

Detección de endofugas con ultrasonido ecopotenciado en el seguimiento post-EVAR

Endoleak detection with contrast-enhanced ultrasound in post-EVAR follow-up

Julio López-Martínez^{1*}, Manuel A. Cal-y-Mayor², Marlon E. Lacayo-Valenzuela¹, Miguel A. Sierra-Juárez¹, Luis M. Burgos¹, Alejandra Carmona-Ospina² y Claudia Vázquez-Veloza²

¹Servicio de Angiología, Cirugía Vascular y Endovascular; ²Servicio de Radiología Diagnóstica y Terapéutica. Hospital General de México Dr. Eduardo Liceaga, Ciudad de México, México

Resumen

La reparación endovascular del aneurisma de aorta abdominal representa el 85% de todos los procedimientos para lesiones aneurismáticas en la aorta abdominal y se asocia con menor mortalidad y morbilidad perioperatorias, 1.2 y 11.7% respectivamente, en comparación con la reparación abierta, 4.6 y 26.4% respectivamente. Sin embargo, a largo plazo se asocia a mayor riesgo de reintervención y complicaciones, como migración, endofugas, acodamiento y trombosis. Por esta razón, es necesario un seguimiento estricto y seriado para evaluar la permeabilidad de la endoprótesis y la presencia de endofugas. La Sociedad Americana de Cirugía Vascular recomienda el seguimiento de estos pacientes con angiotomografía computarizada seriada, esto aumenta la exposición a altas dosis de radiación y contraste yodado. El ultrasonido Doppler es una herramienta segura, pero poco eficaz para asegurar el adecuado seguimiento de estos pacientes. En los últimos años, el desarrollo de microburbujas aplicadas como medio de contraste ecográfico nos brinda una herramienta que permite realizar un análisis poco invasivo, en tiempo real, dinámico, altamente sensible y específico, sin uso de contraste yodado ni radiación ionizante para la identificación y caracterización de endofugas. La siguiente revisión tiene como objetivo describir los principios ecográficos del ultrasonido contrastado, su utilidad clínica y el protocolo de evaluación en aquellos pacientes en seguimiento postoperatorio de reparación endovascular de aneurisma de aorta.

Palabras clave: Ultrasonido contrastado. Endofuga. Aneurisma. Aorta.

Abstract

Endovascular abdominal aortic aneurysm repair (EVAR) accounts for 85% of all procedures for aneurysmal lesions in the abdominal aorta and is associated with lower perioperative mortality and morbidity, 1.2 and 11.7% respectively, compared with open repair; 4.6 and 26.4% respectively. However, in the long term, it is associated with a higher risk of reintervention and complications, such as migration, endoleaks, kinking and thrombosis. For this reason, strict and serial follow-up is necessary to evaluate the patency of the endoprosthesis and the presence of endoleaks. The Society for Vascular Surgery recommends monitoring these patients with serial computed tomography angiogram, which increases exposure to high doses of radiation and iodinated contrast. Doppler ultrasound is a safe but ineffective tool to ensure adequate surveillance of these

***Correspondencia:**

Julio López-Martínez
E-mail: julio.lpmz@gmail.com

Fecha de recepción: 02-02-2024

Fecha de aceptación: 25-08-2024

DOI: 10.24875/RMA.24000009

Disponible en internet: 15-11-2024

Rev Mex Angiol. 2024;52(4):137-144

www.RMAngiologia.com

0377-4740/© 2024 Sociedad Mexicana de Angiología y Cirugía Vascular y Endovascular, A.C. Publicado por Permanyer. Este es un artículo *open access* bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

patients. In recent years, the development of microbubbles applied as an ultrasound contrast medium provides us with a tool that allows us to perform a non-invasive, real-time, dynamic, highly sensitive and specific flow analysis, without the use of iodinated contrast or ionizing radiation for identification and characterization of endoleaks. The following review aims to describe the ultrasound principles of contrast-enhanced ultrasound, its clinical applications and the evaluation protocol for surveillance in EVAR patients.

Keywords: Contrasted ultrasound. Endoleak. Aneurysm. Aorta.

Introducción

Se define como aneurisma de aorta abdominal (AAA) a la dilatación anormal, mayor a 1.5 veces el diámetro aórtico esperado o ≥ 30 mm en su diámetro máximo, que involucra las tres capas que la comprenden (íntima, media y adventicia)^{1,2}. La ruptura del AAA es su complicación más grave, se asocia a una mortalidad entre 32-70% y esta puede ascender hasta un 90% si incluimos la mortalidad prehospitalaria²⁻⁴. El riesgo de ruptura se asocia directamente con el diámetro máximo del aneurisma; un diámetro máximo entre 50-59 mm alcanza un riesgo de ruptura al año del 9%, superando de manera significativa al riesgo de mortalidad perioperatoria de la reparación endovascular y abierta que es del 1.2 y 4.6% respectivamente, por consiguiente, en pacientes con un diámetro máximo del AAA ≥ 55 mm, con aceptable riesgo quirúrgico, la reparación profiláctica del AAA se considera una intervención segura y eficaz que mejora la sobrevida del paciente a largo plazo⁵⁻⁷.

En las últimas décadas, la reparación endovascular ha desplazado a la reparación abierta como la principal opción de tratamiento, actualmente representa el 85% de todas las reparaciones de AAA realizadas en Norteamérica, se asocia a una menor tasa de mortalidad y morbilidad perioperatoria a 30 días, 1.2 y 11.7% respectivamente, en comparación con la reparación abierta, con una tasa de mortalidad y morbilidad del 4.6 y 26.4% respectivamente^{6,7}. Se asocia con una menor tasa de complicaciones perioperatorias en comparación con la reparación abierta y estas dependen de las características anatómicas del aneurisma y del riesgo quirúrgico de cada paciente. En general, la terapia endovascular se asocia a una tasa de mortalidad perioperatoria por complicaciones cardiopulmonares del 3% a seis meses, en comparación con el 5% en reparación abierta y un riesgo de complicaciones pulmonares del 3.5% con requerimiento de ventilación mecánica posquirúrgica^{8,9}.

Aunque la tasa de éxito técnico inmediato es cercana al 100%, a largo plazo, el comportamiento y sellado de la endoprótesis es un fenómeno dinámico, que varía

con el tiempo¹⁰. Como resultado, a largo plazo se asocia con un mayor riesgo de complicaciones tardías, reintervención y mortalidad tardía asociada al aneurisma. Las principales complicaciones asociadas a la endoprótesis son: ateroembolia 0.5%, isquemia asociada a oclusión de las extensiones ilíacas 3.5%, usualmente causada por trombosis y/o acodamiento de las extensiones ilíacas (*kinking*) y endofuga, esta última es la complicación más frecuente con una incidencia del 20% a cinco años y que es la causa del 75-80% de todas las reintervenciones y principal causa de ruptura tardía¹¹⁻¹³. El desarrollo de nuevas endoprótesis ha disminuido la tasa de complicaciones asociadas a la endoprótesis y, por ende, ha aumentado la sobrevida libre de reintervención en las últimas décadas, pasando de un 68% a cinco años entre 1998-2008 a un 81% a cinco años en reparaciones realizadas posterior al año 2008; sin embargo, estas complicaciones continúan siendo una causa frecuente de morbilidad y mortalidad¹⁴.

Como resultado, es imperativo un seguimiento estricto y seriado de los pacientes sometidos a reparación endovascular de AAA para detectar de manera temprana cualquiera de las complicaciones asociadas a la endoprótesis. La Sociedad Americana de Cirugía Vascular recomienda el seguimiento con angiotomografía computarizada (ATC) de todos los pacientes sometidos a reparación endovascular del aneurisma de aorta abdominal (EVAR) al mes, a los seis meses y posteriormente al año, y repetir cada año hasta completar cinco años. No obstante, esta modalidad de seguimiento lleva potenciales riesgos por exposición repetida a radiación y un alto riesgo de nefrotoxicidad por contraste yodado².

Clasificación de las endofugas

Se define endofuga como la persistencia de flujo sanguíneo por fuera de la endoprótesis aórtica y dentro del saco aneurismático. Es la complicación más frecuente, puede estar presente en un 20-50% de todas las reparaciones endovasculares y la que se asocia a una mayor tasa de reintervenciones¹⁵. Las endofugas se clasifican en cinco tipos diferentes (Fig. 1):

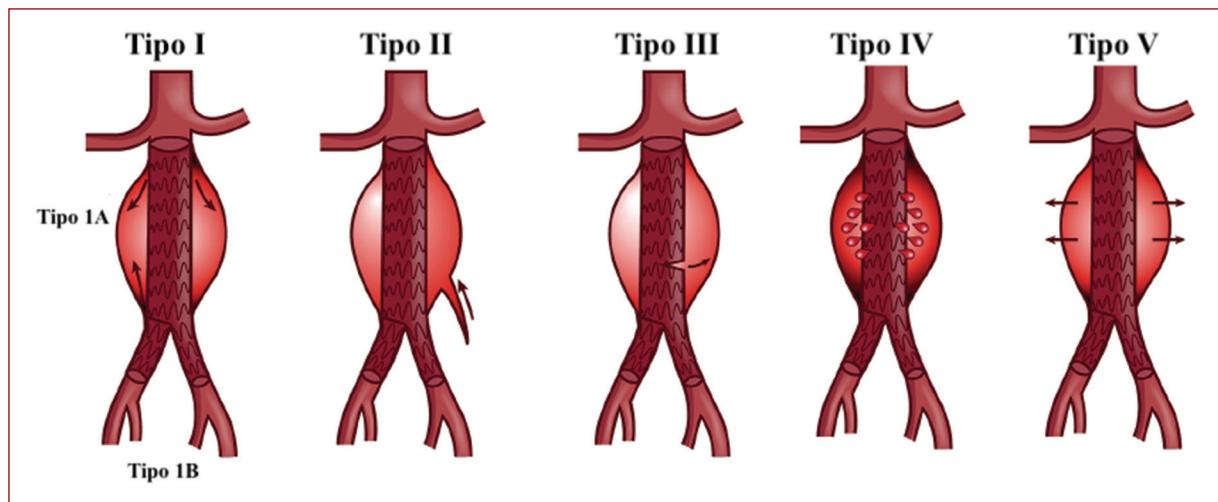


Figura 1. Clasificación de endofugas.

- **Tipo I.** Se define como la persistencia de flujo sanguíneo a través del sitio de fijación de la endoprótesis y la pared arterial. Su incidencia anual es del 8% y representa el 12% de todas las endofugas, con un riesgo de ruptura del 4-7.5% a dos años¹⁶. Se subdividen en A o B:
 - **Tipo IA.** El defecto de sellado se encuentra entre el sitio de fijación proximal de la endoprótesis y la pared aórtica.
 - **Tipo IB.** El defecto de sellado se encuentra entre el sitio de fijación distal de una extensión ilíaca y la pared arterial ilíaca.
- **Tipo II.** Se define como el llenado persistente del saco aneurismático, a través de un vaso colateral, como una arteria lumbar o la arteria mesentérica inferior. Es el tipo de endofuga más habitual, con una incidencia aproximada del 34% (18% autolimitadas, 5% persistentes, 11% de novo)¹⁷.
- **Tipo III.** Se define como la presencia de flujo periprostético a partir de la separación de alguno de los módulos que conforman la endoprótesis o de un defecto en la integridad de la prótesis. Este tipo de endofugas ha experimentado una reducción de hasta el 1% en su prevalencia con el desarrollo de las nuevas generaciones de endoprótesis, sin embargo conllevan un riesgo de ruptura aneurismática del 8-9% y se recomienda su resolución temprana a su identificación¹⁸.
- **Tipo IV.** Se define como el paso de sangre hacia el saco aneurismático debido a la porosidad de la endoprótesis. Su presencia es rara, debido al desarrollo tecnológico de nuevas endoprótesis y no se asocia a una ruptura aneurismática¹⁶.

La endotensión se define como el crecimiento del saco sin la presencia identificable de una endofuga, su prevalencia es menor del 5% y su riesgo de ruptura a cuatro años es menor del 1%¹⁹.

Ultrasonido ecopotenciado

La obtención de imágenes generadas por ultrasonido se basa en la recepción, análisis y la visualización de señales acústicas producidas por la reflexión y retrodispersión del sonido. El método de análisis Doppler permite evaluar la dirección y velocidad del flujo sanguíneo, sin embargo esta modalidad de análisis no permite evaluar la microcirculación o el flujo sanguíneo de muy baja amplitud²⁰. El desarrollo tecnológico de microburbujas ha provisto de nuevas herramientas diagnósticas y conocimientos únicos en la fisiología microvascular que no serían posibles con otras modalidades diagnósticas. Su utilidad como contraste ecográfico se basa principalmente en su compresibilidad. Estas microburbujas se encuentran compuestas de una capa lipídica, llenas de gas, las cuales sufren oscilaciones volumétricas al ser sometidas a un campo acústico, como consecuencia se comprimen y se expanden en relación con los cambios de presión acústica (Fig. 2). Esta oscilación genera intensas señales acústicas, fenómeno conocido como resonancia acústica. El diámetro de las burbujas varía entre 1 y 10 µm, tamaño similar al de un eritrocito, lo que les permite penetrar en la microvasculatura, el endotelio y el intersticio^{20,21}.

En nuestro medio, contamos con el agente de contraste ecográfico SonoVue (Bracco, Milán, Italia). Está

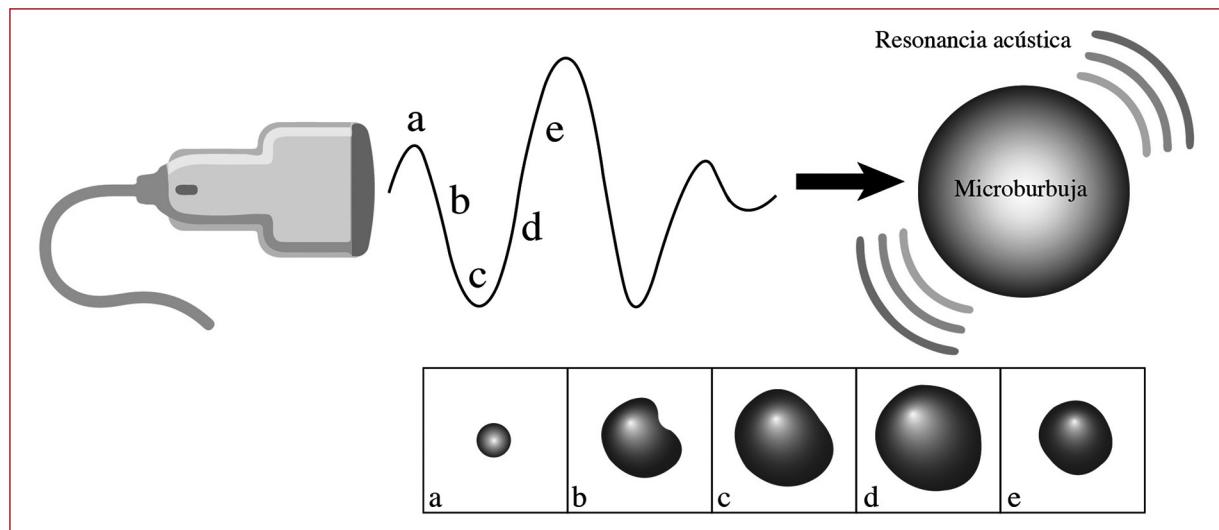


Figura 2. Estimulación acústica sobre una microburbuja sometida a energía ultrasónica, dando como consecuencia un fenómeno de resonancia acústica.

Tabla 1. Comparación de sensibilidad y especificidad entre USD, ATC y USC

	Endofuga (general)	Endofuga tipo I	Endofuga tipo II	Endofuga tipo III
Sensibilidad				
USD	63%	72%	34%	72%
USC	94%	97%	81%	97%
ATC	88%	93%	70%	93%
Especificidad				
USD	98%	97%	99%	98%
USC	94%	97%	98.9%	100%
ATC	97%	96%	97%	97%

ATC: angiotomografía computarizada; USC: ultrasonido mejorado con contraste; USD: ultrasonido Doppler.

compuesto de microburbujas llenas de hexafluoruro de azufre con una cubierta de características lipídicas. Su eliminación es pulmonar y no tiene efectos sobre la función renal, los efectos secundarios más comunes son cefalea y náuseas. Las reacciones de hipersensibilidad son extraordinariamente raras, con una incidencia de 1/10,000²². Su aplicación en nuestro medio se enfoca, principalmente, al campo de la ecocardiografía y la caracterización de tumoraciones hepáticas, su uso en el seguimiento de pacientes sometidos a reparación endovascular de AAA es escaso^{23,24}.

Aunque el uso de USC como herramienta auxiliar en el seguimiento de pacientes sometidos a reparación endovascular de AAA se describió desde 1997, no fue sino hasta la última década que contamos con la evidencia suficiente para comparar con mayor exactitud, los resultados del ultrasonido mejorado con contraste (USC) y la ATC para identificar endofugas en

el seguimiento de pacientes sometidos a reparación endovascular²⁵.

Una revisión sistemática que incluyó 27 estudios, con un total de 2,217 pacientes, identificó que en pacientes sometidos a EVAR el seguimiento de pacientes con USC demostró ser altamente preciso para la detección de cualquier tipo de endofuga, con una sensibilidad acumulada de 0.94 (intervalo de confianza [IC]: 0.89-0.97) y una especificidad acumulada de 0.93 (IC: 0.89-0.96), con un área bajo la curva de 0.98. En el subanálisis para identificar endofugas tipo I y III, demostró una sensibilidad de 0.97 (IC: 0.8-1.0), especificidad de 1.00 (IC: 0.99-1.00) y un área bajo la curva de 1.00²⁶ (Tabla 1).

Johnsen et al. llevaron a cabo estudio diagnóstico comparativo con 92 pacientes, comparando ATC y USC; este último reporta una sensibilidad del 81.3%, una especificidad acumulada de 98%, con un valor predictivo

positivo del 95% y valor predictivo negativo del 95%, así como coeficiente kappa de 0.84 interobservador para identificar endofugas tipo II. En el subanálisis se identificó un aumento de los falsos negativos asociados directamente con el índice de masa corporal (IMC), ya que el 55% de los falsos negativos reportados por el USC se asociaban a un IMC > 29, lo que limitaría su uso en pacientes con obesidad. No obstante, ninguno de los pacientes con resultado falso negativo en USC presentó aumento del diámetro del aneurisma ni requirió una reintervención en el seguimiento, lo que significa que el USC fue altamente efectivo en detectar aquellas endofugas tipo II clínicamente significativas²⁷.

En 2017 Lowe et al. realizaron un estudio comparativo del uso de ATC, USC y USC con reconstrucción en tres dimensiones (USC-3D), en 100 pacientes en seguimiento post-EVAR, sin identificar diferencias significativas entre USC y USC-3D para su identificación, con una sensibilidad del 96%, especificidad 91%, valor predictivo positivo del 90%, valor predictivo negativo del 96% en comparación con la ATC. Con un coeficiente kappa de 0.89 a la aplicación del USC-3D, lo que permitió caracterizar mejor la endofuga²⁸.

El desarrollo de nuevos agentes de contraste eco-gráfico, así como un mejoramiento en los equipos y el software de sustracción para la obtención de mejores imágenes y una mejoría en la curva de aprendizaje del operador, con al menos 20 estudios de USC, ha mejorado los resultados a favor del USC²⁸.

Actualmente, la ATC es el estudio de elección en la vigilancia y el seguimiento de pacientes post-EVAR, con una sensibilidad del 88% y una especificidad del 97% para la detección de endofugas^{26,29}. Sin embargo, su uso se asocia con un aumento en el riesgo de cáncer inducido por radiación y nefropatía inducida por contraste, situaciones que vale la pena considerar al realizar el seguimiento de estos pacientes³⁰. Otra situación que surge en la identificación de endofugas es la determinación de la dirección del flujo, lo cual resulta relevante, especialmente en las endofugas tipo II, al momento de planear su tratamiento. Estas consideraciones deberán ser tomadas en cuenta al momento de seguir y vigilar a los pacientes post-EVAR (**Tabla 2**).

Protocolo de evaluación por ultrasonido

Pacientes con al menos ocho horas de ayuno de alimentos sólidos, con IMC < 29, así como integridad de la pared abdominal. Se utiliza un equipo ACUSON Sequoia (Siemens, Múnich, Alemania), mediante el uso de un transductor convexo de 2-5 MHz, se lleva a cabo

Tabla 2. Ventajas y limitaciones del USC

Ventajas del uso de USC
No radiación
Bajo costo
No utiliza componentes yodados
Ánálisis del flujo en tiempo real
Limitaciones en el uso de USC
Pacientes obesos (IMC > 29)
Calcificación extensa de la pared
Enfisema subcutáneo
Gas intestinal
Ascitis
Abdomen abierto

USC: ultrasonido mejorado con contraste; IMC: índice de masa corporal.

el análisis en escala de grises, Doppler color, Doppler pulsado y ecopotenciado, respectivamente, como se describe a continuación.

Análisis en modo B y escala de grises

- Se evalúa la aorta abdominal, arterias renales, tronco celíaco, arteria mesentérica superior, arteria mesentérica inferior y arterias ilíacas.
- Evaluar y documentar la posición de los sitios de anclaje proximal, distal.
- Evaluación del saco aneurismático en el eje axial y sagital, así como la medición del diámetro máximo del saco. La medición del eje axial se deberá realizar en relación con el eje del aneurisma y no con el eje del cuerpo del paciente (**Fig. 3**).

Análisis en Doppler color y espectral

- Análisis en color y espectral de la totalidad de la endoprótesis y sus extensiones que demuestre su permeabilidad.
- Búsqueda de flujo turbulento en tortuosidades y/o acodamiento en ramas y extensiones ilíacas.
- Evaluación de los sitios de fijación proximal y distal para identificar la presencia de flujo por fuera de la luz de la endoprótesis, así como de sus extensiones.
- Evaluar la permeabilidad y flujo de las arterias renales, mesentérica superior y tronco celíaco.
- Evaluar la permeabilidad de las ramas arteriales del saco aneurismático (arterias lumbares, arteria

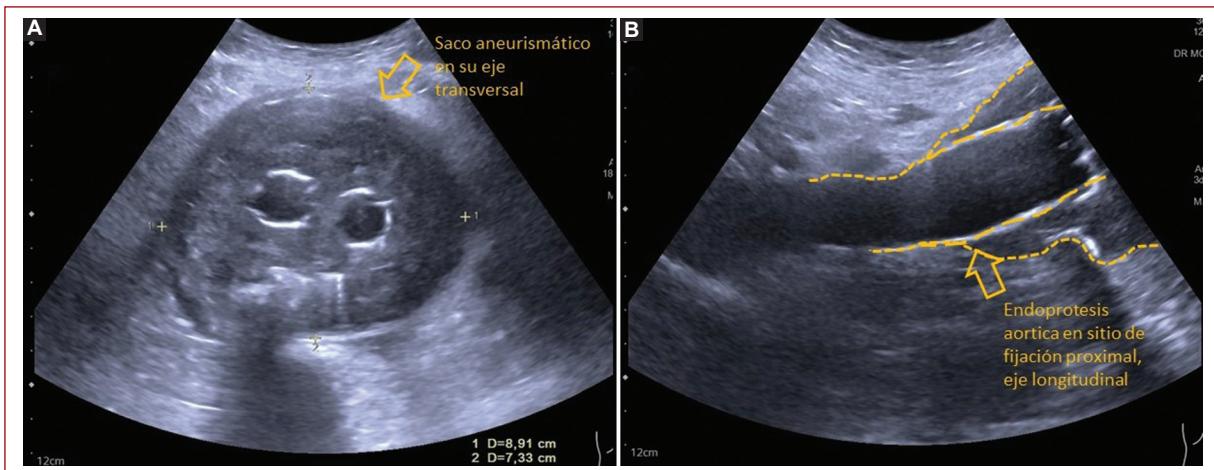


Figura 3. Evaluación en escala de grises. **A:** medición del diámetro máximo del saco aneurismático en su eje transverso. **B:** evaluación de la endoprótesis en sus sitios de fijación proximal.

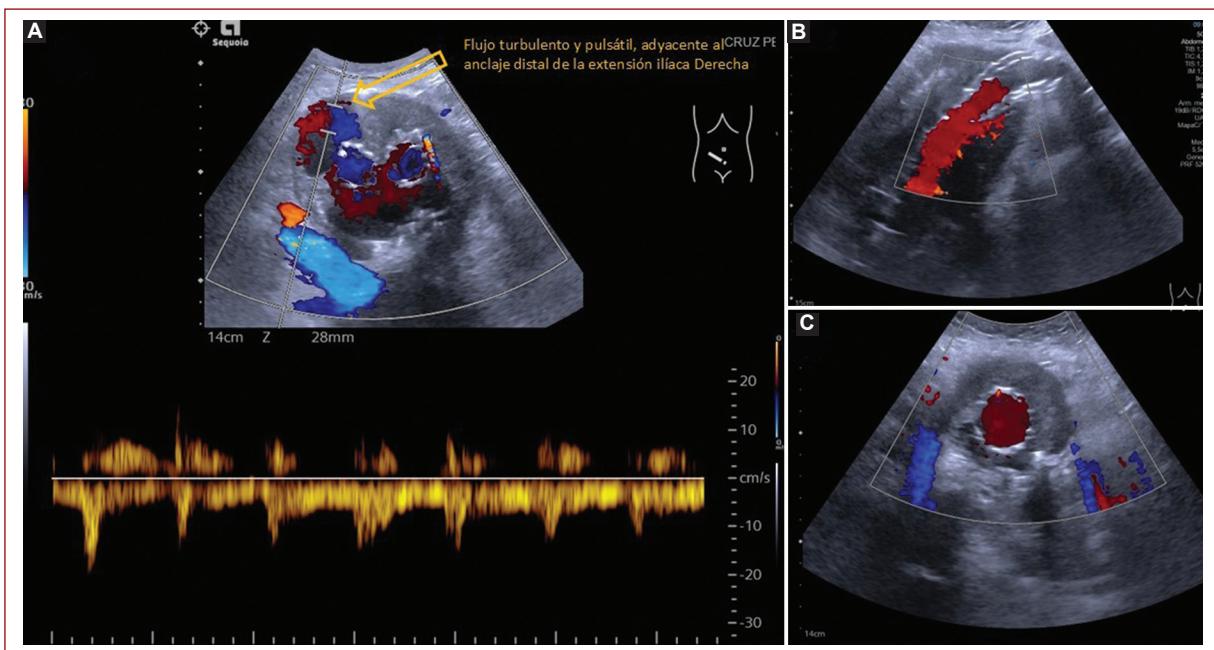


Figura 4. Evaluación en modo Doppler color. **A:** flujo pulsátil, de características turbulentas (flecha amarilla) por fuera de la endoprótesis. **B:** permeabilidad de la endoprótesis en todo su trayecto. **C:** endoprótesis permeable en el módulo principal.

mesentérica inferior), así como la dirección del flujo de cada una de las ramas (**Fig. 4**).

Análisis con ultrasonido ecopotenciado por contraste de alta definición

- Con el uso de software para adquisición de imágenes con contraste ecográfico VA25 (Siemens, Múnich, Alemania).

- En una vena periférica (cefálica o mediana), con un catéter 18 G, se inyectan 2.5 ml de contraste (SonoVue 8), seguido de un bolo de 20 cc de solución de salina al 0.09%. Se realiza análisis en tiempo real, cronometrado (**Fig. 5**).
- Se evalúa sitio de anclaje proximal, así como anclaje distal de las extensiones ilíacas.
- El tiempo de aparición de burbujas de contraste en el saco aneurismático, < 10 s es indicativo de endofuga

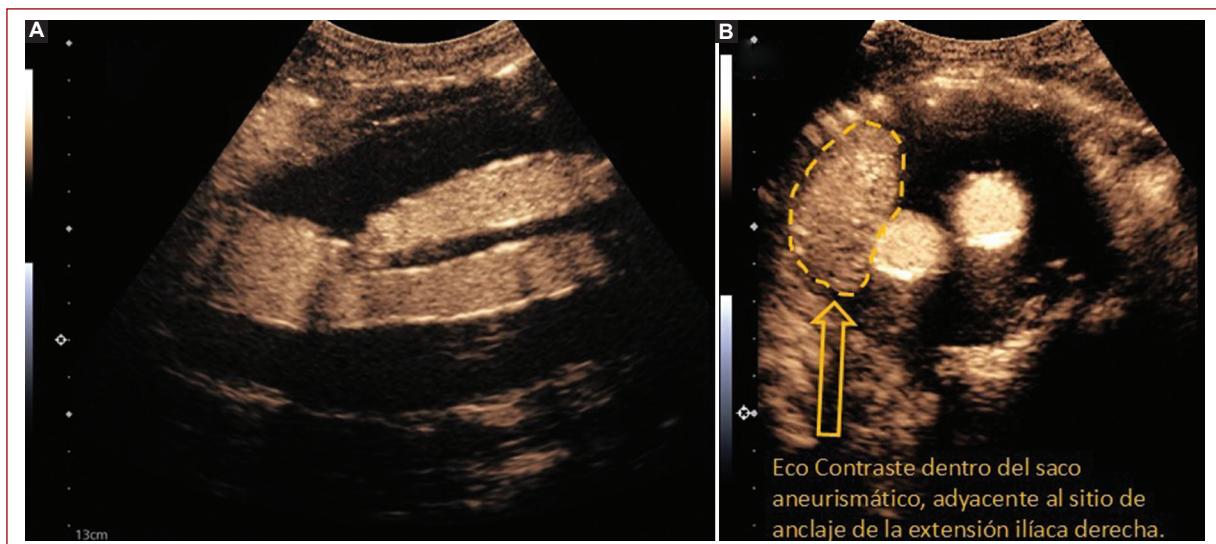


Figura 5. Evaluación de ultrasonido contrastado. **A:** aplicación de microburbujas, como contraste, el sitio de fijación proximal sin datos de endofugas tempranas ni tardías. **B:** endofuga tipo IB (flecha amarilla), de realce temprano (< 5 s) adyacente a la extensión ilíaca derecha.

Tabla 3. Características de las endofugas a la aplicación de ultrasonido contrastado

Tipo de endofuga	Tiempo que tarda en visualizarse la endofuga	Dirección del contraste dentro del saco	Localización de la endofuga
Tipo 1	Rápida (< 5 s)	Centrífuga	Adyacente al sitio de anclaje con endofuga
Tipo 2	Tardía (> 10 s)	Centrípeta	Anterior: AMI Posterior: Lumbar
Tipo 3	Rápida (< 5 s)	Centrífuga	Sitio de ensamble entre componentes

AMI: arteria mesentérica inferior.

Adaptada de Cruz et al., 2021³¹.

I o III; en cambio, un tiempo > 15 s es indicativo de endofuga tipo II. Respecto a la dirección del flujo: centrípeta es sugestivo de endofuga tipo II, centrífugo es sugestivo de endofuga tipo I o III (**Tabla 3**).

En caso de identificar endofugas, estas se deberán caracterizar según los criterios descritos en la **figura 1**.

Conclusiones

El uso del ultrasonido mejorado por contraste para el seguimiento de pacientes sometidos a reparación endovascular de AAA se ha popularizado en los últimos años, principalmente en países desarrollados, debido a que ofrece un análisis en tiempo real, rápido, seguro y altamente eficaz en la detección y caracterización de endofugas. Sin olvidar que se trata de un estudio operador dependiente, la mejoría en la tecnología involucrada y con personal capacitado, es posible

llevar a cabo un adecuado seguimiento postoperatorio en estos pacientes y presenta una buena concordancia interobservador sin necesidad de requerir una ATC. En prácticamente todas las series, su sensibilidad es mayor del 90% para la detección de cualquier tipo de endofuga, aunque esta se puede ver afectada en pacientes obesos (IMC > 29). En México es necesario llevar a cabo una mayor difusión y entrenamiento en esta modalidad de imagen que nos permitan ofrecer una opción más segura para el seguimiento de los pacientes sometidos a reparación endovascular de aneurisma de aorta.

Financiamiento

La presente investigación no ha recibido ninguna beca específica de agencias de los sectores públicos, comercial o con ánimo de lucro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo

Uso de inteligencia artificial para generar textos.

Los autores declaran que no han utilizado algún tipo de inteligencia artificial generativa en la redacción de este manuscrito ni para la creación de figuras, gráficos, tablas o sus correspondientes pies o leyendas.

Bibliografía

1. Johnston KW, Rutherford RB, Tilson MD, Shah DM, Hollier L, Stanley JC. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. *J Vasc Surg.* 1991;13(3):452-8.
2. Chaikof EL, Dalman RL, Eskandari MK, Jackson BM, Lee WA, Mansour MA, et al. The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg.* 2018;67(1):2-77.e2.
3. Noel AA, Głowiczki P, Cherry KJ Jr, Bower TC, Panneton JM, Mozes GI, et al. Ruptured abdominal aortic aneurysms: the excessive mortality rate of conventional repair. *J Vasc Surg.* 2001;34(1):41-6.
4. Acher C, Acher CW, Castello Ramirez MC, Wynn M. Operative mortality and morbidity in ruptured abdominal aortic aneurysms in the endovascular age. *Ann Vasc Surg.* 2020;66:70-6.
5. Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, Chute EP, Hye RJ, Makaroun MS, et al. The aneurysm detection and management study screening program: validation cohort and final results. Aneurysm Detection and Management Veterans Affairs Cooperative Study Investigators. *Arch Intern Med.* 2000;160(10):1425-30.
6. Prinsen M, Buskens E, Blankenstein JD. The Dutch Randomised Endovascular Aneurysm Management (DREAM) trial. Background, design and methods. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 2002;43(3):379-84.
7. Dansey KD, Verkevisser RRB, Swerdlow NJ, Li C, de Guerre LEVM, Liang P, et al. Epidemiology of endovascular and open repair for abdominal aortic aneurysms in the United States from 2004 to 2015 and implications for screening. *J Vasc Surg.* 2021;74(2):414-24.
8. The United Kingdom EVAR investigators. Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurism. *N Engl J Med.* 2010;362 (20):1863-71.
9. Dutch Randomized Endovascular Aneurysm Management (DREAM) Trial Group. A randomized trial comparing conventional and endovascular repair of abdominal aortic aneurysms. *N Engl J Med.* 2004;351(16):1607-18.
10. Argani LP, Torella F, Fisher RK, McWilliams RG, Wall ML, Movchan AB. Deformation and dynamic response of abdominal aortic aneurysm sealing. *Sci Rep.* 2017;7(1):17712.
11. Coelho A, Nogueira C, Lobo M, Gouveia R, Campos J, Augusto R, et al. Impact of post-EVAR graft limb kinking in EVAR limb occlusion: aetiology, early diagnosis, and management. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2019; 58(5):681-9.
12. Soliman H, Elkorety M, Abouelazayem M, Girish G. Short-term re-intervention of endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Cureus.* 2021;13(8):e16810.
13. Fairman AS, Wang GJ, Jackson BM, Foley PJ, Damrauer SM, Kalapatapu V, et al. Characterization and outcomes of reinterventions in Food and Drug Administration-approved versus trial endovascular aneurysm repair devices. *J Vasc Surg.* 2018;67(4):1082-90.
14. Wanken ZJ, Barnes JA, Trooboff SW, Columbo JA, Jella TK, Kim DJ, et al. A systematic review and meta-analysis of long-term reintervention after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2020; 72(3):1122-31.
15. Resch T, Dias N. Treatment of endoleaks: techniques and outcome. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 2012;53(1 Suppl 1):91-9.
16. Cifuentes S, Mendes BC, Tabiei A, Scali ST, Oderich GS, DeMartino RR. Management of endoleaks after elective infrarenal aortic endovascular aneurysm repair: A review. *JAMA Surg.* 2023;158(9):965-73.
17. Akmal MM, Pabitel DR, Prapassaro T, Suhartono R, Moll FL, van Herwaarden JA. A systematic review of the current status of interventions for type II endoleak after EVAR for abdominal aortic aneurysms. *Int J Surg.* 2021;95(106138):106138.
18. Maleux G, Poorteman L, Laenen A, Saint-Lèbes B, Houthoofd S, Fournier I, et al. Incidence, etiology, and management of type III endoleak after endovascular aortic repair. *J Vasc Surg.* 2017;66(4):1056-64.
19. Torres-Blanco A, Miralles-Hernández M. Endotension: twenty years of a controversial term. *CVIR Endovasc.* 2021;4(1):46.
20. Lindner JR. Microbubbles in medical imaging: current applications and future directions. *Nat Rev Drug Discov.* 2004;3(6):527-32.
21. Zhang Q, Liang X, Zhang Y, Nie H, Chen Z. A review of contrast-enhanced ultrasound using SonoVue® and Sonazoid™ in non-hepatic organs. *Eur J Radiol.* 2023;167:111060.
22. Filippone A, Kirchin MA, Monteith J, Storto ML, Spinazzi A. Safety of Lumason® (SonoVue®) in special populations and critically ill patients. *Front Cardiovasc Med.* 2023;10:1225654.
23. Baeza-Herrera LA, Hernández-Reyes JP, Lazcano-Díaz EA, Orihuela-Sandoval C, González-Ruiz FJ, Manzur-Sandoval D, et al. A contrast echocardiography-based protocol to rule out thrombus in Venous-Arterial ECMO: A proof of concept. *Echocardiography.* 2023; 40(3):299-302.
24. Gutiérrez de Velasco AR, Vega-López CA, Pérez-González AF, Paredes-Manjarrez C, Quiroz-Castro O. Ultrasonido contrastado con microburbujas para el diagnóstico no invasivo de hepatocarcinoma. *Acta Med.* 2022;18(1).
25. Heilberger P, Schunn C, Ritter W, Weber S, Raithel D. Postoperative color flow duplex scanning in aortic endografting. *J Endovasc Surg.* 1997; 4(3):262-71.
26. Kapetanios D, Kontopodis N, Mavridis D, McWilliams RG, Giannoukas AD, Antoniou GA. Meta-analysis of the accuracy of contrast-enhanced ultrasound for the detection of endoleak after endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2019;69(1):280-94.e6.
27. Johnsen L, Hisdal J, Jonung T, Braaten A, Pedersen G. Contrast-enhanced ultrasound detects type II endoleaks during follow-up for endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2020;72(6):1952-9.
28. Lowe C, Abbas A, Rogers S, Smith L, Ghosh J, McCollum C. Three-dimensional contrast-enhanced ultrasound improves endoleak detection and classification after endovascular aneurysm repair. *J Vasc Surg.* 2017;65(5):1453-9.
29. Abraha I, Luchetta ML, De Florio R, Cozzolino F, Casazza G, Duca P, et al. Ultrasonography for endoleak detection after endoluminal abdominal aortic aneurysm repair. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017; 6(6):CD010296.
30. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357(22):2277-84.
31. Cruz JC, McGillen KL, Pryor W, Esslinger D, Shin B. Novel use of contrast-enhanced ultrasound in the pretreatment planning prior to endovascular repair of endoleak after endovascular aortic aneurysm repair in a patient with chronic renal insufficiency: a case report and literature review. *J Med Ultrasound.* 2022;30(1):54-8.