidades inferiores 688**

Frank B. Pomposelli Jr., Scott Prushik y Kate Shean

**57 Exposición vascular de la extremidad superior 706**

Karl A. Illig

- 58 Exposición quirúrgica espinal 716**  
Jeffrey L. Ballard y Gregory D. Carlson
- 59 Técnica: cirugía abierta 727**  
Anton N. Sidawy y Richard F. Neville
- 60 Técnica de diagnóstico endovascular 747**  
Sapan S. Desai y Kim J. Hodgson
- 61 Técnica terapéutica endovascular 762**  
Koji Maeda y Takao Ohki
- 62 Cirugía aórtica laparoscópica y robótica 785**  
Jean-Baptiste Ricco y Fabien Thaveau

- 72 Aneurismas aortoiliacos: tratamiento endovascular 910**  
Ronald M. Fairman y Grace J. Wang
- 73 Técnicas de reparación endovascular de aneurisma 929**  
Clayton J. Brinster y W. Charles Sternbergh III
- 74 Aneurismas aortoiliacos rotos y manejo 944**  
Thomas F. Lindsay
- 75 Aneurismas aislados de la arteria ilíaca y manejo 961**  
Andy M. Lee y Ronald L. Dalman

## Sección 9 Injertos y dispositivos 797

- 63 Injertos autólogos 797**  
Scott A. Berceci
- 65 Injertos protésicos (injertos con heparina y en espiral) 818**  
Ahmed Kayssi y Richard F. Neville
- 65 Injertos biológicos 832**  
Jeffrey Kalish y Alik Farber
- 66 Injertos vasculares de bioingeniería 845**  
Brian F. Gilmore, Shawn M. Gage y Jeffrey H. Lawson
- 67 Stents e injertos con stent 856**  
Benjamin Pearce, Frank Stegall Jr. y William Jordan Jr.
- 68 Dispositivos endovasculares aórticos novedosos y en evolución 867**  
Sapan S. Desai y Kim J. Hodgson

## Sección 10 Aneurismas aórticos abdominales e ilíacos 875

- 69 Aneurismas arteriales: etiología, epidemiología e historia natural 875**  
Peter F. Lawrence y David A. Rigberg
- 70 Aneurismas aortoiliacos: evaluación, toma de decisiones y manejo médico 884**  
Margaret C. Tracci, Rishi A. Roy y Gilbert R. Upchurch Jr.
- 71 Aneurismas aórticos abdominales: tratamiento quirúrgico abierto 894**  
Edward Y. Woo y Scott M. Damrauer

## Sección 11 Aneurismas de la aorta torácica y toracoabdominal y disecciones 970

- 76 Aneurismas de la aorta torácica y toracoabdominal: etiología, epidemiología, historia natural, manejo médico y toma de decisiones 970**  
Gilbert R. Upchurch Jr. y Robert Jason Thomas Perry
- 77 Aneurismas torácicos y toracoabdominales: tratamiento quirúrgico abierto 987**  
Charles W. Acher y Martha Wynn
- 78 Aneurismas torácicos y toracoabdominales: tratamiento endovascular 1008**  
Michael J. Singh y Michel S. Makaroun
- 79 Aneurismas torácicos y toracoabdominales: injertos con stent aórticos y técnicas de reparación endovascular aórtica torácica 1025**  
Blandine Maurel y Tara M. Mastracci
- 80 Tratamiento con endoinjerto fenestrado y ramificado para aneurismas yuxtarenales, paraviscerales, toracoabdominales y del arco aórtico 1036**  
William P. Robinson, Andres Schanzer, Jessica P. Simons y Gilbert R. Upchurch Jr.
- 81 Disección aórtica: epidemiología, fisiopatología, presentación clínica y manejo médico y quirúrgico 1056**  
Mark F. Conrad y Richard P. Cambria
- 82 Úlceras penetrantes de aorta 1069**  
Tanya R. Flohr, Robert S. Crawford y Gilbert R. Upchurch Jr.

## Sección 12 Aneurismas periféricos y espláncnicos 1078

- 83 Aneurismas de las extremidades inferiores 1078**  
Glenn Jacobowitz y Neal S. Cayne
- 84 Aneurismas de la extremidad superior 1095**  
M. Shadman Baig y Carlos H. Timaran
- 85 Aneurismas de la arteria espláncnica 1109**  
Jonathan M. Kwong, Caron B. Rockman y Vikram S. Kashyap

## Sección 13 Enfermedades cerebrovasculares 1121

- 86 Enfermedad cerebrovascular: epidemiología e historia natural 1121**  
Caron B. Rockman y Thomas S. Maldonado
- 87 Enfermedad cerebrovascular: placa carotídea inestable 1140**  
Brajesh K. Lal
- 88 Enfermedad cerebrovascular: evaluación diagnóstica 1149**  
A. Ross Naylor y William Adair
- 89 Enfermedad cerebrovascular: toma de decisiones incluyendo terapia médica 1169**  
John J. Ricotta y Joseph J. Ricotta
- 90 Enfermedad de la arteria carótida no aterosclerótica y manejo 1184**  
Lidie Lajoie y Robyn A. Macsata

- 91 Endarterectomía carotídea 1194**  
Maggie Arnold y Bruce A. Perler
- 92 Enfermedad cerebrovascular: colocación de stent de arteria carótida 1215**  
Caitlin W. Hicks y Mahmoud B. Malas
- 93 Enfermedad cerebrovascular: disección de la arteria carótida 1234**  
Rabih A. Chaer, Peter A. Schneider y Efthymios Avgerinos
- 94 Aneurismas de la arteria carótida 1242**  
Ruth L. Bush, Paul Long y Marvin D. Atkins
- 95 Tumores del cuerpo carotídeo 1255**  
Warren B. Chow, Wesley S. Moore y Glenn M. Lamuraglia
- 96 Condiciones inusuales de la arteria carótida 1265**  
Raghavendra L. Girijala, Chiara Lomazzi y Ruth L. Bush
- 97 Disección de la arteria vertebral y otras afecciones 1277**  
Mark Morasch
- 98 Enfermedad de la arteria braquiocefálica y su tratamiento quirúrgico 1292**  
Kristofer M. Charlton-Ouw, Wande B. Pratt y Hazim J. Safi
- 99 Enfermedad de la arteria braquiocefálica y su manejo endovascular 1304**  
Daniel G. Clair

**Índice 1315**

AMOLCA

# Contenido videos

## Sección 4: Imágenes vasculares

### Capítulo 30: Ultrasonido intravascular

Video 30-1: Flujo de color izquierdo de AFS

*Frank R. Arko III, MD; Halim Yammine, MD;*

*Jocelyn K. Lastre, BA*

Video 30-2: USIV pullback mostrando vasos ramificados

*Frank R. Arko III, MD; Halim Yammine, MD;*

*Jocelyn K. Lastre, BA*

Video 30-3: Movimiento de colgajo de disección

*Frank R. Arko III, MD; Halim Yammine, MD; J*

*ocelyn K. Lastre, BA*

Video 30-4: Obstrucción Dinámica

*Frank R. Arko III, MD; Halim Yammine, MD;*

*Jocelyn K. Lastre, BA*

## Sección 8: Técnica

### Capítulo 62: Cirugía aórtica laparoscópica y robótica

Video 62-1A: Cirugía aórtica laparoscópica total sin robot: abordaje aórtico

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-1B: Cirugía aórtica laparoscópica total sin robot: pinzamiento aórtico suprarenal para oclusión aórtica

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-1C: Cirugía aórtica laparoscópica total sin robot: aneurisma aórtico abdominal yuxtarenal

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-2A: Cirugía aórtica laparoscópica total asistida por robot: acoplamiento del robot en el paciente

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-2B: Cirugía aórtica laparoscópica total asistida por robot: aneurisma aórtico abdominal yuxtarenal

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-2C: Cirugía aórtica laparoscópica total asistida por robot: anastomosis aórtica

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-2D: Cirugía aórtica laparoscópica total asistida por robot: anastomosis aórtica e ilíaca

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

Video 62-2E: Cirugía aórtica laparoscópica total asistida por robot: hemostasia de arterias lumbares

*Jean-Baptiste Ricco, MD, PhD; Jan D. Blankensteijn, MD,*

*PhD; Fabien Thaveau, MD, PhD*

## Sección 11: Aneurismas de la aorta torácica y toracoabdominal y disecciones

### Capítulo 77: Aneurismas torácicos y toracoabdominales: tratamiento quirúrgico abierto

Video 77-1: Reparación toracoabdominal

*Charles W. Acher, MD*

Video 77-2: Perfusión de enfriamiento renal

*Charles W. Acher, MD*

Video 77-3: Endarterectomía renal

*Charles W. Acher, MD*

Video 77-4: Costura del parche Visceral Carrell

*Charles W. Acher, MD*

# Ultrasonido intravascular

HALIM YAMMINE, JOCELYN K. BALLAST y FRANK R. ARKO III

## INTRODUCCIÓN 369

### PRINCIPIOS BÁSICOS 370

#### Creando la imagen 370

*Tecnología 370*

#### Interpretando la imagen 371

*Escala de grises 371*

*Ultrasonido intravascular tridimensional*

*volumétrico 371*

*Ultrasonido intravascular de flujo de color 371*

#### Ultrasonido intravascular de histología virtual 372

### APLICACIONES CLÍNICAS 373

#### Eficacia del ultrasonido intravascular 373

*Costo frente a beneficios 373*

*Beneficios generales del ultrasonido intravascular 373*

#### Aplicaciones arteriales: arteria carótida y periférica 373

*Enfermedad arterial periférica 373*

#### Reentrada de lumen verdadero guiada por ultrasonido intravascular 374

#### Aplicaciones en carótidas 374

#### Reparación endovascular: aneurismas aórticos abdominales 374

*Ultrasonido intravascular preoperatorio 374*

*Ultrasonido intravascular intraoperatorio 374*

*Después de la reparación 374*

*Reparación endovascular: enfermedad aórtica torácica 374*

*Aneurismas torácicos 375*

*Lesión aórtica traumática cerrada 375*

#### Coartación 376

#### Dissección 376

*Ultrasonido intravascular intraoperatorio y preoperatorio 376*

*Después del despliegue 378*

*Úlceras aórticas penetrantes y hematoma intramural 378*

*Imágenes y aplicaciones venosas 378*

*Tromboembolismo venoso 378*

*Insuficiencia venosa cerebroespinal crónica 378*

*Síndromes de compresión venosa 378*

### LIMITACIONES Y RIESGOS 379

#### Comparación del ultrasonido intravascular con otras modalidades de imagen 379

#### Limitaciones y riesgos del ultrasonido intravascular 379

### AVANCES FUTUROS 380

### REFERENCIAS CLAVE SELECCIONADAS 380

## INTRODUCCIÓN

Las técnicas endovasculares basadas en catéteres se utilizan cada vez más en la cirugía vascular, y la demanda de imágenes intraoperatorias detalladas aumenta en consecuencia. El ultrasonido intravascular (USIV) es un sistema de guía endoluminal basado en un catéter que se utilizó inicialmente en cardiología intervencionista en la década de 1980.<sup>1-5</sup> Diversos ensayos y análisis de la intervención coronaria percutánea (ICP) guiada por ultrasonido intraventricular frente angiográfica han concluido que los resultados de la ICP guiada por

ultrasonido intravenoso arroja resultados similares o mejorados en general.<sup>6-15</sup> De hecho, el USIV ha demostrado ser eficaz para mejorar los resultados de los procedimientos y reducir la reestenosis y la necesidad de reintervención en la ICP. Desde su uso clínico inicial en intervenciones de arterias coronarias, se ha demostrado que el USIV tiene una variedad de aplicaciones en la intervención vascular debido a su capacidad para proporcionar información diagnóstica previa al tratamiento sobre la extensión y gravedad de la enfermedad, para guiar el tratamiento intraoperatorio y evaluar de inmediato el éxito del tratamiento.<sup>16</sup>

## PRINCIPIOS BÁSICOS

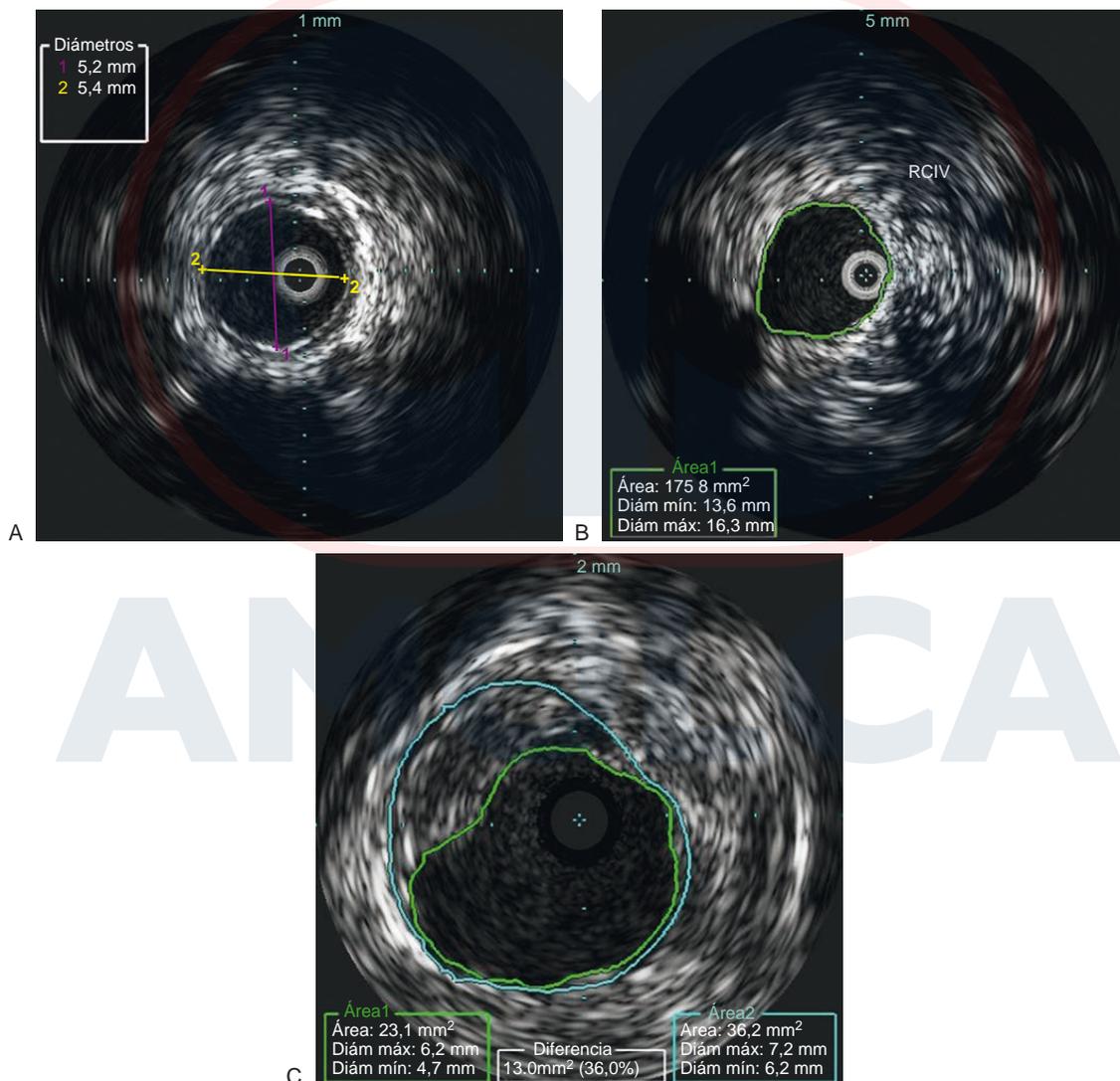
### Creando la imagen

#### Tecnología

El USIV crea imágenes axiales perpendiculares al eje largo del catéter al transmitir ondas de sonido que cubren 360 grados alrededor de la punta del catéter, que se introduce dentro del lumen del vaso sobre un alambre de guía. Esto se logra de forma mecánica o electrónica. El sistema mecánico, producido por Boston Scientific Corporation, utiliza un catéter flexible de alto torque con un transductor ultrasónico

de rotación rápida ubicado en la punta. Los sistemas electrónicos, producidos por Volcano Corporation, utilizan 64 elementos transductores miniaturizados localizados circunferencialmente alrededor de la punta del catéter que se activan en secuencia para producir una matriz de imágenes. La información recopilada por los transductores de USIV se reconstruye, muestra y registra visualmente en una consola separada. Esta estación de trabajo facilita la recopilación de mediciones como el diámetro, la circunferencia y el área de un vaso y permite la captura de imágenes fijas y bucles de video (Fig. 30.1).

Al trabajar con USIV, es importante elegir los catéteres y las frecuencias de ultrasonido apropiadas para obtener la mejor imagen posible.<sup>17</sup> Las frecuencias más altas mejoran la resolución de la imagen, pero dis-



**Figura 30.1.** Es posible tomar una variedad de mediciones en la consola de ultrasonido intravascular, incluidos los diámetros (A) y el área (B). También es posible encontrar la cantidad de trombo presente en un vaso midiendo el área del lumen y el área del vaso (C). VICD, vena iliaca común derecha.

**TABLA 30.1** Tabla de catéteres para imágenes vasculares no coronarias\*

Catéter	Alambre guía (pulgadas)	Frecuencia (MHz)	Funda (F)	Longitud de trabajo (cm)	Diámetro de imagen (mm)	Fabricante
Opticross	0,018	30	6	135	12	Boston Scientific
Eagle Eye Platinum	0,014	20	5	150	20	Volcano
Visions PV 014	0,014	20	5	150	20	Volcano
Visions PV 018	0,018	20	6	135	24	Volcano
Visions PV 035	0,035	10	8,5	90	60	Volcano

\* En Estados Unidos, Boston Scientific Corporation y Volcano Corporation son los principales fabricantes de sistemas de ultrasonido intravascular (USIV) aprobados por la FDA.

minuyen la profundidad de penetración. Esto los hace ideales para vasos más pequeños, ya que proporcionan más detalles, siendo las sondas que suministran 45 MHz las que mejor se adaptan a los vasos coronarios. Las sondas con frecuencias de alrededor de 20 MHz son ideales para vasos periféricos más grandes o vasos ramificados oclusivos, mientras que las sondas con frecuencias más bajas, alrededor de 10 MHz, son muy adecuadas para obtener imágenes de vasos como la aorta, la vena cava inferior y los ilíacos (Tabla 30.1). Estos catéteres deben introducirse con fundas más grandes y proporcionan menos detalles, pero pueden escanear toda la circunferencia de un vaso.

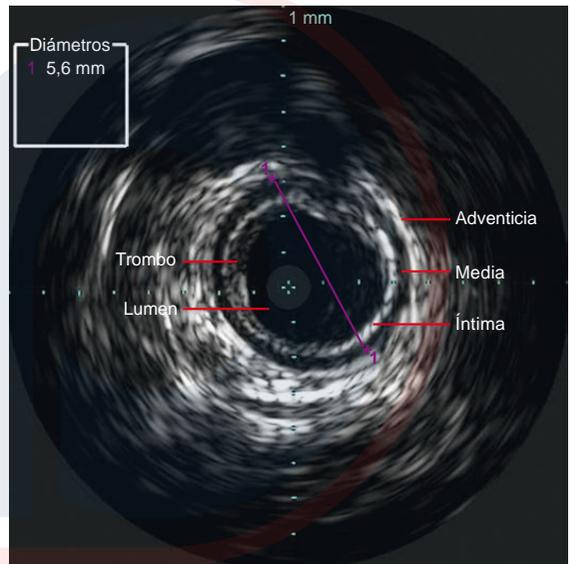
## Interpretando la imagen

### Escala de grises

Al igual que con otras formas de ultrasonido, el USIV muestra imágenes bidimensionales en escala de grises. La capacidad del ultrasonido para penetrar en el material y la amplitud resultante de la señal de retorno determinan el brillo u oscuridad relativa de la pared del vaso, reflejando su ecogenicidad o ecolucencia, respectivamente (Fig. 30.2).<sup>18,19</sup> También es posible visualizar diferentes tipos de placas usando USIV. Las placas muy calcificadas son altamente ecogénicas y se caracterizan por el brillo y el sombreado posterior. Las placas fibróticas son ligeramente menos brillantes y carecen del sombreado posterior de las placas calcificadas. Las placas blandas, llenas de lípidos son ecolucenas y aparecen más oscuras. Hay disponibilidad de softwares que permiten una mayor caracterización y análisis de los vasos.

### Ultrasonido intravascular tridimensional volumétrico

Para superar las limitaciones de la visualización bidimensional, se ha desarrollado el USIV tridimensional para describir con mayor precisión la morfología arterial y la distribución del ateroma. Los métodos convencionales se han basado en una reconstrucción longitudinal similar a un angiograma, creado a través de un «retroceso» automatizado de la sonda de USIV y compilando una reconstrucción longitudinal bidimensional basada en píxeles. Debido a que la punta del catéter no está confiablemente en el centro del lumen, es difícil obtener mediciones precisas de diámetro y longitud en reconstrucciones longitudinales.<sup>20</sup> Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado algoritmos de reconstrucción tridimensional más sofisticados, como un método novedoso que permite el registro simultáneo de dos retrocesos de USIV del



**Figura 30.2** En escala de grises, las capas de la pared arterial se visualizan claramente, con la íntima y la adventicia apareciendo brillantes y ecogénicas, mientras que el medio es más oscuro y ecolucen. El lumen lleno de sangre aparece muy oscuro, con una demarcación clara entre la pared arterial y el lumen que permite obtener mediciones.

mismo vaso.<sup>21</sup> Es probable que este tipo de tecnología siga mejorando, ofreciendo menos errores en el registro de ubicación y orientación.

### Ultrasonido intravascular de flujo de color

También es posible caracterizar el flujo sanguíneo con USIV mediante software de flujo de color. Este software, como ChromaFlo de Volcano, compara fotogramas adyacentes a 30 fotogramas por segundo e identifica el movimiento de las células sanguíneas, coloreando cualquier flujo sanguíneo normal en rojo y un flujo sanguíneo más rápido en amarillo. A diferencia del Doppler, el USIV de flujo de color no puede medir las velocidades de flujo. Sin embargo, proporciona más información sobre la interfaz entre la pared del vaso y el torrente sanguíneo, lo que permite mediciones volumétricas más precisas y la capacidad de evaluar la integridad del tratamiento (Fig. 30.3 y Video 30.1).<sup>22,23</sup>

**TABLA 30.1** Tabla de catéteres para imágenes vasculares no coronarias\*

Catéter	Alambre guía (pulgadas)	Frecuencia (MHz)	Funda (F)	Longitud de trabajo (cm)	Diámetro de imagen (mm)	Fabricante
Opticross	0,018	30	6	135	12	Boston Scientific
Eagle Eye Platinum	0,014	20	5	150	20	Volcano
Visions PV 014	0,014	20	5	150	20	Volcano
Visions PV 018	0,018	20	6	135	24	Volcano
Visions PV 035	0,035	10	8,5	90	60	Volcano

\* En Estados Unidos, Boston Scientific Corporation y Volcano Corporation son los principales fabricantes de sistemas de ultrasonido intravascular (USIV) aprobados por la FDA.

minuyen la profundidad de penetración. Esto los hace ideales para vasos más pequeños, ya que proporcionan más detalles, siendo las sondas que suministran 45 MHz las que mejor se adaptan a los vasos coronarios. Las sondas con frecuencias de alrededor de 20 MHz son ideales para vasos periféricos más grandes o vasos ramificados oclusivos, mientras que las sondas con frecuencias más bajas, alrededor de 10 MHz, son muy adecuadas para obtener imágenes de vasos como la aorta, la vena cava inferior y los ilíacos (Tabla 30.1). Estos catéteres deben introducirse con fundas más grandes y proporcionan menos detalles, pero pueden escanear toda la circunferencia de un vaso.

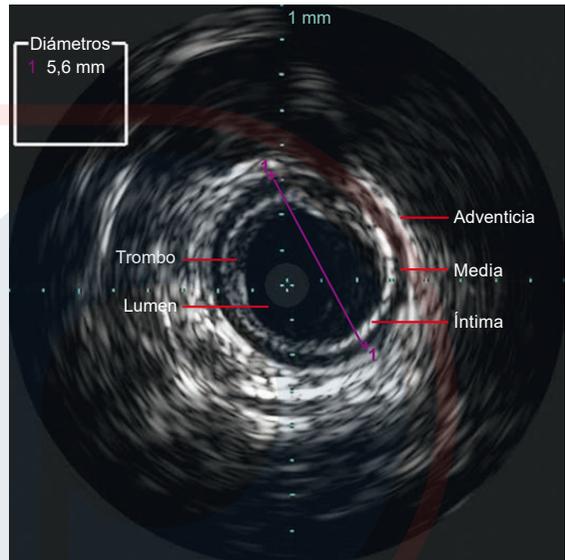
## Interpretando la imagen

### Escala de grises

Al igual que con otras formas de ultrasonido, el USIV muestra imágenes bidimensionales en escala de grises. La capacidad del ultrasonido para penetrar en el material y la amplitud resultante de la señal de retorno determinan el brillo u oscuridad relativa de la pared del vaso, reflejando su ecogenicidad o ecolucencia, respectivamente (Fig. 30.2).<sup>18,19</sup> También es posible visualizar diferentes tipos de placas usando USIV. Las placas muy calcificadas son altamente ecogénicas y se caracterizan por el brillo y el sombreado posterior. Las placas fibróticas son ligeramente menos brillantes y carecen del sombreado posterior de las placas calcificadas. Las placas blandas, llenas de lípidos son ecolucientes y aparecen más oscuras. Hay disponibilidad de softwares que permiten una mayor caracterización y análisis de los vasos.

### Ultrasonido intravascular tridimensional volumétrico

Para superar las limitaciones de la visualización bidimensional, se ha desarrollado el USIV tridimensional para describir con mayor precisión la morfología arterial y la distribución del ateroma. Los métodos convencionales se han basado en una reconstrucción longitudinal similar a un angiograma, creado a través de un «retroceso» automatizado de la sonda de USIV y compilando una reconstrucción longitudinal bidimensional basada en píxeles. Debido a que la punta del catéter no está confiablemente en el centro del lumen, es difícil obtener mediciones precisas de diámetro y longitud en reconstrucciones longitudinales.<sup>20</sup> Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado algoritmos de reconstrucción tridimensional más sofisticados, como un método novedoso que permite el registro simultáneo de dos retrocesos de USIV del



**Figura 30.2** En escala de grises, las capas de la pared arterial se visualizan claramente, con la íntima y la adventicia apareciendo brillantes y ecogénicas, mientras que el medio es más oscuro y ecoluciente. El lumen lleno de sangre aparece muy oscuro, con una demarcación clara entre la pared arterial y el lumen que permite obtener mediciones.

mismo vaso.<sup>21</sup> Es probable que este tipo de tecnología siga mejorando, ofreciendo menos errores en el registro de ubicación y orientación.

### Ultrasonido intravascular de flujo de color

También es posible caracterizar el flujo sanguíneo con USIV mediante software de flujo de color. Este software, como ChromaFlo de Volcano, compara fotogramas adyacentes a 30 fotogramas por segundo e identifica el movimiento de las células sanguíneas, coloreando cualquier flujo sanguíneo normal en rojo y un flujo sanguíneo más rápido en amarillo. A diferencia del Doppler, el USIV de flujo de color no puede medir las velocidades de flujo. Sin embargo, proporciona más información sobre la interfaz entre la pared del vaso y el torrente sanguíneo, lo que permite mediciones volumétricas más precisas y la capacidad de evaluar la integridad del tratamiento (Fig. 30.3 y Video 30.1).<sup>22,23</sup>

especialmente útil para guiar adecuadamente los alambres en el arco, ya que puede confirmar el verdadero acceso del lumen. Cuando sea necesario realizar una fenestración percutánea del colgajo de la íntima, el USIV también puede guiar esta terapia.<sup>79</sup>

### **Después del despliegue**

Después del despliegue, el USIV puede evaluar la finalización y el éxito del tratamiento. En las disecciones tipo B de Stanford, el USIV se puede utilizar para examinar la zona de despliegue proximal del injerto con stent y asegurar que los vasos del arco sean permeables. También puede evaluar la aorta ascendente para detectar la presencia de una disección retrógrada. El ultrasonido intravascular también puede ser beneficioso en la evaluación adicional de los vasos viscerales después de desplegar la endoprótesis vascular principal, ya que puede identificar la malperfusión continua y orientar el tratamiento posterior. En el postoperatorio, se puede determinar la expansión del lumen verdadero y evaluar el lumen falso para determinar el grado de trombosis. En el caso de las disecciones de tipo A, también se ha demostrado que el USIV es valioso en el seguimiento de los pacientes con reemplazo de arco ascendente.<sup>80</sup>

### **Úlceras aórticas penetrantes y hematoma intramural**

Al igual que con la disección, el USIV puede ser beneficioso en el tratamiento de úlcera aórtica penetrante (UAP) e hematoma intramural (HIM).<sup>81,82</sup> La ubicación exacta y el tamaño de la úlcera se pueden visualizar con USIV, lo que permite determinar las zonas de aterrizaje proximal y distal apropiadas. Al igual que en el tratamiento de otras patologías aórticas, esta información guía la elección del tamaño y la longitud adecuados del injerto. En el caso del HIM, el USIV es especialmente útil para visualizar la pared arterial y distinguir la íntima y la adventicia, permitiendo obtener el tamaño apropiado. Después de la intervención, la aposición del stent se puede ver claramente, asegurando que la úlcera esté completamente cubierta.

### **Imágenes y aplicaciones venosas**

La capacidad del USIV para caracterizar el alcance y la composición de las lesiones y proporcionar información sobre la morfología de los vasos está bien documentada en la patología arterial y aórtica. Sin embargo, el USIV también se adapta bien a las necesidades particulares de las imágenes venosas y tiene ventajas sobre la venografía simple y multiplanar.<sup>83,84</sup> Aunque la venografía puede caracterizar la hemodinámica y visualizar venas secundarias, no permite imágenes dinámicas, no puede evaluar con precisión las patologías intraluminales y no proporciona información precisa sobre el tamaño. El USIV puede identificar la morfología de la placa, las trabéculas y las redes intraluminales, la hiperplasia neointimal, el grado de trombosis, las válvulas inmóviles o invertidas y otras deformidades y anomalías.<sup>85</sup> También puede proporcionar mediciones que pueden ser difíciles de obtener con venografía. Esto es especialmente importante en el tratamiento de las venas, ya que las venas a menudo tienen circunferencias irregulares y contornos inusuales, dificultando el análisis de las estenosis y los diámetros de los vasos. Al medir las áreas transversales y los diámetros de las venas y evaluar el grado de enfermedad o compresión, el ultrasonido intravascular puede guiar el tratamiento y ayudar en el tamaño de los balones o stents.

### **Tromboembolismo venoso**

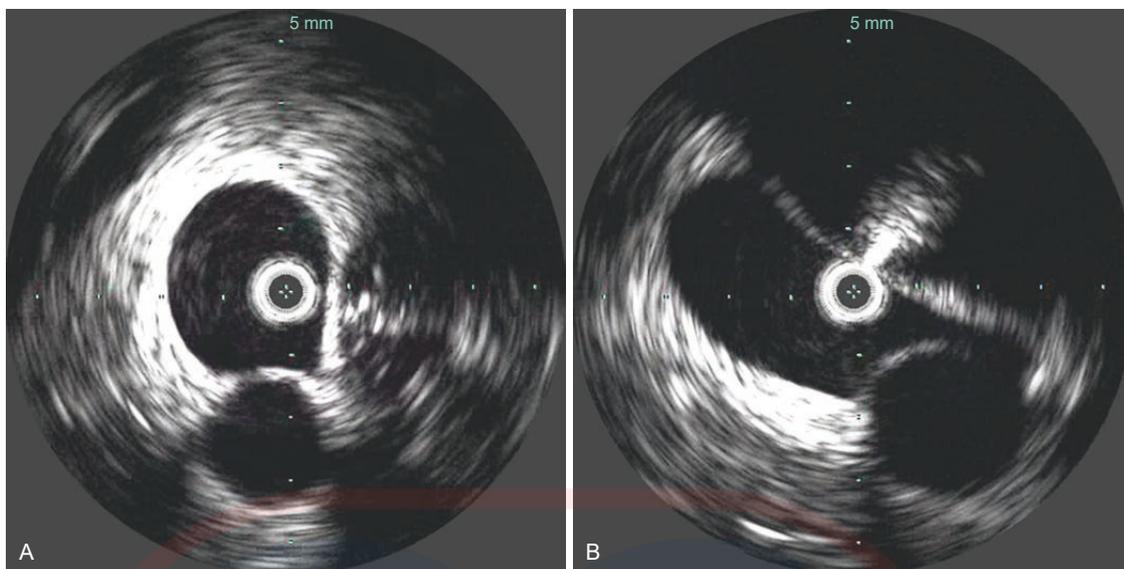
En el caso de trombosis venosa profunda, el USIV puede ser útil para proporcionar imágenes de diagnóstico adicionales para identificar lesiones que pueden no visualizarse mediante venografía.<sup>86,87</sup> También se ha demostrado que es más sensible que la venografía para detectar trombos residuales, por lo que se recomienda su uso de rutina en los regímenes trombolíticos.<sup>88</sup> Sin embargo, el USIV se utiliza con mayor frecuencia para tratar el tromboembolismo venoso en la vena cava inferior que en los vasos periféricos. Dado que el USIV puede obtener medidas de calibre precisas e identificar vasos de rama, puede guiar la colocación de filtros.<sup>89</sup> Estudios recientes que examinaron el uso del USIV en lugar de la venografía de contraste para la colocación de filtros de la vena cava inferior (VCI) encontraron que es seguro y una técnica efectiva.<sup>90</sup> Además, la guía de USIV para colocar filtros de la VCI también puede eliminar la necesidad de transportar pacientes a un conjunto endovascular.<sup>91</sup> Estos beneficios pueden ser significativos, especialmente para pacientes críticamente enfermos, ya que la colocación del filtro de la VCI junto a la cama reduce la cantidad de contraste o fluoroscopia requerida al tiempo que se elimina la necesidad de transferencia del paciente.

### **Insuficiencia venosa cerebroespinal crónica**

Al igual que en otras aplicaciones venosas, el USIV ayuda en el diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia venosa cerebroespinal crónica (IVCEC) debido a su capacidad para evaluar y caracterizar el tamaño del vaso y las anomalías intraluminales. La capacidad de evaluar las anomalías valvulares y las estructuras y constricciones endoluminales es especialmente importante para visualizar las venas yugular y álgos, ya que la naturaleza de las estenosis detectadas en las principales venas cerebroespinales no siempre se ve claramente en la venografía.<sup>92</sup> En el USIV, las válvulas anormales se ven fácilmente debido a la alta ecogenicidad de las áreas engrosadas. Un estudio que evaluó la precisión de la venografía con catéter comparada con el USIV y el ultrasonido con Doppler a color (DC) encontró que la venografía con catéter fue inferior tanto al USIV como al ultrasonido con DC en la detección de malformaciones endoluminales yugulares y que el ultrasonido con DC subestimó las áreas transversales de venas yugulares internas (VYI) en comparación con el USIV.<sup>93</sup> Es particularmente difícil obtener un tamaño preciso para el tratamiento de la estenosis en una VYI debido a la falta de una forma circular uniforme en el vaso. Por lo tanto, el USIV puede ayudar a determinar el tamaño correcto del balón, un desafío tradicional en el tratamiento de las estenosis de la VYI y prevenir complicaciones debido a un tamaño incorrecto.

### **Síndromes de compresión venosa**

El uso de USIV en los síndromes de compresión venosa puede permitir un mejor diagnóstico y un tratamiento más efectivo (Fig. 30.9). En estudios de pacientes con síndrome de May-Thurner, se encontró que el USIV tuvo una tasa de éxito mayor que la venografía para identificar obstrucciones y en muchos casos pudo confirmar el diagnóstico e influir en el manejo endovascular.<sup>94,95</sup> De forma similar, un estudio que evaluó el USIV y la venografía para los pacientes con enfermedad de estasis venosa de las extremidades inferiores y para estenosis/obstrucción de la vena iliofemoral, se descubrió que el USIV era más sensible y preciso que la venografía.<sup>96</sup> En el caso del síndrome del cascanueces,



**Figura 30.9** El ultrasonido intravascular muestra una vena no comprimida (A) y una vena comprimida por una arteria (B) en el síndrome de compresión venosa.

se ha recomendado el USIV para obtener un tamaño preciso del vaso intraoperatoriamente.<sup>97</sup> En 1994, un estudio que examinó el uso de USIV en el tratamiento del síndrome de salida torácica descubrió que el USIV podía limitar el alcance de la disección necesaria al proporcionar imágenes en tiempo real de la liberación de compresión extrínseca.<sup>98</sup> Se encontraron varios estudios más recientes de pacientes con síndrome de salida torácica en los que el USIV fue capaz de proporcionar una evaluación más detallada de la vena subclavia que la venografía, lo que permite una mejor identificación de la estenosis de alto grado.<sup>99,100</sup> En general, las imágenes precisas proporcionadas por el USIV recomienda su uso en síndromes de compresión venosa.

## LIMITACIONES Y RIESGOS

### Comparación del ultrasonido intravascular con otras modalidades de imagen

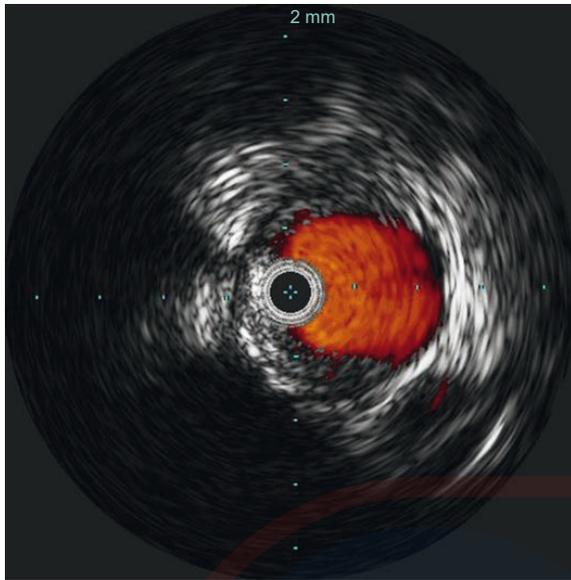
Las opciones de imágenes intraoperatorias son limitadas. Aunque TAC e IRM proporcionan imágenes de alta calidad, no son utilizables durante un procedimiento. Las modalidades de imagen además del USIV que se pueden usar intraoperatoriamente incluyen resonancia magnética intravenosa (IRM IV), tomografía de coherencia óptica (TCO), ecocardiografía transesofágica, espectroscopia de infrarrojo cercano (EGIC), angiografía y reserva fraccional de flujo (RFF). En comparación con otras modalidades de imágenes intraoperatorias, el USIV tiene claros beneficios en algunos casos, mientras que otras modalidades pueden ser más adecuadas para proporcionar otros tipos de información.<sup>101</sup>

Aunque la angiografía y la venografía son útiles porque proporcionan detalles del flujo sanguíneo y del contorno del vaso, permitiendo la visualización de la circulación colateral y la calidad del flujo, son limitadas porque no permiten la caracterización de la enfermedad de la pared y no pueden describir con precisión el tamaño o la composición

de las lesiones.<sup>102</sup> De forma similar, la RFF proporciona información significativa sobre las medidas hemodinámicas de la gravedad de la lesión pero no puede proporcionar información sobre la composición de la placa.<sup>103</sup> Se encontró que al comparar el USIV con la angiografía para la evaluación y tratamiento de enfermedad arterial periférica, el USIV era superior en la medición del diámetro de estenosis, concentricidad de la placa, morfología de la placa y calcificación.<sup>104</sup> En términos de identificación de la morfología de la placa, la IRM intravenosa (IV) también puede caracterizar la composición de las lesiones y ha demostrado ser precisa en la medición del área de la pared vascular.<sup>105</sup> Sin embargo, aunque ha habido mejoras significativas para disminuir el tiempo de escaneo y mejorar la resolución, el costo asociado, el tiempo de exploración y la presencia de artefactos de movimiento significativos hasta ahora han limitado la efectividad de la IRM IV.<sup>106,107</sup> Muchos estudios que evaluaron la eficacia de la TCO encontraron que es precisa y beneficiosa para caracterizar los componentes de la placa en arterias pequeñas, tales como arterias coronarias e infrapoplíteas, ya que tiene una resolución espacial significativamente mejor que otras modalidades de imágenes intraoperatorias.<sup>108</sup> Sin embargo, la TCO no tiene profundidad de penetración, pequeño campo de visión, el uso de contraste y el hecho de que requiere extracción de sangre del vaso en el tiempo de imagen disminuye su utilidad con el aumento del tamaño del vaso.<sup>109-111</sup> En general, por su facilidad de uso y una mayor profundidad de penetración, se recomienda el USIV para mediciones e identificación de lesiones en tratamientos aórticos y periféricos.

### Limitaciones y riesgos del ultrasonido intravascular

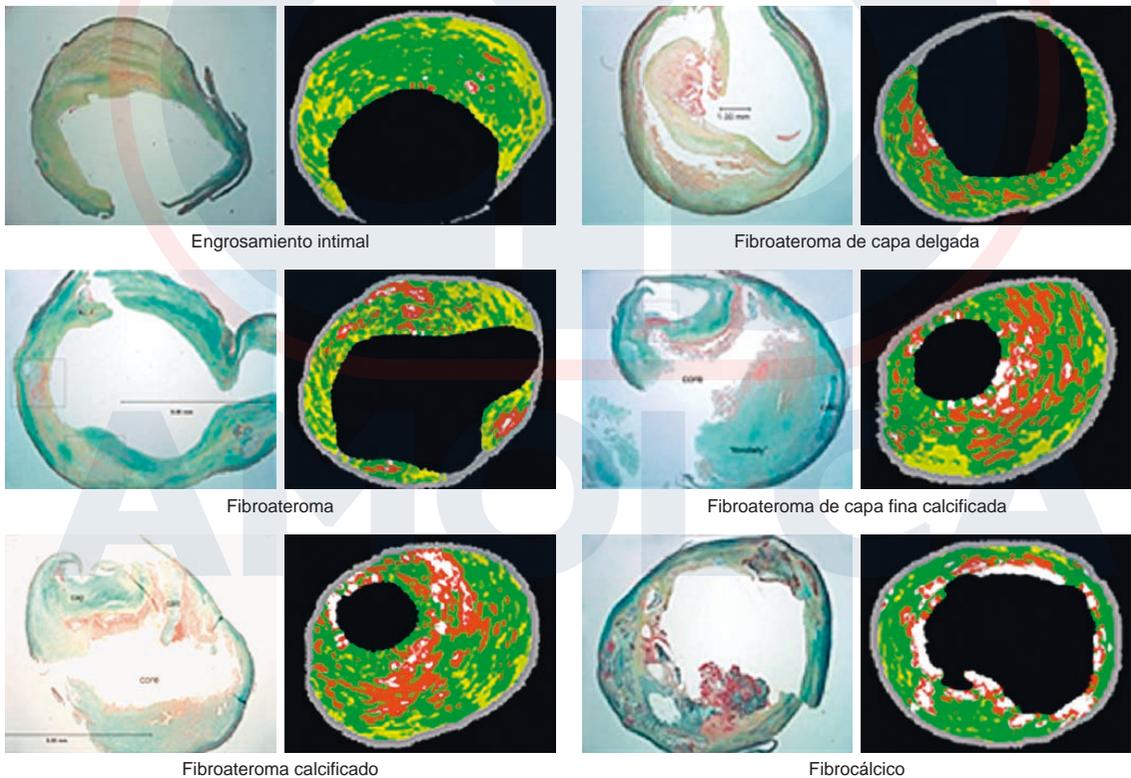
Aunque los riesgos asociados con el uso de USIV son mínimos, el USIV requiere un procedimiento invasivo y por lo tanto conlleva el riesgo de sangrado o coagulación en el área de inserción del catéter y



**Figura 30.3** Ultrasonido intravascular de flujo de color.

### Ultrasonido intravascular de histología virtual

El USIV de histología virtual (HV) utiliza la frecuencia de la señal devuelta, así como su amplitud para producir un mapa codificado por color de una lesión en función de las diferentes frecuencias a las que varios tejidos reflejan el ultrasonido. Esto permite el análisis histopatológico de las placas en función de su composición (Fig. 30.4). El estudio CAPITAL (siglas en inglés de *Evaluación de la historia virtual de la placa de la arteria carótida*), que comparó 153 imágenes USIV HV con verdaderas secciones de histopatología de endarterectomías, descubrió que USIV HV podía diagnosticar con precisión 99,4 % de los fibroateromas de capa fina, 96,1 % de los fibroateromas calcificados de capa fina, 85,9 % de los fibroateromas, 85 % de las placas fibrocalcificadas, 83,4 % de los engrosamientos patológicos de la íntima y 72,4 % de los fibroateromas calcificados.<sup>24</sup> Un estudio de 2013 que analizó 276 placas ateroscleróticas también encontró que USIV HV tenía altas sensibilidades para varios tipos de placas (87 % para fibroateromas de cubierta delgada no calcificado, 92 % para fibroateromas de cubierta delgado calcificado, 85 % para fibroateromas no calcificados, 89 % para fibroateromas calcificados y 79 % para engrosamiento patológico de la íntima).<sup>25</sup> Aunque la precisión de USIV HV varía al identificar diferentes tipos de placa, en general es capaz de proporcionar una idea de la morfología de las lesiones. La información sobre la composición de placa ofrecida por USIV HV puede mejorar los resultados permitiendo



**Figura 30.4** Códigos de color de las imágenes de software de ultrasonido intravascular de histología virtual para las placas ateroscleróticas en función de sus componentes histológicos: verde oscuro = fibroso, amarillo/verde = fibrograso, blanco = calcificado, rojo = núcleo lipídico necrótico.

a los médicos predecir el comportamiento de la placa en respuesta al tratamiento, determinando si las placas pueden resistir el tratamiento o embolizarse cuando se expanden los injertos o balones.<sup>26-31</sup> El análisis histopatológico con USIV solo está disponible actualmente para vasos más pequeños, ya que los campos máximos de visualización son inferiores a 20 mm, pero los avances futuros en la tecnología USIV HV pueden mejorar la caracterización de la placa en vasos más grandes.

## APLICACIONES CLÍNICAS

### Eficacia del ultrasonido intravascular

#### *Costo frente a beneficios*

A partir de 2009, los sistemas de USIV tenían un precio entre 100.000 US\$ y 200.000 US\$, mientras que los catéteres de USIV desechables cuestan entre 600 US\$ y 1.000 US\$ cada uno.<sup>32</sup> Estos pueden representar costos adicionales significativos para los procedimientos. Sin embargo, los beneficios del uso de USIV sugieren que es rentable, porque una mayor efectividad del tratamiento puede evitar la reintervención y mejorar las tasas de morbilidad/mortalidad, especialmente en casos complejos.<sup>33</sup> En un estudio que examina la relación costo-efectividad de USIV en ICP, los resultados demostraron que el uso de USIV era rentable, especialmente en pacientes con mayor riesgo de reestenosis, que se benefician de una implantación de stent más precisa.<sup>34</sup> Los resultados clínicos mejorados a largo plazo ciertamente pueden disminuir los costos, y se ha demostrado que el USIV mejora los resultados clínicos en muchos estudios. Los estudios de endoprótesis arteriales aortoiliacas encontraron que los resultados clínicos se mejoraron con guía USIV.<sup>35,36</sup> Los estudios que investigaron la colocación de endoprótesis vasculares periféricas y de rama descubrieron que el ultrasonido intravascular puede detectar el despliegue insatisfactorio de los dilatadores, permitiendo tomar medidas adicionales inmediatamente para impedir una reintervención posterior.<sup>37</sup> De forma similar, se encontró que el tratamiento guiado por USIV de las intervenciones endovasculares de las extremidades inferiores es predictivo de complicaciones postoperatorias más bajas y de tasas de recuperación de extremidades significativamente mejores.<sup>38</sup> En general, los beneficios del uso de USIV tienden a superar los costos de procedimiento adicionales.

#### *Beneficios generales del ultrasonido intravascular*

El USIV se usa con mayor frecuencia debido a su capacidad para proporcionar información diagnóstica adicional para evaluar con precisión la patología vascular, un beneficio que ha sido bien documentado.<sup>39</sup> En el intraoperatorio, la imagenología dinámica proporcionada por USIV permite el despliegue preciso de injertos y la evaluación de la terapia exitosa. La capacidad de medición mejorada del USIV ayuda a determinar el tamaño adecuado del injerto de stent, así como a realizar ajustes de último minuto basados en mediciones intraoperatorias.<sup>40</sup> Aunque se ha encontrado que las mediciones tomadas con USIV son precisas en general, es importante recordar que como el catéter puede no estar siempre en el centro del lumen, puede proporcionar una sección oblicua distorsionada que no refleja el verdadero diámetro de la línea central, especialmente en las secciones tortuosas de la aorta.<sup>41</sup>

Un beneficio significativo del USIV es que no requiere el uso de contraste. Debido a esto, los pacientes con alergias por contraste o insuficiencia renal pueden beneficiarse de las imágenes preoperatorias con USIV

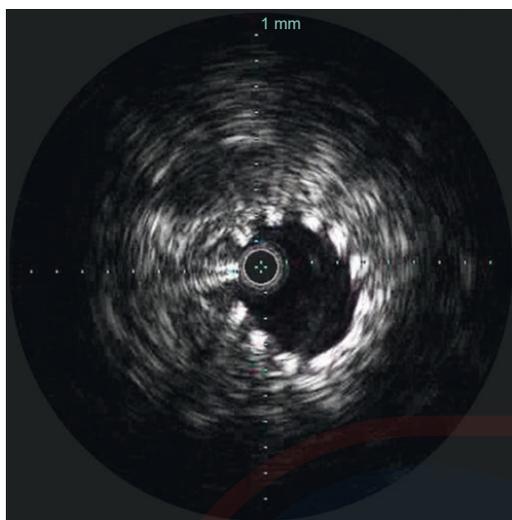
en lugar de la angiografía por tomografía computarizada (TAC).<sup>42,43</sup> En el intraoperatorio, el uso se recomienda especialmente como alternativa o complemento de la angiografía debido a su capacidad para disminuir el volumen de contraste inyectado y la exposición a la radiación.<sup>44</sup> Se demostró en un estudio de comparación que el uso de USIV disminuyó el tiempo de fluoroscopia de 39 a 19 minutos en procedimientos comparables.<sup>45</sup> En 2002, un estudio que evaluó los resultados de la reparación del aneurisma endovascular (REVA) con USIV en comparación con la angiografía concluyó que el USIV era lo suficientemente preciso y confiable para ser utilizado para la REVA sin evaluación angiográfica adicional.<sup>46</sup> Esta capacidad de realizar un procedimiento mientras elimina o reduce la carga de contraste y la exposición a la radiación recomienda el uso de USIV en pacientes con alergias al contraste potencialmente mortales o complicaciones renales.<sup>47</sup> Debido a sus muchos beneficios, el USIV ha demostrado ser útil en una variedad de aplicaciones vasculares, incluso en el tratamiento de la enfermedad arterial periférica, aneurisma aórtico abdominal, enfermedad aórtica torácica, disección y enfermedad venosa.

### Aplicaciones arteriales: arteria carótida y periférica

#### *Enfermedad arterial periférica*

Se ha demostrado que la estenosis residual de más de 60 % después de la angioplastia con balón periférica se asocia con tasas de patencia disminuidas.<sup>48</sup> Los estudios también han demostrado que un tamaño más preciso, especialmente con endoprótesis expandibles con balón, conduce a mejores tasas de patencia.<sup>49</sup> La evaluación por USIV del diámetro del lumen y el grado de estenosis permiten un dimensionamiento preciso del vaso a tratar, informando así las decisiones sobre el tamaño del balón y el stent.<sup>50</sup> Un estudio japonés encontró que las tasas de patencia global a 5 años mejoraron en 65 % frente a 35 % cuando se utilizó USIV en el tratamiento de las lesiones femoropoplíteas.<sup>51</sup> El USIV también puede evaluar los resultados iniciales de la angioplastia con balón y determinar la necesidad de una intervención adicional, asegurando la dilatación adecuada de los stents para mejorar la aposición a las paredes de los vasos. En un estudio, 40 % de los pacientes tenían stents subexpandidos después del despliegue inicial y la expansión del balón, pero luego se pudieron expandir aún más con balones más grandes porque la falta de aposición se identificó con USIV.<sup>52</sup> La arteriografía o la angiografía sola no siempre visualizan este tipo de problema, mientras que el USIV es capaz de identificar los puntales del stent debido a su ecogenicidad y puede evaluar el grado de expansión y aposición del stent, lo que permite a los médicos actuar para mejorar las tasas de permeabilidad y el éxito general del tratamiento (Fig. 30.5).

En un estudio de aneurismas poplíteos, los investigadores encontraron que el uso de USIV permitió una caracterización precisa de la morfología de los vasos, incluida la ubicación y la extensión de la carga del trombo. Esto mejoró los resultados en procedimientos endovasculares porque la medición del diámetro y la ubicación de las zonas de colocación deseadas permitieron el sellado apropiado del aneurisma proximal y distal.<sup>53</sup> En pacientes con colocación de stent liberador de fármaco para el tratamiento de lesiones femoropoplíteas, la guía de USIV y la evaluación de USIV postoperatorio es capaz de ofrecer predictores de reestenosis en 1 año.<sup>54</sup> En otro estudio, el uso de USIV se asoció con mayores tasas de patencia primaria después de la colocación de stents de nitinol en las lesiones TASC II A-C.<sup>55</sup> Como demuestran



**Figura 30.5** La ecología de los injertos de stent permite la evaluación de la aposición del injerto.

estos estudios, la información proporcionada por USIV ha mostrado claros beneficios en el tratamiento de la vasculatura periférica.

### Reentrada de lumen verdadero guiada por ultrasonido intravascular

La revascularización endovascular para recanalizar las arterias periféricas a menudo no tiene éxito debido a una falla al reingresar al lumen verdadero después de cruzar una oclusión subintimal. El uso de un dispositivo como Pioneer Plus,<sup>56,57</sup> que combina USIV con tecnología de reentrada, puede garantizar la verdadera reentrada del lumen y mejorar los resultados, como se muestra en varios estudios. En un estudio de pacientes con oclusión total crónica de las arterias ilíacas, el uso del dispositivo Pioneer (un precursor del Pioneer Plus) pudo disminuir el tiempo del procedimiento y mejorar la precisión de la reentrada, lo que mejoró el éxito técnico del procedimiento de recanalización.<sup>58</sup> Otro estudio encontró resultados similarmente positivos en el seguimiento longitudinal del uso de dispositivos de reingreso USIV para OTC (oclusión total crónica) ilíaca e infrainguinal.<sup>59</sup> El uso de USIV junto con dispositivos de reentrada garantiza una colocación y reentrada precisas de la aguja.

### Aplicaciones en carótidas

El USIV también puede ser útil en el tratamiento de arterias carótidas. Un estudio de pacientes con endarterectomía descubrió que el uso de USIV permitía la identificación correcta de los extremos distales de las lesiones estenóticas, aumentando la cantidad de información disponible para los médicos que, inicialmente, podía no estar disponible con los angiogramas preoperatorios.<sup>60</sup> De manera similar, un estudio de pacientes sometidos a angioplastia carotídea y colocación de stents descubrió que USIV proporcionaba información complementaria para permitir una caracterización más detallada de las lesiones y, por lo tanto, para informar la elección del tipo y tamaño del stent.<sup>61</sup>

## Reparación endovascular: aneurismas aórticos abdominales

### Ultrasonido intravascular preoperatorio

Los aneurismas aórticos abdominales (AAA) se tratan cada vez más endovascularmente.<sup>62,63</sup> La planificación preoperatoria para tales procedimientos requiere imágenes de alta calidad para caracterizar la morfología arterial, en particular para una evaluación precisa de las zonas de aterrizaje proximal y distal. La mayor parte de esta planificación se realiza mediante TAC. Sin embargo, el uso de USIV preoperatoriamente puede ser beneficioso en varios casos. Se ha demostrado que USIV proporciona mediciones precisas de la longitud y el diámetro en las zonas de aterrizaje, lo que ayuda a la selección del tamaño adecuados de los endoinjertos.<sup>64,65</sup> En el caso de pacientes con vasos tortuosos, la combinación de información de USIV y TAC preoperatoriamente puede mejorar la capacidad de evaluar y planificar con precisión los casos que pueden ser técnicamente difíciles.

### Ultrasonido intravascular intraoperatorio

Para los pacientes con aneurisma aórtico abdominal, el USIV se usa con mayor efectividad intraoperatoriamente. Antes de la implantación del injerto de stent, puede ayudar a evaluar la anatomía de acceso en pacientes con idoneidad cuestionable para endoinjerto percutáneo como se ve en TAC. Antes de la implantación de endoprótesis en pacientes con acceso difícil, el ultrasonido intravascular puede guiar la aterectomía rotacional o la angioplastia con balón o determinar si puede ser necesario un conducto. Esta evaluación de los vasos de acceso puede limitar las complicaciones como la disección ilíaca o la rotura. Durante el despliegue, el USIV puede visualizar las ramas laterales para la colocación precisa del injerto. En el caso de que se esté desplegando un injerto bifurcado, el USIV también se puede utilizar para garantizar que el acceso contralateral se canuló correctamente.

### Después de la reparación

Después del despliegue del stent-injerto, el USIV puede determinar la integridad del tratamiento al evaluar la aposición a las paredes del vaso proximal y distal, así como la aposición entre los stent-injertos superpuestos. Las endofugas potenciales pueden así visualizarse y caracterizarse. El uso de USIV para la evaluación intraoperatoria inmediata del tratamiento puede facilitar la toma de decisiones acerca de la necesidad de otras intervenciones como el inflamiento, la colocación de manguitos proximales o injertos de stent adicionales, evitando así la necesidad de reintervenciones posteriores.

## Reparación endovascular: enfermedad aórtica torácica

Los injertos con endoprótesis aórtica torácica endovascular se utilizan para tratar una variedad de patologías aórticas torácicas, que incluyen aneurisma, disección, úlcera aórtica penetrante (UAP), hematoma intramural (HIM), coartación y lesión aórtica torácica debido a traumatismo.<sup>66-69</sup> El USIV puede identificar y caracterizar claramente todas esas patologías junto con la provisión de información adicional que puede no haber sido proporcionada en las imágenes de TAC. A diferencia de las imágenes para patologías aórticas abdominales, las imágenes de TAC para la enfermedad torácica a menudo no incluyen la visualización abdominal y pélvica. El USIV por lo tanto se puede utilizar para proporcionar información sobre los sitios de acceso. Los

injertos torácicos a menudo requieren diámetros de funda más grandes, lo que aumenta el riesgo de complicaciones relacionadas con el acceso y la necesidad de una evaluación precisa para evaluar la necesidad de un conducto o tratamiento adicional antes de administrar el injerto principal. El USIV también puede proporcionar información sobre la participación de los vasos del arco que puede no haber estado disponible en TAC, informando las decisiones sobre las zonas de aterrizaje y cualquier colocación adicional de stent que pueda ser necesaria.

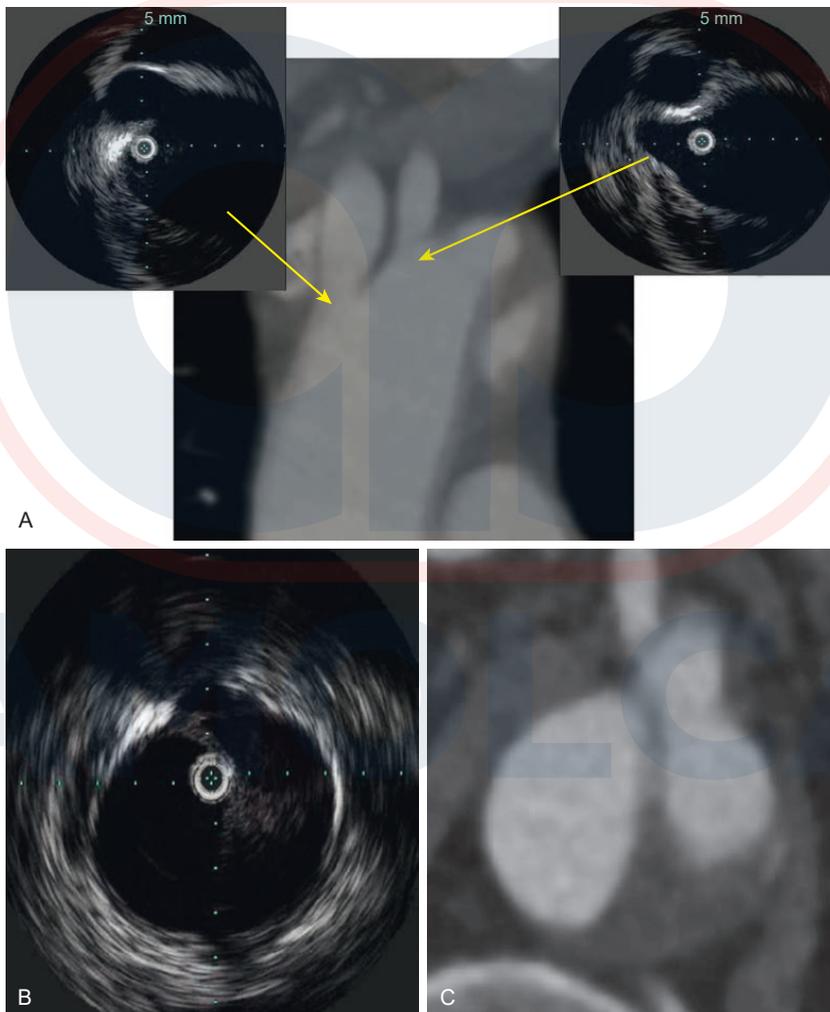
### Aneurismas torácicos

Los beneficios del uso del USIV en el tratamiento del aneurisma aórtico torácico son similares a los beneficios proporcionados en el tratamiento del aneurisma aórtico abdominal, con la adición de los beneficios antes mencionados que son generales para el uso de USIV, en la enfermedad

aórtica torácica. Antes de la intervención, puede evaluar los vasos de acceso, determinar la cantidad de cobertura del stent necesaria, guiar el tamaño del injerto e identificar los vasos de rama y las zonas de aterrizaje (Fig. 30.6 y Video 30.2). Es de destacar que USIV es especialmente beneficioso para detectar cualquier fuente de material potencialmente embólico, como las placas calcificadas o un ateroma móvil en el arco aórtico. Esto puede permitir que los médicos limiten la manipulación en el arco para prevenir embolia cerebral.

### Lesión aórtica traumática cerrada

Aunque la TAC sigue siendo esencial como herramienta de diagnóstico para las lesiones aórticas traumáticas cerradas (LATC), como la rotura, las roturas de la íntima o la sección transversal, a veces se requieren imágenes adicionales. Un estudio de pacientes con LATC con TAC



**Figura 30.6** Vasos ramificados. En USIV, es posible ver el despegue de los grandes vasos (A, las flechas indican la ubicación de imágenes de USIV capturadas en arterias innominadas y carótidas). La imagen de USIV (B) y la ATC (C) correlativa muestran la arteria celíaca perfundida por un falso lumen parcialmente trombosado.

equivocas encontró que USIV fue más sensible que la angiografía en estos casos, donde 3 de 25 pacientes que tuvieron una angiografía negativa, fueron diagnosticados luego con USIV.<sup>71</sup> Además, el diámetro aórtico en pacientes con lesión aórtica traumática a menudo aumenta desde el momento de la TAC inicial hasta el momento de la reparación debido al shock hipovolémico y la resucitación posterior, lo que resalta la necesidad de una reevaluación intraoperatoria y una medición en tiempo real para guiar el tamaño del dispositivo.<sup>72</sup> Este tamaño preciso del verdadero diámetro luminal aórtico puede prevenir de desdoblamiento del injerto o configuración de «pico de pájaro» y asegurar la aposición adecuada.<sup>73</sup> Esto es especialmente crítico para los pacientes con LATC, que a menudo son más jóvenes, y necesitan anticiparse a los cambios que acompañan al envejecimiento y una planificación adecuada para promover la durabilidad del tratamiento a largo plazo.<sup>74</sup>

## Coartación

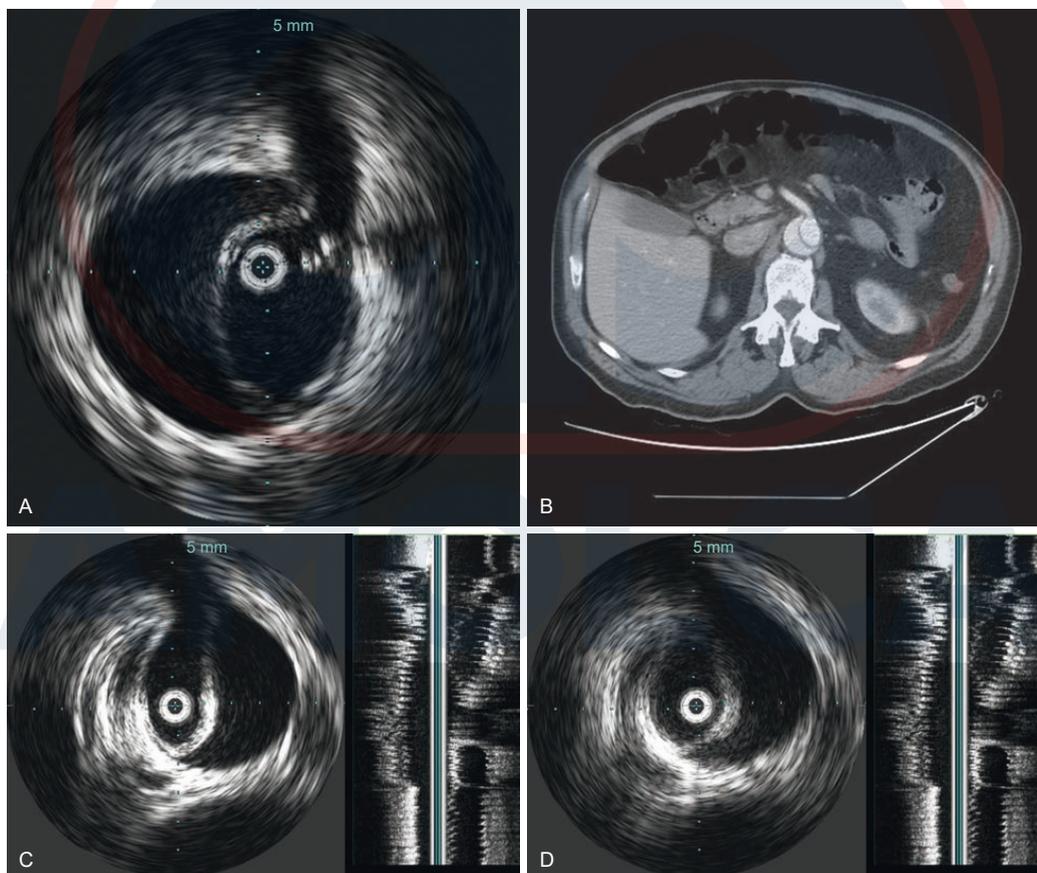
El USIV se ha convertido en una importante técnica de imagen en la reparación endovascular de la coartación de la aorta. En un estudio que

examinó la dilatación con balón para la coartación nativa y recurrente de la aorta, se descubrió que el USIV era más sensible que la angiografía para proporcionar detalles sobre cambios, remodelación y desgarros de la íntima en la pared vascular.<sup>75</sup> No solo es útil intraoperatoriamente, también puede ser beneficiosa en el diagnóstico de anomalías del arco o coartación. En 2000, se examinaron un total de 20 bebés y niños con anomalías del arco, y se determinó que es posible diagnosticar anomalías del arco con precisión utilizando catéteres de USIV desde un enfoque transesofágico con reconstrucción de imágenes tridimensionales.<sup>76</sup>

## Diseción

### Ultrasonido intravascular intraoperatorio y preoperatorio

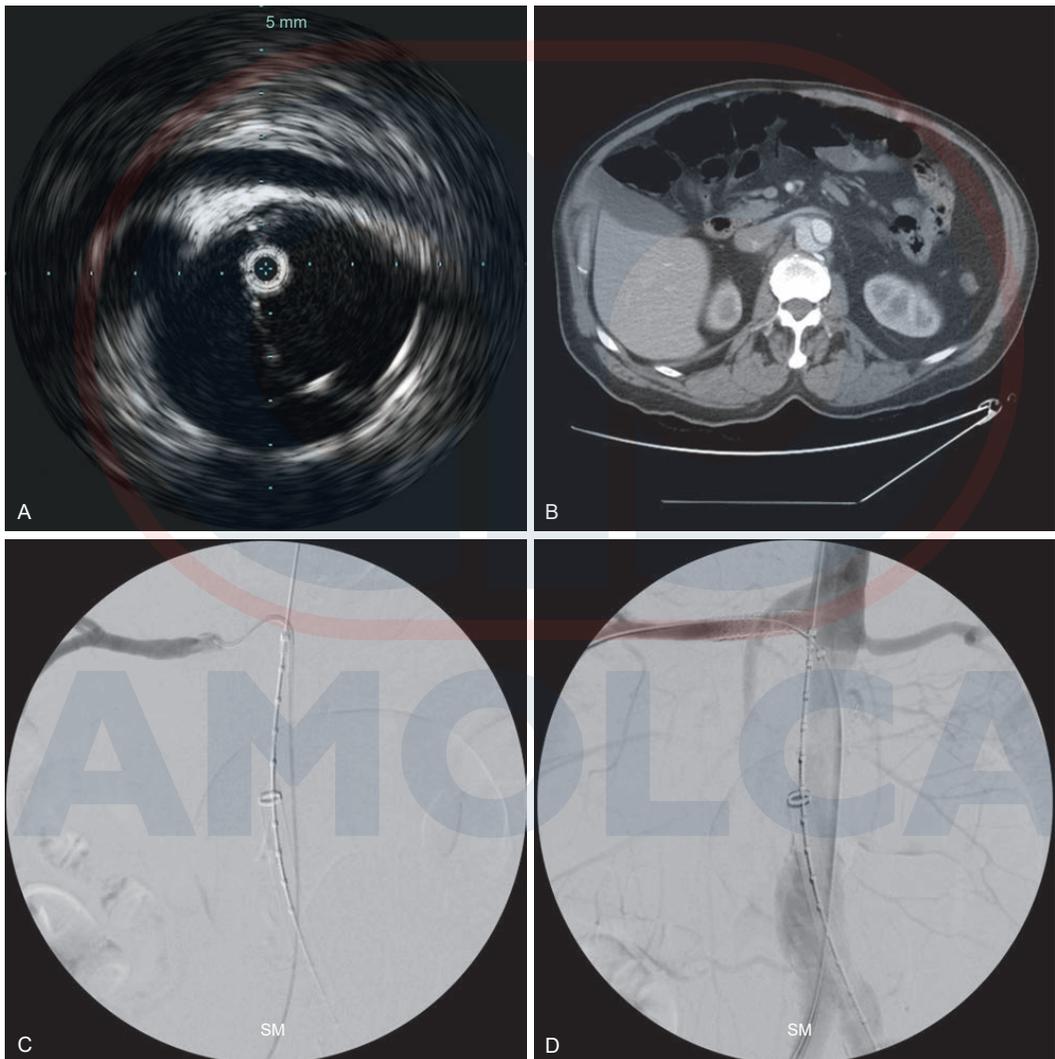
El beneficio del USIV en el tratamiento endovascular de las disecciones aórticas torácicas se ve más claramente en su capacidad para identificar los lúmenes verdadero y falso (Fig. 30.7). La caracterización de la disección también es posible, con la capacidad de identificar la rotura



**Figura 30.7** (A) Es posible ver a la íntima separando los lúmenes verdadero y falso y la arteria mesentérica superior (AMS) que sale del lumen verdadero. (B) Angiografía por tomografía computarizada de disección y AMS que sale del lumen verdadero. (C y D) Obstrucción dinámica como se ve en el ultrasonido intravascular con reconstrucción longitudinal.

de entrada y otras fenestraciones entre el lumen verdadero y el falso. Se puede visualizar el movimiento y el grosor del colgajo de disección, lo que facilita el diagnóstico de obstrucción dinámica debido al movimiento del colgajo (Videos 30.3 y 30.4). El beneficio del USIV en el tratamiento de las disecciones tipo B de Stanford, especialmente las disecciones de tipo B «complicadas», es clara en su capacidad para identificar vasos viscerales.<sup>77</sup> No solo se puede ver claramente la obstrucción dinámica, sino que también es posible evaluar a través de cual lumen cada arteria es perfundida, guiando otras terapias si se requieren stents viscerales (Fig. 30.8). La identificación de la arteria celiaca con USIV también puede ayudar a la colocación del injerto, ya

que el origen de esta arteria a veces es difícil de identificar únicamente con aortografía.<sup>78</sup> Debido a que proporciona mediciones precisas del diámetro del vaso y las ubicaciones exactas de los vasos ramificados y las fenestraciones, el uso de USIV en el tratamiento de disecciones puede facilitar la identificación y caracterización de las zonas de aterrizaje proximales y distales, determinar la cantidad de cobertura requerida y guiar la selección del tamaño y la longitud adecuados del dispositivo que se utilizará. Como en otras patologías aórticas, el USIV también puede guiar los catéteres. Esto es especialmente importante en el caso de la disección, ya que es difícil determinar por angiografía si un cable está en el lumen verdadero o el falso. El USIV por lo tanto se vuelve



**Figura 30.8** (A) La arteria renal derecha saliendo del lumen falso. (B) angiografía por tomografía computarizada de la disección con la arteria renal derecha saliendo del lumen falso. (C) Canulación selectiva de la arteria renal derecha. (D) Colocación final del injerto a través del tabique del lumen falso en el verdadero.

especialmente útil para guiar adecuadamente los alambres en el arco, ya que puede confirmar el verdadero acceso del lumen. Cuando sea necesario realizar una fenestración percutánea del colgajo de la íntima, el USIV también puede guiar esta terapia.<sup>79</sup>

### Después del despliegue

Después del despliegue, el USIV puede evaluar la finalización y el éxito del tratamiento. En las disecciones tipo B de Stanford, el USIV se puede utilizar para examinar la zona de despliegue proximal del injerto con stent y asegurar que los vasos del arco sean permeables. También puede evaluar la aorta ascendente para detectar la presencia de una disección retrógrada. El ultrasonido intravascular también puede ser beneficioso en la evaluación adicional de los vasos viscerales después de desplegar la endoprótesis vascular principal, ya que puede identificar la malperfusión continua y orientar el tratamiento posterior. En el postoperatorio, se puede determinar la expansión del lumen verdadero y evaluar el lumen falso para determinar el grado de trombosis. En el caso de las disecciones de tipo A, también se ha demostrado que el USIV es valioso en el seguimiento de los pacientes con reemplazo de arco ascendente.<sup>80</sup>

### Úlceras aórticas penetrantes y hematoma intramural

Al igual que con la disección, el USIV puede ser beneficioso en el tratamiento de úlcera aórtica penetrante (UAP) e hematoma intramural (HIM).<sup>81,82</sup> La ubicación exacta y el tamaño de la úlcera se pueden visualizar con USIV, lo que permite determinar las zonas de aterrizaje proximal y distal apropiadas. Al igual que en el tratamiento de otras patologías aórticas, esta información guía la elección del tamaño y la longitud adecuados del injerto. En el caso del HIM, el USIV es especialmente útil para visualizar la pared arterial y distinguir la íntima y la adventicia, permitiendo obtener el tamaño apropiado. Después de la intervención, la aposición del stent se puede ver claramente, asegurando que la úlcera esté completamente cubierta.

### Imágenes y aplicaciones venosas

La capacidad del USIV para caracterizar el alcance y la composición de las lesiones y proporcionar información sobre la morfología de los vasos está bien documentada en la patología arterial y aórtica. Sin embargo, el USIV también se adapta bien a las necesidades particulares de las imágenes venosas y tiene ventajas sobre la venografía simple y multipanar.<sup>83,84</sup> Aunque la venografía puede caracterizar la hemodinámica y visualizar venas secundarias, no permite imágenes dinámicas, no puede evaluar con precisión las patologías intraluminales y no proporciona información precisa sobre el tamaño. El USIV puede identificar la morfología de la placa, las trabéculas y las redes intraluminales, la hiperplasia neointimal, el grado de trombosis, las válvulas inmóviles o invertidas y otras deformidades y anomalías.<sup>85</sup> También puede proporcionar mediciones que pueden ser difíciles de obtener con venografía. Esto es especialmente importante en el tratamiento de las venas, ya que las venas a menudo tienen circunferencias irregulares y contornos inusuales, dificultando el análisis de las estenosis y los diámetros de los vasos. Al medir las áreas transversales y los diámetros de las venas y evaluar el grado de enfermedad o compresión, el ultrasonido intravascular puede guiar el tratamiento y ayudar en el tamaño de los balones o stents.

### Tromboembolismo venoso

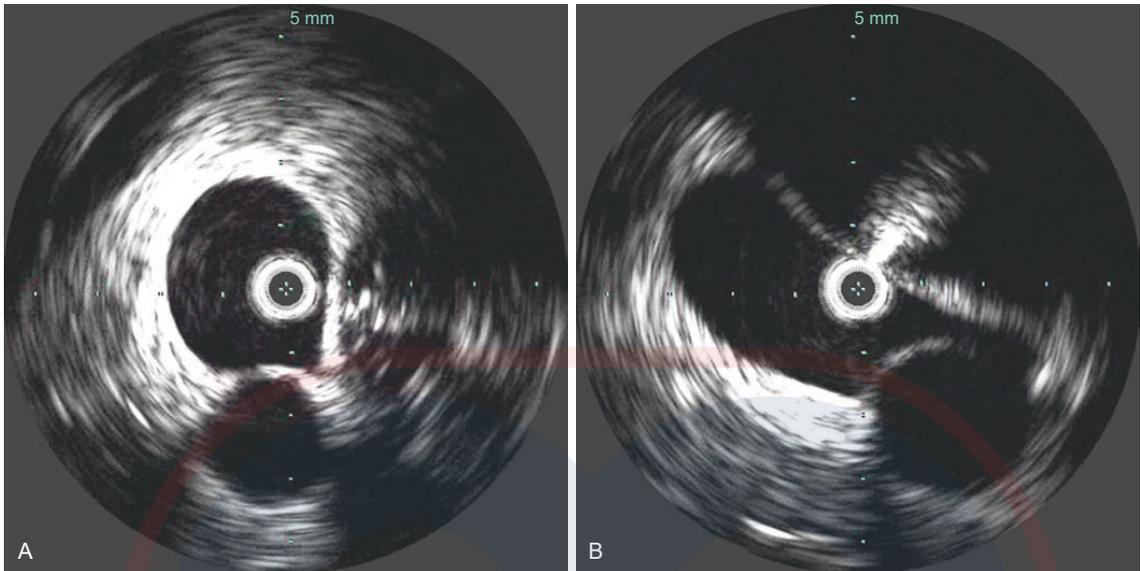
En el caso de trombosis venosa profunda, el USIV puede ser útil para proporcionar imágenes de diagnóstico adicionales para identificar lesiones que pueden no visualizarse mediante venografía.<sup>86,87</sup> También se ha demostrado que es más sensible que la venografía para detectar trombos residuales, por lo que se recomienda su uso de rutina en los regímenes trombolíticos.<sup>88</sup> Sin embargo, el USIV se utiliza con mayor frecuencia para tratar el tromboembolismo venoso en la vena cava inferior que en los vasos periféricos. Dado que el USIV puede obtener medidas de calibre precisas e identificar vasos de rama, puede guiar la colocación de filtros.<sup>89</sup> Estudios recientes que examinaron el uso del USIV en lugar de la venografía de contraste para la colocación de filtros de la vena cava inferior (VCI) encontraron que es seguro y una técnica efectiva.<sup>90</sup> Además, la guía de USIV para colocar filtros de la VCI también puede eliminar la necesidad de transportar pacientes a un conjunto endovascular.<sup>91</sup> Estos beneficios pueden ser significativos, especialmente para pacientes críticamente enfermos, ya que la colocación del filtro de la VCI junto a la cama reduce la cantidad de contraste o fluoroscopia requerida al tiempo que se elimina la necesidad de transferencia del paciente.

### Insuficiencia venosa cerebroespinal crónica

Al igual que en otras aplicaciones venosas, el USIV ayuda en el diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia venosa cerebroespinal crónica (IVCEC) debido a su capacidad para evaluar y caracterizar el tamaño del vaso y las anomalías intraluminales. La capacidad de evaluar las anomalías valvulares y las estructuras y constricciones endoluminales es especialmente importante para visualizar las venas yugular y ácigos, ya que la naturaleza de las estenosis detectadas en las principales venas cerebroespinales no siempre se ve claramente en la venografía.<sup>92</sup> En el USIV, las válvulas anormales se ven fácilmente debido a la alta ecogenicidad de las áreas engrosadas. Un estudio que evaluó la precisión de la venografía con catéter comparada con el USIV y el ultrasonido con Doppler a color (DC) encontró que la venografía con catéter fue inferior tanto al USIV como al ultrasonido con DC en la detección de malformaciones endoluminales yugulares y que el ultrasonido con DC subestimó las áreas transversales de venas yugulares internas (VYI) en comparación con el USIV.<sup>93</sup> Es particularmente difícil obtener un tamaño preciso para el tratamiento de la estenosis en una VYI debido a la falta de una forma circular uniforme en el vaso. Por lo tanto, el USIV puede ayudar a determinar el tamaño correcto del balón, un desafío tradicional en el tratamiento de las estenosis de la VYI y prevenir complicaciones debido a un tamaño incorrecto.

### Síndromes de compresión venosa

El uso de USIV en los síndromes de compresión venosa puede permitir un mejor diagnóstico y un tratamiento más efectivo (Fig. 30.9). En estudios de pacientes con síndrome de May-Thurner, se encontró que el USIV tuvo una tasa de éxito mayor que la venografía para identificar obstrucciones y en muchos casos pudo confirmar el diagnóstico e influir en el manejo endovascular.<sup>94,95</sup> De forma similar, un estudio que evaluó el USIV y la venografía para los pacientes con enfermedad de estasis venosa de las extremidades inferiores y para estenosis/obstrucción de la vena iliofemoral, se descubrió que el USIV era más sensible y preciso que la venografía.<sup>96</sup> En el caso del síndrome del cascanueces,



**Figura 30.9** El ultrasonido intravascular muestra una vena no comprimida (A) y una vena comprimida por una arteria (B) en el síndrome de compresión venosa.

se ha recomendado el USIV para obtener un tamaño preciso del vaso intraoperatoriamente.<sup>97</sup> En 1994, un estudio que examinó el uso de USIV en el tratamiento del síndrome de salida torácica descubrió que el USIV podía limitar el alcance de la disección necesaria al proporcionar imágenes en tiempo real de la liberación de compresión extrínseca.<sup>98</sup> Se encontraron varios estudios más recientes de pacientes con síndrome de salida torácica en los que el USIV fue capaz de proporcionar una evaluación más detallada de la vena subclavia que la venografía, lo que permite una mejor identificación de la estenosis de alto grado.<sup>99,100</sup> En general, las imágenes precisas proporcionadas por el USIV recomiendan su uso en síndromes de compresión venosa.

## LIMITACIONES Y RIESGOS

### Comparación del ultrasonido intravascular con otras modalidades de imagen

Las opciones de imágenes intraoperatorias son limitadas. Aunque TAC e IRM proporcionan imágenes de alta calidad, no son utilizables durante un procedimiento. Las modalidades de imagen además del USIV que se pueden usar intraoperatoriamente incluyen resonancia magnética intravenosa (IRM IV), tomografía de coherencia óptica (TCO), ecocardiografía transesofágica, espectroscopia de infrarrojo cercano (EGIC), angiografía y reserva fraccional de flujo (RFF). En comparación con otras modalidades de imágenes intraoperatorias, el USIV tiene claros beneficios en algunos casos, mientras que otras modalidades pueden ser más adecuadas para proporcionar otros tipos de información.<sup>101</sup>

Aunque la angiografía y la venografía son útiles porque proporcionan detalles del flujo sanguíneo y del contorno del vaso, permitiendo la visualización de la circulación colateral y la calidad del flujo, son limitadas porque no permiten la caracterización de la enfermedad de la pared y no pueden describir con precisión el tamaño o la composición

de las lesiones.<sup>102</sup> De forma similar, la RFF proporciona información significativa sobre las medidas hemodinámicas de la gravedad de la lesión pero no puede proporcionar información sobre la composición de la placa.<sup>103</sup> Se encontró que al comparar el USIV con la angiografía para la evaluación y tratamiento de enfermedad arterial periférica, el USIV era superior en la medición del diámetro de estenosis, concentricidad de la placa, morfología de la placa y calcificación.<sup>104</sup> En términos de identificación de la morfología de la placa, la IRM intravenosa (IV) también puede caracterizar la composición de las lesiones y ha demostrado ser precisa en la medición del área de la pared vascular.<sup>105</sup> Sin embargo, aunque ha habido mejoras significativas para disminuir el tiempo de escaneo y mejorar la resolución, el costo asociado, el tiempo de exploración y la presencia de artefactos de movimiento significativos hasta ahora han limitado la efectividad de la IRM IV.<sup>106,107</sup> Muchos estudios que evaluaron la eficacia de la TCO encontraron que es precisa y beneficiosa para caracterizar los componentes de la placa en arterias pequeñas, tales como arterias coronarias e infrapoplíteas, ya que tiene una resolución espacial significativamente mejor que otras modalidades de imágenes intraoperatorias.<sup>108</sup> Sin embargo, la TCO no tiene profundidad de penetración, pequeño campo de visión, el uso de contraste y el hecho de que requiere extracción de sangre del vaso en el tiempo de imagen disminuye su utilidad con el aumento del tamaño del vaso.<sup>109-111</sup> En general, por su facilidad de uso y una mayor profundidad de penetración, se recomienda el USIV para mediciones e identificación de lesiones en tratamientos aórticos y periféricos.

### Limitaciones y riesgos del ultrasonido intravascular

Aunque los riesgos asociados con el uso de USIV son mínimos, el USIV requiere un procedimiento invasivo y por lo tanto conlleva el riesgo de sangrado o coagulación en el área de inserción del catéter y

posible daño a los vasos sanguíneos. Sin embargo, dado que el USIV a menudo se realiza junto con otros procedimientos invasivos, su uso agrega poco riesgo adicional. Se informa que ocurren complicaciones graves en menos de 0,5 % de los procedimientos y generalmente ocurren durante la intervención quirúrgica.<sup>112</sup> De manera similar, el uso de USIV sí agrega un costo adicional a un procedimiento, con una implementación básica del sistema de 70.000 US\$ a 120.000 US\$ y un costo por paciente de alrededor de 600 US\$ por una punta de catéter desechable.<sup>113</sup> Sin embargo, los estudios de los resultados clínicos a largo plazo del uso del USIV sugieren que la disminución del número de complicaciones postoperatorias y la menor necesidad de reintervención pueden compensar estos costos.<sup>114-116</sup>

Otra limitación del USIV es la calidad de las imágenes. Un estudio de 2014 de USIV, TCO e IRM IV comparó las tres modalidades de imágenes y encontró una calidad de imagen comparativamente inferior con USIV, con bajas relaciones señal-ruido y artefactos e interferencias significativas.<sup>117</sup> Los sistemas de ultrasonido normales tienen tasas de cuadros entre 50 y 750 cuadros por segundo, mientras que los sistemas USIV actuales se ejecutan a aproximadamente 30 cuadros por segundo, lo que representa una diferencia en la calidad de la imagen, una queja común de los médicos vasculares que usan USIV. La calidad y la utilidad de las imágenes de USIV también depende del usuario. La selección apropiada de catéter y frecuencia es clave, pero otras configuraciones del sistema como ganancia, compresión y rechazo (específicas de ciertos escáneres mecánicos), promediación del tiempo y persistencia, y curvas gamma también deben ajustarse adecuadamente para reducir los artefactos de imagen y disminuir el ruido mientras se asegura que los objetivos no se vean borrosos u oscurecidos y que no se introduzcan mediciones inexactas.<sup>118</sup> Los médicos que utilizan USIV deben reconocer las potenciales dificultades para interpretar imágenes, estar al tanto de los artefactos de campo cercano y de movimiento, así como los artefactos creados por la posición del transductor, teniendo en cuenta la oblicuidad del catéter y la curvatura del vaso así como los artefactos dependientes del ángulo que pueden crearse por la excentricidad del catéter.<sup>119,120</sup> Se debe contar con soporte técnico y deben establecerse estándares y protocolos para garantizar que el uso del USIV sea lo más eficaz y eficiente posible.

## AVANCES FUTUROS

En el futuro, los avances tecnológicos pueden superar algunas de las limitaciones del USIV, permitiendo imágenes mejoradas y facilidad de uso. Actualmente, USIV crea imágenes con cortes axiales a 90 grados con respecto a la sonda, lo que limita su utilidad para guiar los cables a través de oclusiones totales crónicas. Los avances recientes en la tecnología para superar esta limitación incluyen el desarrollo de un sistema de imagen de un solo chip de visión hacia adelante creado por la integración de un ordenamiento de transductores ultrasónicos micromecanizados capacitivos con dispositivos electrónicos frontales.<sup>121-123</sup>

Este tipo de ordenamiento también puede permitir el uso del USIV en cables guías, simplificando así los procedimientos al eliminar la necesidad de catéteres separados.<sup>124,125</sup> La identificación y caracterización de placas con USIV también puede estar mejorando. Actualmente se está llevando a cabo el ensayo PROSPECT II para evaluar la eficacia de un catéter cardíaco que combina USIV con EGIC para ayudar a identificar y caracterizar las placas coronarias vulnerables ricas en lípidos.<sup>126</sup> Se ha demostrado que EGIC es más preciso que USIV para caracterizar placas blandas, por lo que la combinación con USIV contribuye a la caracterización precisa de placas vulnerables al proporcionar información precisa sobre la morfología de la lesión.<sup>127-129</sup> Tecnologías combinadas, como sistemas que integran FFR o EGIC con USIV, junto con otros tipos de tecnología que integran USIV con tratamientos como la angioplastia o ablación, pueden ser los desarrollos más prometedores para USIV en los próximos años.<sup>130</sup>

## REFERENCIAS CLAVE SELECCIONADAS

Diethrich EB, Margolis MP, Reid DB, et al. Virtual histology intravascular ultrasound assessment of carotid artery disease: the Carotid Artery Plaque Virtual Histology Evaluation (CAPITAL) study. *J Endovasc Ther.* 2007;14(5):676-686.

*En el estudio CAPITAL, USIV HV se comparó con la verdadera histopatología de la placa carotídea, lo que confirma que USIV HV diagnóstica con precisión diferentes tipos de placa en las arterias carótidas.*

Azizzadeh A, Valdes J, Miller CC, et al. The utility of intravascular ultrasound compared to angiography in the diagnosis of blunt traumatic aortic injury. *J Vasc Surg.* 2011;53(3):608-614.

*Cuando se necesitaron imágenes adicionales para evaluar la lesión traumática cerrada después de la TC inicial, se encontró que el USIV era más sensible y precisa que la angiografía.*

Roleder T, Wojakowski W. Intravascular ultrasound, optical coherence tomography and near infrared spectroscopy. *Cor Vasa.* 2015;57(6):e439-e445.

*Beneficios comparativos y limitaciones de diferentes opciones de imágenes intraoperatorias.*

Buckley CJ, Arko FR, Lee S, et al. Intravascular ultrasound scanning improves long-term patency of iliac lesions treated with balloon angioplasty and primary stenting. *J Vasc Surg.* 2002;35(2):316-323.

*Una revisión retrospectiva de pacientes sometidos a angioplastia con balón y colocación de stent para la enfermedad oclusiva aortoiliaca encontró que el USIV mejoró significativamente la patencia a largo plazo.*

Raney AR, Stinis CT. Use of intravascular ultrasound to guide endovascular repair of popliteal artery aneurysms. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015;86(3):476-479.

*El USIV se asoció con excelentes resultados y se consideró útil en el tratamiento de los aneurismas de la arteria poplítea.*

Vea una lista completa de referencias en <https://www.amolca.com/>

# Otros títulos de su interés



## CIRUGÍA VASCULAR

