

CURSO DE NEFROLOGÍA INTERVENCIONISTA

Ultrasonido de Riñón Nativo. Parte III Ultrasonido Doppler de vasos renales

Nordeval Cavalcante Araújo¹

1. Nefrólogo. Doctor en Ciencias, por el Curso de Postgrado en Fisiopatología Clínica y Experimental (CLINEX) de la Universidad del Estado de Río de Janeiro. Médico del Servicio de Nefrología, Hospital Universitario Pedro Ernesto de la Universidad del Estado de Río de Janeiro. Miembro del Comité de Nefrología Intervencionista de la Sociedad Internacional de Nefrología (ISN).

Arterias renales – Anatomía

Las arterias renales se originan de la aorta 1-1,5 cm por debajo de la emergencia de la arteria mesentérica superior. La arteria renal derecha emerge ligeramente más cranial en relación a la izquierda. Sin embargo, esta disposición no es constante. La arteria renal derecha, en cambio, se origina del borde anterolateral de la aorta que en un corte transversal corresponde a las 10-11 horas y se dirige al hilio renal por debajo de la vena cava inferior (**Figura 1**). La arteria renal izquierda se origina del borde lateroposterior de la aorta en el 52% de los casos,¹ correspondiente a las 4-5 horas y cursa posteriormente hasta el hilio renal izquierdo (**Figura 2**).

Casi un tercio de los riñones son irrigados por dos o más arterias que se originan directamente de la aorta abdominal (**Figura 3**). La arteria renal puede ser doble o presentar una arteria accesoria (polar) superior o inferior en relación a la arteria principal e irrigar uno de los polos del riñón. Las arterias accesorias pueden también originarse en la arteria iliaca común y comunicarse directamente con un polo del riñón sin pasar por el hilio, denominándose entonces arterias extrahiliares. Las arterias accesorias extrahiliares pueden originarse del tronco de la arteria renal ipsilateral, de la aorta u ocasionalmente de otras arterias del retroperitoneo.

Las arterias renales se dividen formando un ramo anterior y uno posterior. El ramo anterior se divide a su vez en cuatro arterias segmentarias que suplen el ápice de los segmentos superiores y medios de la superficie anterior y todo el polo inferior. El ramo posterior suple el resto del riñón. Ocasionalmente, puede existir un ramo adicional de este tronco, que puede suplir el ápice. Estas arterias segmentarias son arterias terminales, no existiendo anastomosis entre sus troncos en ningún nivel de su recorrido. Por lo tanto, la obstrucción de un vaso arterial lleva a isquemia e infarto del tejido renal en su área de irrigación.

Las arterias segmentarias se dividen a nivel del seno renal en arterias interlobares, que transcurren a lo largo de cada columna de Bertin, localizadas entre pirámides adyacentes, en dirección a la zona cortical (**Figura 4**). Las interlobares a su vez se continúan con las arterias arcuatas o arciformes, una red de vasos de trayecto paralelo a la superficie del riñón, en el borde entre la corteza y la medula externa (pirámides). De las arterias arcuatas emergen las interlobulares que se dirigen radialmente hacia la superficie del riñón.

Con el ultrasonido Doppler color se puede visualizar el origen de las arterias renales en el corte transversal a la altura de la línea media. Generalmente, el trayecto de la arteria renal derecha pue-

de seguirse hasta el riñón, aunque esto mismo no se aplica para arteria renal izquierda. El corte coronal, por un abordaje en decúbito lateral, puede ser una alternativa útil para la evaluación del ostium, tanto en niños como en adultos.

Venas renales – Anatomía

Cada vena renal está formada por tributarias que se juntan en el hilio renal. La vena renal izquierda recibe a la vena suprarrenal izquierda y a la vena gonadal izquierda (ovárica o testicular) y cruza entre la aorta, anteriormente, y la arteria mesentérica superior, posteriormente, para entrar en el borde lateral de la vena cava inferior. La vena renal izquierda puede ser retroaórtica o circumaórtica. Venas renales accesorias se pueden observar comúnmente a la derecha drenando directamente en la vena cava inferior. Las venas renales pueden ser vistas por ultrasonido, en corte transversal, a través de un abordaje anterior (**Figura 5**).

Principios básicos de la evaluación de las arterias renales con ultrasonografía Doppler

Es usualmente un evaluación que toma tiempo y exige paciencia. El trayecto de las arterias renales puede ser difícil localizar y seguir. La literatura comunica que del 64%² al 95%³ de las arterias renales derechas y del 52%² al 85%⁴ de las arterias renales izquierdas pueden ser visualizadas adecuadamente en adultos. El procedimiento se considera el más apropiado para pacientes de edad en quienes se sospechan lesiones obstructivas arterioescleróticas, generalmente localizadas en los segmentos más proximales (entre 3 a 4 cm), que para jóvenes con displasia fibromuscular, donde puede haber afectación de segmentos más distales e incluso de las arterias segmentarias. La estenosis de las arterias accesorias (polares) es causa de resultados falso-negativos.⁵ Entre los factores limitantes del examen ultrasonográfico podemos citar la obesidad y la interposición de gas intestinal sobre el área a evaluar.

Técnica

El paciente debe de estar en ayunas por lo menos ocho horas para reducir la presencia de gas intestinal y se recomienda el uso de dimeticona, 2 comprimidos por vía oral cada ocho horas en los tres días precedentes. El Doppler color ayuda a identificar las arterias renales² y a detectar trastornos del flujo que puedan aso-

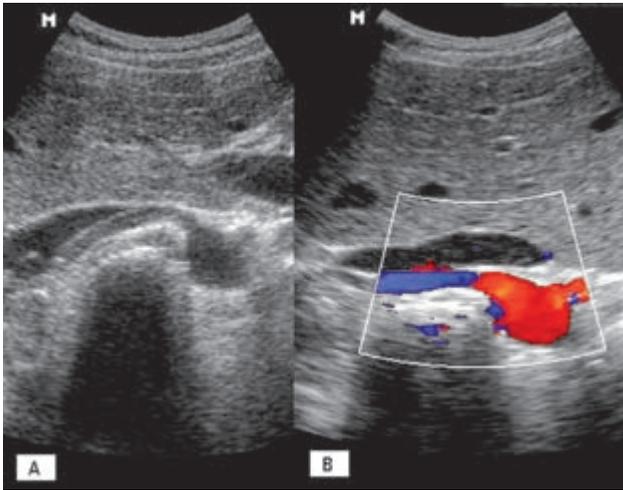


Figura 1. Arteria renal derecha emergiendo del borde anterolateral de la aorta y cruzando debajo de la vena cava inferior visualizada en 2D (A) y Doppler color (B).

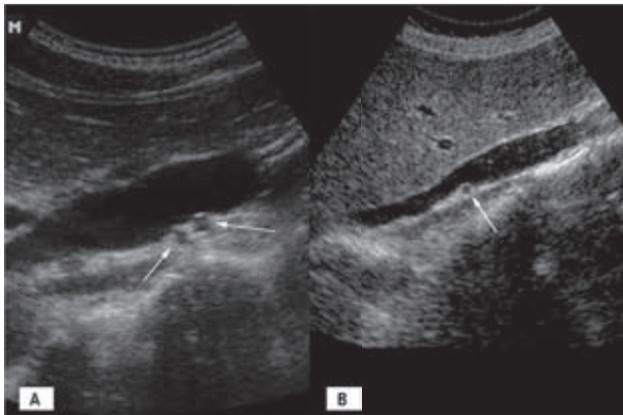


Figura 3. En A se pueden observar las dos arterias renales (flechas) y en B apenas una (flecha) pasando por debajo de la vena cava inferior.

ciarse con estenosis. Sin embargo, el Doppler color puede demostrar trastornos de flujo en vasos con placas arterioescleróticas sin estenosis significativa (Figura 6). Por lo tanto, debe utilizarse también el Doppler espectral para evaluar el grado de la estenosis. Existen reportes acerca de que el examen realizado después de la administración de captopril mejora la detección de estenosis iguales o mayores a 50%.⁶

En la evaluación de las arterias renales debe medirse el pico de velocidad sistólica (PVS), el tiempo de aceleración, el índice de aceleración y la relación del PVS renal/aórtico. El índice de resistencia (IR) en el sitio de la estenosis no se utiliza para el diagnóstico de la estenosis de la arteria renal, pero una diferencia de IR entre los dos riñones puede ser un parámetro coadyuvante. El examen del tronco de la arteria renal se inicia por la aorta abdominal. Se examina la aorta en corte longitudinal, utilizando como referencia el sitio de emergencia de la arteria mesentérica superior y de las arterias renales, donde se mide el pico de velocidad sistólica que será utilizado más tarde para el cálculo de la relación renal/aórtica (Figura 7).

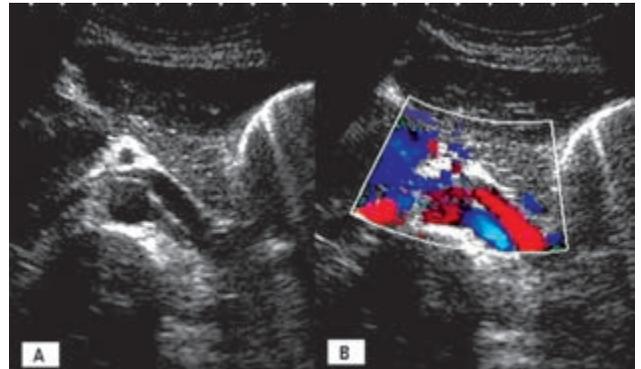


Figura 2. Arteria renal izquierda emergiendo del borde posterolateral de la aorta que transcurre luego dorsalmente a la vena renal, vista en 2D (A) y en Doppler color (B).

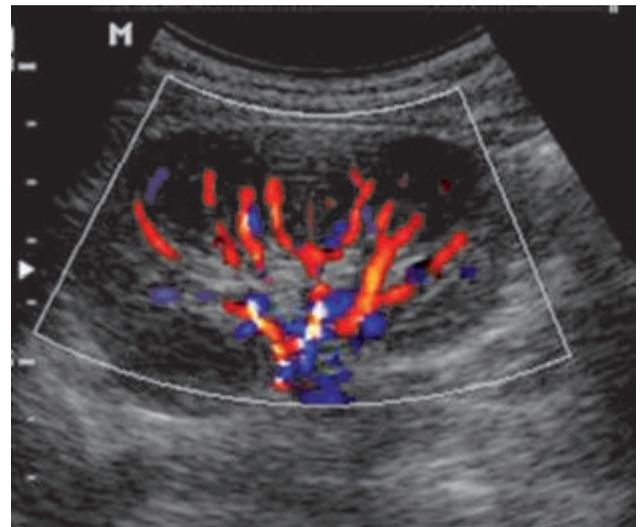


Figura 4. Ramificación intrarrenal de la arteria renal donde se pueden apreciar los ramos segmentales e interlobares dirigiéndose hacia la parte más superficial de la zona cortical.

La evaluación de las arterias renales se inicia con el paciente en posición supina para visualizar el origen y el curso de los vasos, y se mide la velocidad de flujo. La utilización de un ángulo igual o menor de 60° es un requisito para asegurarse de que la velocidad sea medida con precisión. Se recomienda también la medición de la velocidad de flujo con el paciente en decúbito lateral. En este caso, como puede utilizarse un ángulo menor, la medición en decúbito lateral es más exacta que en posición supina.⁷ Las arterias accesorias se detectan mejor en decúbito lateral,⁷ pero también pueden ser identificadas pasando por debajo de la vena cava inferior, en corte sagital con el paciente en posición supina (Figura 3). Identificar la arteria renal derecha es generalmente más fácil que la izquierda y es también más fácil seguir su trayecto.

El trayecto de la arteria renal izquierda es más difícil de seguir por el abordaje anterior. Las porciones distales pueden visualizarse en corte coronal colocando al paciente en decúbito lateral derecho, utilizando el riñón como ventana acústica (Figura 8). Un procedimiento análogo puede también ser utilizado en la evaluación de los segmentos distales de la arteria renal derecha con el

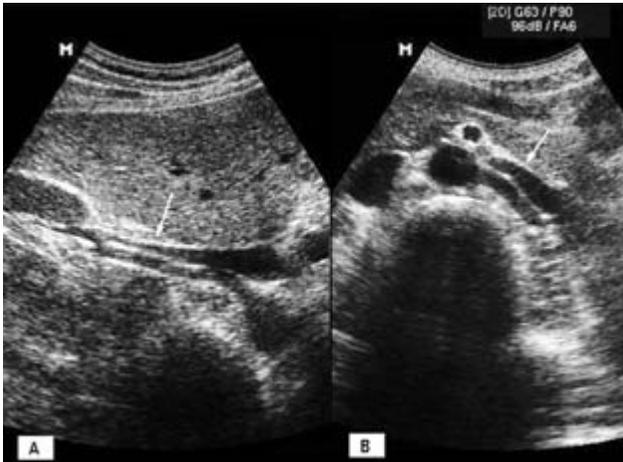


Figura 5. Obsérvese tanto en A (derecha) como en B (izquierda) la vena renal (flecha) cursando ventralmente en relación a la arteria renal.

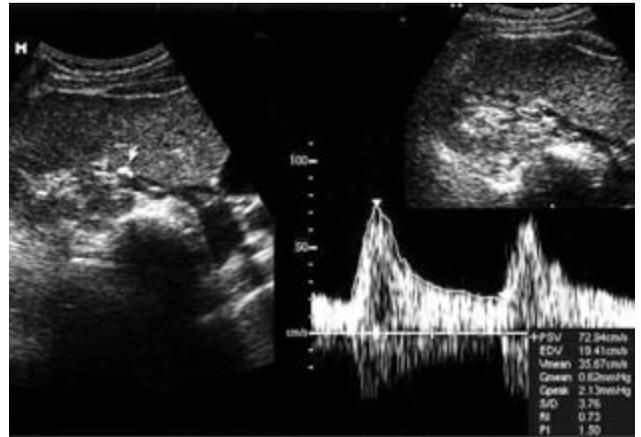


Figura 6. Placa ateromatosa calcificada en la arteria renal derecha que no determina alteración significativa del pico de velocidad sistólica (VN < 180 cm/s).

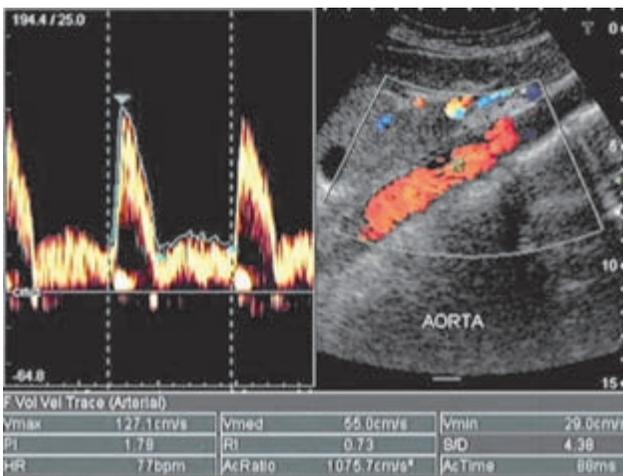


Figura 7. Aorta insonada a 60° para el registro del PVS.

paciente en decúbito lateral izquierdo. En este caso, el corte coronal, utilizando a la vena cava inferior como ventana acústica, puede mostrar, en forma simultánea, la emergencia de las dos arterias renales (signo de la banana descascarada) (Figura 9).⁸ En el examen con Doppler color y espectral se deben buscar áreas de flujo de alta velocidad o alteraciones de flujo que pudiesen estar relacionadas con estenosis, y luego se deben examinar estas áreas con Doppler espectral. Si no se detectan anomalías de flujo, se registra el trazado espectral obtenido de la velocidad del pico sistólico de las porciones proximales y distales. La ausencia de señal Doppler en la arteria renal principal está más frecuentemente relacionada con obstrucción o estenosis grave.⁹

Diagnóstico de estenosis de la arteria renal

Desde el punto de vista hemodinámico, una obstrucción arterial es considerada significativa a partir de una reducción de la luz de 50 a 60%. La estenosis de la arteria renal debe investigarse en pacientes jóvenes con hipertensión grave, pacientes con hipertensión acelerada o hipertensión maligna, pacientes



Figura 8. Corte coronal en el flanco izquierdo con el paciente en decúbito lateral derecho mostrando la arteria renal izquierda emergiendo de la aorta (Ao). RI: riñón izquierdo.

con hipertensión de difícil control pese al uso de tres drogas, pacientes con hipertensión y deterioro de la función renal y pacientes con tamaño discrepante entre ambos riñones. En cambio, una asimetría renal superior a 1,5 cm (Figura 10) y una disminución del IR en las arterias interlobares, en los casos de estenosis renal unilateral, solamente se ha observado en aquellos casos en que la estenosis es superior al 70%.¹⁰

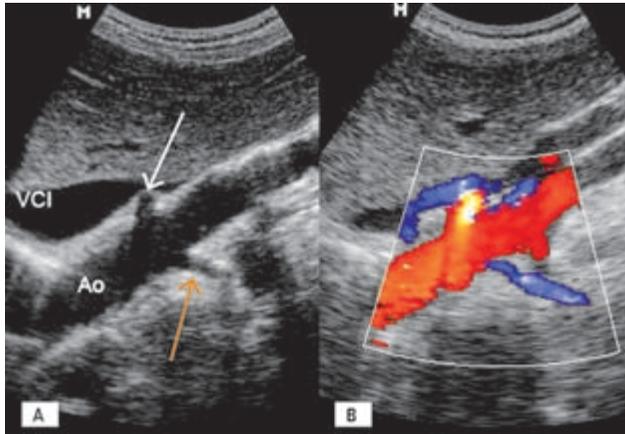


Figura 9. Signo de la banana descascarada. Corte coronal con el paciente en decúbito lateral izquierdo mostrando la emergencia de las arterias renales (flecha blanca: a. derecha; flecha naranja: a. izquierda) en ultrasonido en modo B (A) y con Doppler color (B). VCI: vena cava inferior. Ao: aorta.

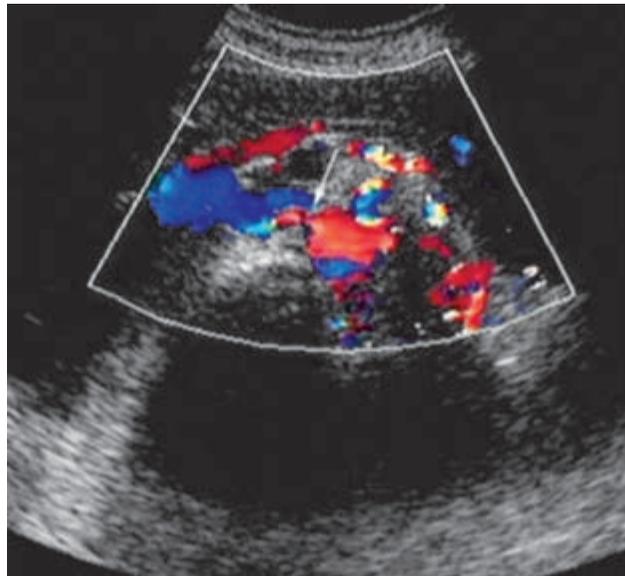


Figura 11. Segmento estenótico de la arteria renal derecha (flecha) inmediatamente después de la emergencia de la aorta.

Criterios diagnósticos de estenosis de la arteria renal con ultrasonido Doppler

Criterios proximales

Pico de velocidad sistólica (PVS)

El criterio ultrasonográfico aislado más importante para el diagnóstico de estenosis de la arteria renal mayor de 60%¹¹ o de cualquier grado¹² es la detección del aumento de la velocidad de flujo por el Doppler. El aumento de la velocidad es proporcional a la severidad de la estenosis. Por lo tanto, el Doppler espectral puede emplearse para estimar el grado de estenosis. Las áreas estenóticas detectadas con el Doppler color deben ser cuidadosamente evaluadas por el Doppler espectral para determinar con seguridad el valor máximo de la ve-

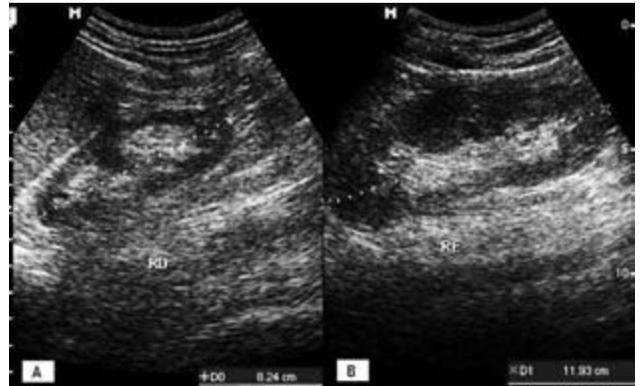


Figura 10. Diferencia significativa del tamaño de ambos riñones. El diámetro longitudinal del riñón derecho (A) mide 8,24 cm y el del riñón izquierdo (B) 11,93 cm.

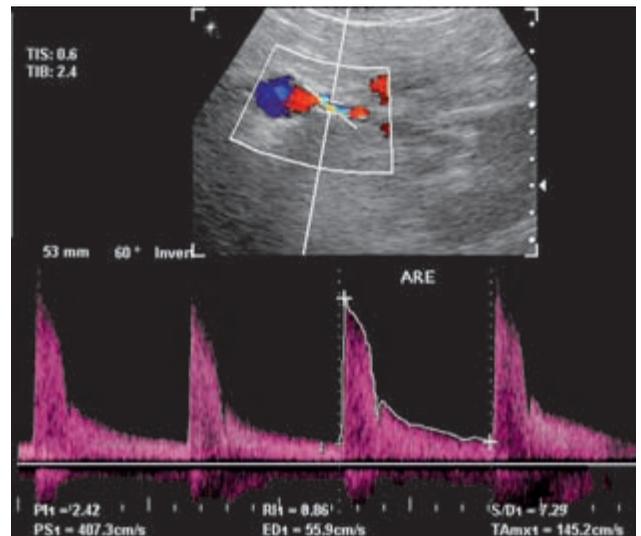


Figura 12. Análisis espectral de la arteria renal izquierda mostrando un PVS de 407,3 cm/seg, muy superior al valor normal de 180 cm/seg.

locidad de flujo. Un PVS > 180 cm/seg (Figura 12) es criterio diagnóstico para estenosis igual o superior a 60%, con una sensibilidad de 95% y especificidad de 90%.¹³ Una velocidad diastólica > 150 cm/seg es criterio para estenosis de > 80%.¹⁴ Los casos de estenosis más graves se acompañan de trastornos de flujo (turbulencias). Pese a que la turbulencia es un signo útil en la evaluación de la estenosis, no es algo específico o cuantificable. La correlación con el grado de estenosis es muy pobre y, además de eso, una turbulencia puede ocurrir también sin estenosis significativa.

Relación entre PVS de la arteria renal y de la aorta (RRA)

Otro criterio utilizado para el diagnóstico de estenosis de la arteria renal es la relación entre el PVS de la arteria renal y el de la aorta. Una relación renal/aorta (RRA) mayor de 3,5 sugiere estenosis significativa.⁸ Este parámetro tiene una sensibilidad de 91% y una especificidad de 91%, a pesar de que, según algunos autores, su utilización no mejora el poder diagnóstico del PVS.¹¹ En los estudios en que el PVS y la RRA fueron comparados directamente

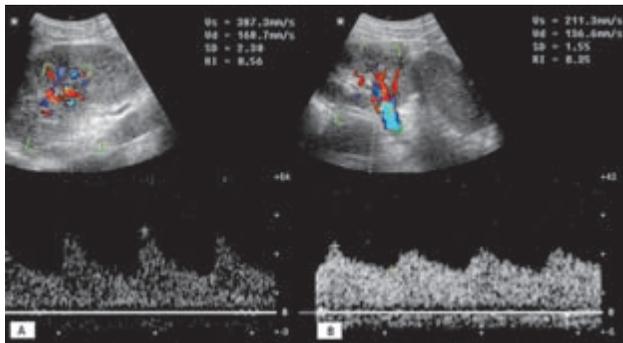


Figura 13. Hallazgos en un paciente hipertenso de 17 años. Se observa: en la arteria renal derecha **(A)** pico sistólico inicial normal con IR = 0,56, y en la izquierda **(B)** una onda amortiguada sin pico sistólico inicial con IR = 0,35 que corresponde a un fenómeno *tardus-parvus* postestenótico.

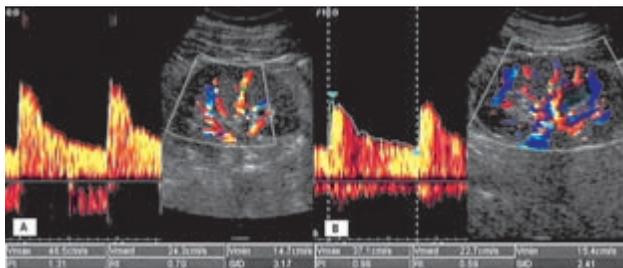


Figura 15. Paciente con cólico renal e hidronefrosis en riñón derecho **(A)** que presenta en éste un IR de 0,11 mayor que en riñón contralateral **(B)**.

en los mismos pacientes, el valor diagnóstico del PVS fue superior a la RRA en casi todos.¹²

Crterios distales

El fenómeno *tardus-parvus*: tiempo de aceleración e índice de aceleración.

El formato de las ondas de las arterias intrarrenales (segmentarias o interlobares) puede evaluarse en busca del fenómeno *tardus-parvus*, que es una manifestación postestenótica de la estenosis. Los hallazgos más importantes para la caracterización de este fenómeno incluyen la ausencia de un pico sistólico inicial, un tiempo de aceleración prolongado o una reducción en el índice de aceleración.

El tiempo de aceleración y el índice de aceleración son los parámetros que definen el fenómeno *tardus parvus* (**Figura 13**). El índice de aceleración (IAC) es la inclinación de la línea (cm/seg²) que conecta el inicio de la sístole y el final del pico sistólico inicial (VN > 300), y el tiempo de aceleración (TAc) es el tiempo (m/seg) que transcurre entre el inicio de la sístole y el final del pico sistólico inicial (VN < 0,7 m/seg) (**Figura 14**). Hay que estar atento al punto exacto de la terminación del pico sistólico inicial, que no necesariamente representa el punto más elevado de la onda e incluir apenas la elevación a lo largo de la aceleración sistólica.¹⁵ En la insonación de las arterias segmentarias o interlobares, en el plano coronal, se debe orientar el riñón de forma que los vasos tengan un ángulo muy próximo al del haz sonoro, cerca de 0°, para mejorar la señal espectral.⁸ El hallazgo reproducible, en el mismo riñón, de una única onda de tipo *tardus-parvus* en la

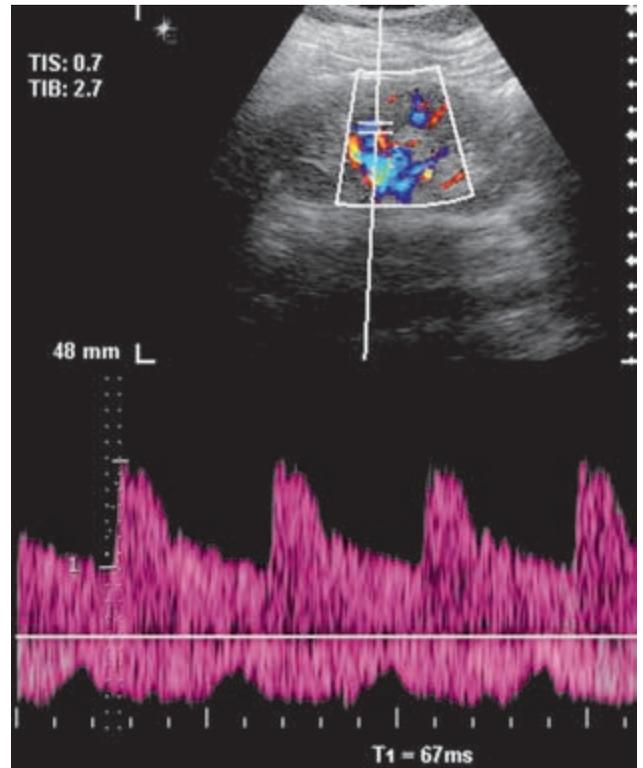


Figura 14. Tiempo de aceleración medido desde el inicio hasta el final del pico sistólico inicial.

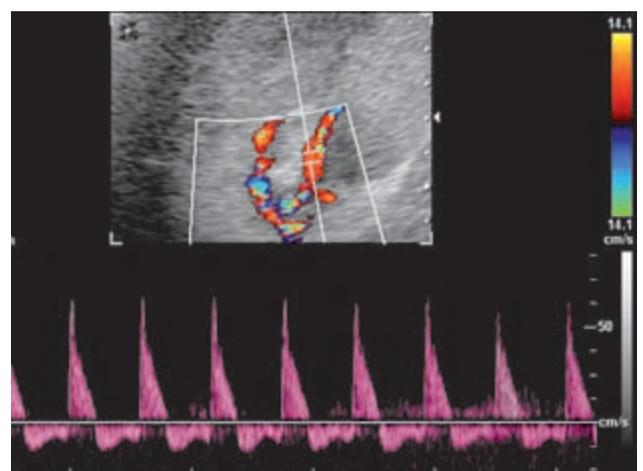


Figura 16. Paciente con trombosis de la vena renal del injerto, confirmada quirúrgicamente, mostrando flujo diastólico reverso en la arteria renal.

insonación de las arterias intrarrenales, en contraste con la forma normal de la onda en otras localizaciones, sugiere la existencia de estenosis en la arteria accesoria.¹⁶ Los valores antes citados para los parámetros evaluados son los más comúnmente citados en la literatura, en tanto que no existe consenso sobre los valores de corte (**Tabla 1**).

Comparación del índice de resistencia (IR) de ambos riñones. La literatura sugiere la evaluación del índice de resistencia de am-

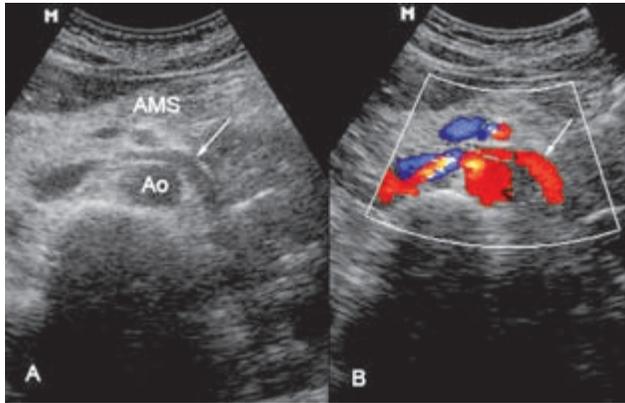


Figura 17. Fistula arteriovenosa postbiopsia en paciente trasplantado. Se observa el aspecto característico en mosaico en el Doppler color.

bos riñones para comparación. Se compara el IR obtenido del estudio con el Doppler espectral de las arterias segmentarias o interlobares. Si existe estenosis grave, el IR postestenótico del riñón afectado disminuye (**Figura 13**). De esta forma se nota una diferencia significativa entre los dos riñones. Esta diferencia deja de ser confiable si las dos arterias están estenosadas. Como la precisión de los índices Doppler es limitada en las arterias renales con arterioesclerosis, probablemente debido a una reducción de la elasticidad de las arterias, se recomienda cautela en el diagnóstico de estenosis con base únicamente en este parámetro. Utilizando una diferencia de $> 0,05$ entre los dos riñones como único criterio, algunos autores comunicaron una sensibilidad de 64% y una especificidad de 82%.⁷ Otros autores han sugerido una diferencia en el IR de 8% o más.¹⁷ Aun cuando el IR no difiera entre ambos riñones, según algunos autores,¹⁸ es conveniente señalar que una diferencia de 0,08 fue ya informada en el 12% de la población normal por otros autores.¹⁹

Los valores consignados para la población normal dependen del vaso explorado: arteria renal principal (0,48-0,66), arteria interlobar (0,48-0,62).¹⁸

El IR se correlaciona positivamente con el grado de arteriosclerosis renal.²⁰ Un IR $> 0,80$ es utilizado para prever una mala respuesta de la presión arterial, de la función renal y de la supervivencia renal después de revascularización.^{14,21}

Además de su utilización para ayudar en el diagnóstico de estenosis de la arteria renal, el IR también puede estar aumentado en una serie de procesos patológicos, tales como obstrucción del tracto urinario y enfermedades parenquimatosas difusas agudas y crónicas. El valor de corte considerado normal para la resistencia intrarrenal es menor o igual a 0,7. En el caso de obstrucción del tracto urinario, el aumento unilateral del índice de resistencia ayuda a definir mejor el diagnóstico (**Figura 15**). Una diferencia igual o superior a 10% puede ser altamente sugestiva de uropatía obstructiva.²² En un estudio con 100 pacientes, los riñones obstruidos mostraron un IR mayor que los riñones contralaterales (0,73 [variación de 0,71 a 0,87] vs. 0,62 [variación de 0,50 a 0,68]).²²

Algunos factores extrarenales pueden alterar el IR. La bradicardia (< 60 bpm) eleva el IR y la taquicardia lo disminuye.²³ En casos de arritmias, especialmente una fibrilación auricular, no debe utilizarse el IR para el diagnóstico de estenosis de la arteria renal. En los pacientes

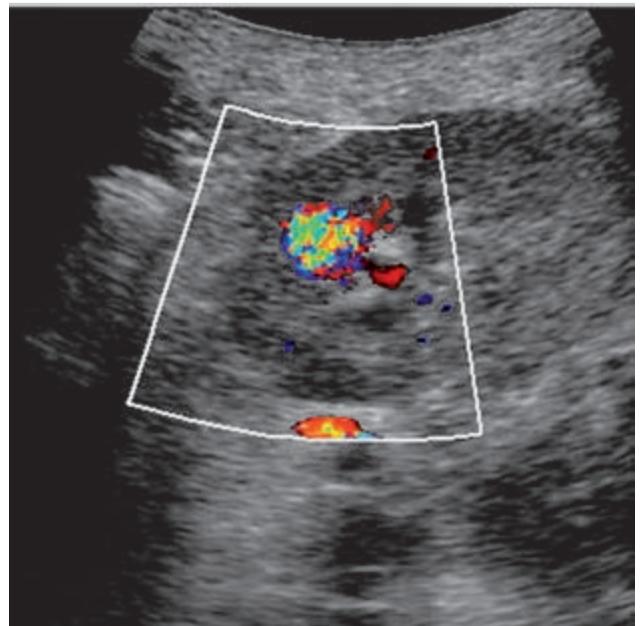


Figura 18. Corte transverso a nivel de la vena renal izquierda (flecha) mostrando el calibre mayor de la vena en el hilo y la estenosis al pasar entre la aorta (Ao) y la vena mesentérica superior (VMS).

con insuficiencia aórtica el IR está aumentado en virtud de la elevada amplitud de la presión sanguínea. Por otro lado, en los pacientes con estenosis aórtica se registran valores reducidos de IR.²³

Oclusión de la arteria renal

La oclusión de la arteria renal se diagnostica en presencia de los siguientes hallazgos: ausencia de una arteria renal visible, reducción acentuada del diámetro longitudinal del riñón (generalmente < 9 cm), y ausencia de flujo intrarrenal detectable por el método o flujo sanguíneo intrarrenal de baja amplitud. La capacidad de detectar flujo normal en vasos de igual profundidad o de la arteria renal contralateral es un fuerte indicio de oclusión de la arteria renal que se está evaluando. Puede ocurrir un diagnóstico falso positivo cuando existe dificultad en la visualización de la arteria renal en un riñón pequeño por razones distintas a la isquemia. Otra causa de resultado falso negativo es la colateralización²⁴ que puede ocurrir por medio de ramos capsulares o de la suprarrenal y de una arteria renal doble. En la colateralización, la señal de flujo renal puede verse en el hilio o en el parénquima, a despecho de la oclusión arterial, y la onda del Doppler puede incluso ser normal.

Tabla 1. Valores de corte para los parámetros utilizados en el diagnóstico de estenosis de la arteria renal.

	Informados en la literatura	Más comunes
VPS	100 a 200 cm/seg	>180 cm/seg
Relación renal/aorta	1,8 a 3,5	$>3,5$
Tiempo de aceleración	$>0,1$ a $>0,7$ m/seg	$>0,7$ m/seg
Índice de aceleración	3,0 - 4,5 m/seg ²	$<3,0$ m/seg

Trombosis de la vena renal

La trombosis de la vena renal se diagnostica en función de hallazgos clínicos y radiológicos inespecíficos. Puede ocurrir hasta en 40% de niños con deshidratación o sepsis. En el riñón nativo, la trombosis de la vena renal comienza en las venas intrarrenales pequeñas en casos de trastornos de la coagulación o de enlentecimiento del flujo sanguíneo.

La circulación posglomerular, en función del bajo flujo, es particularmente predispuesta a la trombosis. En los adultos es más común la asociación con enfermedades renales incluyendo las glomerulonefritis, LES, diabetes mellitus, síndrome nefrótico, choque hipovolémico grave y después del trasplante renal.

Los hallazgos ecográficos son inespecíficos: aumento del volumen renal acompañado de disminución de la ecogenicidad en la fase inicial y, posteriormente, un aumento de la ecogenicidad. El estudio con Doppler no permite un diagnóstico preciso de la trombosis de la vena renal. La presencia de flujo venoso intrarrenal o en vena renal no excluye el diagnóstico de trombosis de una de las múltiples venas intraparenquimatosas.

Aun en el caso de trombosis aguda de la vena renal, pese a estar el riñón hipoperfundido en su totalidad mostrando señal Doppler solamente en el hilio renal, es preciso recordar que la circulación venosa colateral se desarrolla rápidamente, principalmente en niños y que, cuando esto pasa, el flujo intrarrenal se restablece rápidamente. Por consiguiente, la presencia de flujo venoso intraparenquimatoso renal no excluye el diagnóstico de trombosis de vena renal. El diagnóstico puede ser más preciso cuando se consigue visualizar la vena sin señal de flujo.

La trombosis de vena renal también puede ser secundaria a invasión tumoral en pacientes con carcinoma de células renales. El Doppler color un método bastante preciso en demostrar trombos tumorales en las venas renales. El hallazgo ecográfico incluye distensión de la vena predilatada con material ecogénico.

La presencia de señal Doppler en el trombo permite la demostración inequívoca de compromiso tumoral del vaso. En un paciente con injerto renal, en caso de trombosis completa de la vena del riñón trasplantado, la inversión del flujo diastólico de la arteria del injerto asociada a una vena renal distendida y sin flujo han sido reportados como hallazgos patognomónicos de trombosis de la vena renal (Figura 16).²⁵

Hipertensión de la vena renal izquierda (síndrome del cascanueces)

En pacientes delgados sanos, la vena renal izquierda puede encontrarse comprimida entre la aorta y la arteria mesentérica superior, resultando en el síndrome de hipertensión de la vena renal izquierda (síndrome del cascanueces). Se propuso la utilización de una relación > 5 ²⁵ entre el diámetro anteroposterior en el hilio y en la región aortomesentérica, y de más de cuatro²⁶ o cinco²⁵ de la relación entre la velocidad de flujo, en los mismos sitios, como criterio diagnóstico de hipertensión de la vena renal izquierda. La presencia de múltiples colaterales venosas saliendo de la vena renal también es criterio diagnóstico.²⁶

Fístulas arteriovenosas

Las fístulas arteriovenosas (FAV) tanto congénitas como posbiopsia pueden ser diagnosticadas con ultrasonido Doppler. La mayoría de las FAV, tanto en riñones nativos como trasplantados, son complicaciones de biopsias renales percutáneas. Las FAV pequeñas no son visibles con la ultrasonografía convencional y sólo pueden ser detectadas con Doppler. La imagen Doppler se caracteriza generalmente por un patrón inespecífico en mosaico con *aliasing* en el Doppler color derivado de las vibraciones en los tejidos vecinos debido a flujo rápido y turbulento (Figura 18). El análisis espectral muestra flujo turbulento de alta velocidad en el sitio de la FAV, con disminución importante del IR (0,30 a 0,40).²⁷

Bibliografía

1. Verschuyt E-J, Kaatee R, Beek F J A, Pasterkamp G, Bush W H, Beutler J J, van der Ven P J G, Mali W P T M. Renal Artery Origins: Location and Distribution in the Transverse Plane at CT. *Radiology* 1997; 203:71-75
2. Berland L L, Koslin D B, Routh W D, Keller F S. Renal artery stenosis: prospective evaluation of diagnosis with color duplex US compared with angiography. *Radiology* 1990; 174:421-423
3. Robertson R, Murphy A, Dubbins P A. Renal artery stenosis: the use of duplex ultrasound as a screening technique. *Br J Radiol* 1988;61:196-201
4. Radermacher J, Chavan A, Schaffer J, Stoess B, Vitzthum A, Kliem V, Rademaker J, Bleck J, Gebel M J, Galanski M, Brunkhorst R: Detection of significant renal artery stenosis with color Doppler sonography: combining extrarenal and intrarenal approaches to minimize technical failure. *Clin Nephrol* 2000;53:333-343
5. Motew S J, Cherr G S, Craven T E, Travis J A, Wong J M, Reavis S W, and Hansen K J, Winston-Salem, NC. Renal duplex sonography: Main renal artery versus hilar analysis. *J Vasc Surg* 2000;32:462-471.
6. Oliva V L, Soulez G, Lesage D, Nicolet V, Roy M C, Courteau M, Froment D, Rene P C, Therasse E and Carignan L. Detection of Renal Artery Stenosis With Doppler Sonography Before and After Administration of Captopril: Value of Early Systolic Rise. *AJR* 1998;170:169-175
7. Krumme B, Rump LC. Colour Doppler sonography to screen for renal artery stenosis – technical points to consider. *Nephrol Dial Transplant* 1996; 11:2385-2389
8. Lockhart M E, and Robbin M L. Renal Vascular Imaging Ultrasound and Other Modalities. *Ultrasound Quarterly* 2007;23:279-292
9. Halpern E J, Needleman L, Nack T L. Renal artery stenosis: should we study the main renal artery or segmental vessel? *Radiology* 1995;195:799-804
10. Schwerk WB, Restrepo IK, Stellwaag M, Klose K J, Schade-Brittlinger C. Renal artery stenosis: grading with image-directed Doppler US evaluation of renal resistive index. *Radiology* 1994;190:785-790
11. Miralles M, Cairois M, Cotillas J, Gimenez A, and Santiso A. Value of Doppler parameters in the diagnosis of renal artery stenosis. *J Vasc Surg* 1996 23:428-435

12. Williams G J, Macaskill P, Chan S F, Karplus T E, Yung W, Hodson E M, Craig J C. Comparative Accuracy of Renal Duplex Sonographic Parameters in the Diagnosis of Renal Artery Stenosis: Paired and Unpaired Analysis. *AJR* 2007; 188:798-811
13. Hoffmann U, Edwards J M, Carter S, Goldman M L, Harley J D, Zaccardi M J, Strandness Jr, E. Role of duplex scanning for the detection of atherosclerotic renal artery disease. *Kidney Int* 1991; 39:1232-1239
14. Gerhard-Herman M, Gardin J M, Jaff M, Mohler E, Roman M and Nacvi T Z. Guidelines for noninvasive vascular laboratory testing: a report from the American Society of Echocardiography and the Society for Vascular Medicine and Biology. *Vasc Med* 2006;11: 183-200
15. Soulez G, Oliva V L, Turpin S, Lambert R, Nicolet V, Therasse E. Imaging of Renovascular Hypertension: Respective Values of Renal Scintigraphy, Renal Doppler US, and MR Angiography. *RadioGraphics* 2000;20:1355-1368
16. Ripollés T, Aliaga R, Morote V, Lonjedo E, Delgado F, Martinez M J, Villar J. Utility of intrarenal Doppler ultrasound in the diagnosis of renal artery stenosis. *Eur J Radiol* 2001;40:54-63
17. Riehl J, Schmitt H, Bongartz D, Bergmann D and Sieberth H G. Renal artery stenosis: evaluation with colour duplex ultrasonography. *Nephrol Dial Transplant* 1997;12:1608-1614
18. Rivolta R, Cardinale L, Lovaria A, Di Palo FQ. Variability of renal Cho-Doppler measurements in healthy adults. *J Nephrol* 2000;13(2): 110-115
19. Keogan MT, Kliewer MA, Hertzberg BS, DeLong DV, Tupler RH, Carroll BA. Renal resistive indexes: variability in Doppler US measurement in a healthy population. *Radiology* 1996;199:165-169
20. Ikee R, Kobayashi S, Hemmi N, Imakiire T, Kikuchi Y, Moriya H, Suzuki S, and Miura S. Correlation Between the Resistive Index by Doppler Ultrasound and Kidney Function and Histology. *Am J Kidney Dis* 2005;46:603-609
21. Radermacher J, Chavan A, Bleck J, Vitzthum A, Stoess B, Jan Gebel M, Galanski M, Koch K M, and Haller H. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery stenosis. *N Engl J Med* 2001; 344:410-417
22. Pepe P, Motta L, Pennisi M, Aragona F. Functional evaluation of the urinary tract by color-Doppler ultrasonography (CDU) in 100 patients with renal colic. *Eur J Radiol* 2005;53:131-135
23. Krumme B, Hollenbeck M. Doppler sonography in renal artery stenosis—does the Resistive Index predict the success of intervention? *Nephrol Dial Transplant* 2007; 22: 692-696
24. Desberg A L, Paushter D M, Lammert G K, Hale J C, Troy R B, Novick A C, Nally Jr J V, Welteveden A M. Renal artery stenosis: evaluation with color Doppler flow imaging. *Radiology* 1990;177:749-753
25. Zubarev AV. Ultrasound of renal vessels. *Eur Radiol* 2001;11:1902-1915.
26. Shin J I, Park J M, Lee S M, Shin Y H, Kim J H, Lee J S, Kim M J. Factors affecting spontaneous resolution of hematuria in childhood nutcracker syndrome. *Pediatr Nephrol* 2005; 20:609-613
27. Hélénon O, Melki P, Correas J M, Boyer J C, and Moreau J F. Renovascular disease: Doppler Ultrasound. *Seminars in Ultrasound, CT, and MRI* 1997;18: 136-146