

Aplicación práctica de la termodilución frente a la ecografía-Doppler en la medición del flujo del acceso vascular

Néstor Fontseré¹, Gaspar Mestres², Marta Barrufet³, Marta Burrel³, Manel Vera⁴, Marta Arias⁴, Elisabeth Masso⁴, Aleix Cases⁴, Francisco Maduell⁴, Josep M. Campistol⁴

¹ Servicio de Nefrología. Unidad Funcional de Acceso Vascular. Hospital Clínic de Barcelona. Universitat de Barcelona

² Servicio de Cirugía Vascular. Unidad Funcional de Acceso Vascular. Hospital Clínic de Barcelona. Universitat de Barcelona

³ Servicio de Radiología Vascular Intervencionista. Unidad Funcional de Acceso Vascular. Hospital Clínic de Barcelona. Universitat de Barcelona

⁴ Servicio de Nefrología. Hospital Clínic de Barcelona. Universitat de Barcelona.

Nefrologia 2013;33(3):325-32

doi:10.3265/Nefrologia.pre2013.Jan.11748

RESUMEN

Introducción: Las actuales guías recomiendan la medición periódica del flujo vascular (Qa). Los métodos actualmente validados son la ecografía-Doppler (ED) y la ultrasonografía diluicional. **Objetivo:** Analizar la aplicación práctica de la termodilución (TD) en la medición del Qa respecto a la ED. **Material y métodos:** Estudio transversal realizado en 64 pacientes (41 varones) en programa de hemodiálisis; 59,9 años con 54 FAVI y 10 politetrafluoroetileno (PTFE). El Qa de referencia se determinó por ED en la arteria humeral (fistula arteriovenosa [FAVI]) y en el tramo de punción arterial (PTFE). Para el análisis de concordancia se utilizó el método de Bland-Altman y el coeficiente de correlación intraclase (CCI). **Resultados:** El Qa obtenido por ED resultó 1426 ± 753 ml/min FAVI y 1186 ± 789 ml/min PTFE. Los valores obtenidos por TD fueron 1372 ± 770 FAVI (sesgo 54,6; CCI 0,923) y 1176 ± 758 PTFE (sesgo 10,2; CCI 0,992). En el subgrupo de 28 pacientes portadores de FAVI radio-cefálicas latero-terminales el Qa obtenido por ED resultó 1232 ± 767 ml/min. A nivel de la arteria radial 942 (CCI 0,805); arteria radial-cubital 1.103 (CCI 0,973); vena cefálica 788 (CCI 0,772) y TD 1026 (CCI 0,971). Se detectaron 5 estenosis significativas; Kt posrevascularización mediante catéter balón de angioplastia (ATP): 79 l (61; $p = 0,043$) y Qa-TD pos-ATP 895 ml/min (663; $p = 0,043$). **Conclusiones:** La TD resultó un método indirecto automatizado útil en la medición del Qa. En el subgrupo de pacientes con FAVI radio-cefálicas resultó más preciso el sumatorio de flujo obtenido en arteria radial y cubital. Sin embargo, la TD también presentó una excelente correlación con la arteria humeral.

Palabras clave: Hemodiálisis. Flujo del acceso vascular (Qa). Ecografía-Doppler. Termodilución. FAVI radio-cefálicas latero-terminales.

Correspondencia: Néstor Fontseré

Servicio de Nefrología.

Unidad Funcional de Acceso Vascular. Hospital Clínic de Barcelona.

Universitat de Barcelona. C/ Villarroel, 170. 08036 Barcelona.

fontserenestor@clinic.ub.es

fontserenestor@gmail.com

Practical utility of thermodilution versus doppler ultrasound to measure hemodialysis blood access flow

ABSTRACT

Introduction: The current clinical guidelines recommend indirect access blood flow (Qa) measurement as one of the most important components in vascular access maintenance programs. The best-know methods are doppler ultrasound (DU) and saline dilution method. **Objective:** This study evaluates the efficiency of Qa measurement with thermodilution method (TD) in comparison with the DU. **Material and Methods:** Transversal study in 64 patients in hemodialysis (41 men); mean age 59.9 years with 54 AVFs and 10 PTFE. Qa reference value was obtained with DU in brachial artery (AVFs) or at the zone of arterial puncture (AVGs). Bland-Altman and interclass correlation coefficient (ICC) were used to study accuracy. **Results:** Mean values obtained with DU-Qa were 1426 ± 753 mL/min AVFs and 1186 ± 789 mL/min AVGs. The mean Qa with TD was 1372 ± 770 AVFs (bias 54.6; ICC 0.923) and 1176 ± 758 AVGs (bias 10.2; ICC 0.992). In the subgroup of 28 patients with radiocephalic latero-terminal AVFs the DU-Qa was 1232 ± 767 mL/min. The Qa was in radial artery 942 (ICC 0.805); radial-ulnar artery 1103 (ICC 0.973); cephalic vein 788 (ICC 0.772) and TD 1026 (ICC 0.971). We detected 5 cases of significant stenosis. After endovascular treatment the Kt was 79 liters (61; $p=0.043$) and TD-Qa 895 mL/min (663; $p=0.043$). **Conclusions:** TD represents a good indirect method of Qa measurement. In the subgroup of patients with radiocephalic AVFs, Qa measurements in the radial and ulnar artery are more accurate. Therefore, in this situation the TD method obtained an excellent correlation in comparison to brachial artery.

Keywords: Haemodialysis. Access blood flow (Qa). Doppler ultrasound. Thermodilution. Radiocephalic AVFs latero-terminal.

INTRODUCCIÓN

Diferentes estudios han evidenciado cómo los pacientes en programa de hemodiálisis portadores de fístulas arteriove-

nosas presentan un mayor tiempo de permeabilidad y un menor número de complicaciones asociadas¹. En este sentido, las diferentes guías clínicas de acceso vascular (AV) recomiendan la aplicación periódica de diferentes programas activos de seguimiento y monitorización^{2,4}. El principal objetivo es la aplicación precoz de todo aquel conjunto de medidas terapéuticas correctoras de tipo endovascular o quirúrgico, encaminadas a evitar la colocación de catéteres venosos centrales relacionados con un aumento de la morbilidad y la mortalidad secundarias a las complicaciones de tipo infeccioso⁵.

Entre los métodos de monitorización de segunda generación que permiten la medición del flujo del AV (Qa), los considerados como «patrón oro» son la ultrasonografía dilucional y la ecografía-Doppler (ED) color⁶. A pesar de ello, en los últimos años disponemos en los monitores de hemodiálisis de última generación de otras técnicas indirectas y dilucionales, que nos permiten la estimación automática del Qa mediante la dialisancia iónica⁷ y la termodilución (TD)⁸. En este sentido, nuestro grupo ha comunicado recientemente un estudio realizado en 50 pacientes estables en programa de hemodiálisis ambulatoria que concluye una mayor concordancia en la medición del Qa obtenido por el monitor de temperatura tomando como referencia la ultrasonografía dilucional⁹.

No existen trabajos previos que evalúen la concordancia en la medición del Qa entre la TD y la ED. Una de las principales limitaciones de la ultrasonografía y la ecografía en la medición del Qa es que ambas técnicas precisan de aparataje externo. En el caso del control ecográfico, no es posible la determinación automática del flujo durante la sesión, además de ser susceptible a posibles sesgos de medición relacionados con el ángulo de insonación o la variación del diámetro del vaso¹⁰. Según la actual evidencia científica, resulta controvertido establecer cuál es el mejor lugar para la medición del Qa mediante ecografía en pacientes portadores de fístula arteriovenosa interna (FAVI), especialmente en las de tipo radio-cefálico con anastomosis latero-terminal (L-T). En este sentido, Wiese et al.¹¹ sugieren que la medición en la arteria radial podría infraestimar el flujo como consecuencia de la retroalimentación del acceso vía arteria cubital y arcada palmar.

OBJETIVOS

Objetivo primario: analizar el grado de concordancia en la medición del Qa de la TD respecto a la ED.

Objetivos secundarios:

1. En el caso del subgrupo de pacientes con FAVI radio-cefálicas con anastomosis L-T, analizar la validez en la medición del Qa de las diferentes localizaciones anatómicas en comparación con la arteria humeral.

2. Analizar los parámetros hemodinámicos y de adecuación de hemodiálisis entre el subgrupo de pacientes con disfunción significativa del AV y el resto del grupo de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio observacional y de corte transversal realizado en 64 pacientes (41 varones) estables en programa de hemodiálisis con una edad media de 59,9 ± 15,4 años, portadores de 54 FAVI (28 radio-cefálicas y 26 humerales) y 10 injertos protésicos tipo politetrafluoroetileno (PTFE) (5 húmero-axilares y 5 femoro-femorales). La mediana del tiempo en programa fue de 30,5 meses (P₂₅₋₇₅: 11,7 y 92,2 meses) con monitores 5008S Fresenius Medical Care® con bicarbonato y filtros de 1,5 o 1,8 m² de polisulfona o helixona de alta permeabilidad en programa de hemodiafiltración en línea posdilucional; Qb 410,3 ± 28,1 ml/min, Qd 534,3 ± 117,1 ml/min y Qi 99,4 ± 17,4 ml/min. Al final de cada sesión de hemodiálisis se determinó la dosis mediante el método basado en la dialisancia iónica [Kt]¹².

Entre las causas de insuficiencia renal cabe destacar 15 pacientes con nefropatías vasculares, 13 con nefropatías diabéticas, 16 de causa desconocida, 10 con enfermedades glomerulares, 9 con enfermedades poliquísticas y 1 con nefropatía túbulo-intersticial.

Medidas del flujo vascular

Ecografía-Doppler

La medición del Qa obtenido mediante ED fue considerada como el método «patrón oro». Se determinó la media obtenida entre tres determinaciones consecutivas obtenidas una semana después del valor de TD. El valor de referencia ecográfico fue el determinado en la arteria humeral en las FAVI¹³ (4-5 cm de la anastomosis) y en el tramo de punción arterial de los injertos protésicos. Se realizó un estudio en modo B y hemodinámico mediante la modalidad Doppler-color con el ecógrafo MyLab 25 (Esaote®). Con el objetivo de minimizar el sesgo de medición, se realizó un adecuado ajuste del PRF y la ganancia, medición en el eje transversal-longitudinal del vaso en la parte central, con una ventana espectral amplia y con una insonación ≤ 60°. Para la medición del Qa se trazó de forma manual la curva en un ciclo, tomando como referencia la velocidad máxima (pico sistólico) y la velocidad mínima. El ecógrafo proporciona de forma automática la velocidad media, el área tras la medición del diámetro y el valor del Qa aplicando la siguiente fórmula:

$$ED-Qa = \Pi r^2 (\text{área}) \times Vm \times 60^{14}$$

R es el radio del vaso y Vm la velocidad media (cm/seg).

En el subgrupo de estudio de los pacientes portadores de FAVI radio-cefálicas con anastomosis L-T también se determinó la medición del Qa en la arteria radial, sumatorio de arteria radial-cubital y la vena cefálica.

Termodilución

La TD es una de las técnicas no invasivas para el seguimiento y monitorización del Qa, a partir de los valores de recirculación obtenidos mediante el sensor de temperatura sanguínea denominado BTM® (*Blood Temperature Monitor*) con las líneas de hemodiálisis en posición normal e invertida¹⁵. Este método, descrito y validado por Schneditz et al.⁸, es de fácil aplicación, ya que el sensor BTM está integrado en las actuales máquinas de hemodiálisis.

El proceso de determinación se inicia a partir de la generación de un «bolus de temperatura» secundario a la disminución autolimitada de la temperatura del líquido de hemodiálisis (-2 °C durante 2 minutos). Inicialmente, este descenso térmico es captado por el sensor de temperatura de la línea venosa y, después de mezclarse con el torrente circulatorio y la circulación cardiopulmonar del paciente, regresa hacia el dializador y es captado por el sensor de la línea arterial. La diferencia entre las determinaciones obtenidas mediante ambos sensores nos permite obtener el porcentaje de recirculación. Dicho procedimiento se realiza con las líneas en posición normal e invertida.

$$TD-Qa = Qs \times (1-Rx) / (1-Rn) / (Rx-Rn)$$

Qs representa el flujo de sangre efectivo (ml/min), Rn la tasa de recirculación con líneas en posición normal (%) y Rx la tasa de recirculación obtenida con líneas en posición invertida (%).

Todas las determinaciones obtenidas mediante TD se obtuvieron durante los primeros 60 minutos de la sesión, con distancia mínima entre punciones de 5 cm y en modalidad de hemodiálisis de alta eficacia con Qb de 300 ml/min y Qd 500 ml/min.

Análisis estadístico

Los valores obtenidos se han expresado como porcentajes o media \pm desviación estándar. Para el análisis de concordancia entre ambos métodos de medición se aplicó el método de Bland-Altman¹⁶ y el coeficiente de correlación intraclass (CCI). El estudio comparativo de las diferentes variables cuantitativas del estudio se ha efectuado mediante la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Se ha considerado estadísticamente significativa una $p < 0,05$. Para el análisis de los datos se ha utilizado el paquete estadístico PASW 18 (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos).

RESULTADOS

El valor de Qa obtenido por ED fue de 1389 ± 758 ml/min. En el subgrupo de los pacientes portadores de FAVI, el valor de ED-Qa resultó 1426 ± 753 ml/min, y en los PTFE 1186 ± 789 ml/min. En la tabla 1 se resumen los datos referentes a la concordancia de la TD respecto a la ED, y en la figura 1, la representación gráfica según el modelo matemático de Bland-Altman. El sesgo de medición entre ambos métodos se define como la diferencia obtenida en la medición del Qa entre la TD respecto a la ED. En la figura 2 se resumen el número de pacientes portadores de FAVI o PTFE clasificados según los valores obtenidos de Qa por ambos métodos en función de los puntos de corte recomendados por las actuales guías clínicas de AV. En los pacientes portadores de FAVI, la ED clasificó un 92,2 % de los pacientes con $Qa \geq 500$ ml/min

Tabla 1. Datos generales de concordancia en la medición del flujo vascular obtenidos por termodilución respecto a la ecografía-Doppler

	Media (DT) (ml/min)	Sesgo (ml/min)	IC 95%		CCI	p
			LS	LI		
Total = 64 pacientes						
- ED	1389 \pm 758					
- TD	1341 \pm 765	47,6 \pm 377	+783	-687	0,935	0,000
FAVI (n = 54)						
- ED	1426 \pm 753					
- TD	1372 \pm 770	54,6 \pm 406	+847	-738	0,923	0,000
PTFE (n = 10)						
- ED	1186 \pm 789					
- TD	1176 \pm 758	10,2 \pm 139,2	+281	-261	0,992	0,000

CCI: coeficiente de correlación intraclass; ED: ecografía-Doppler; FAVI: fístula arteriovenosa interna; IC 95 %: intervalos de confianza del sesgo; LI: límite inferior del intervalo de confianza; LS: límite superior del intervalo de confianza; PTFE: politetrafluoroetileno; sesgo (ml/min): Qa medido TD - Qa medido ED; TD: termodilución.

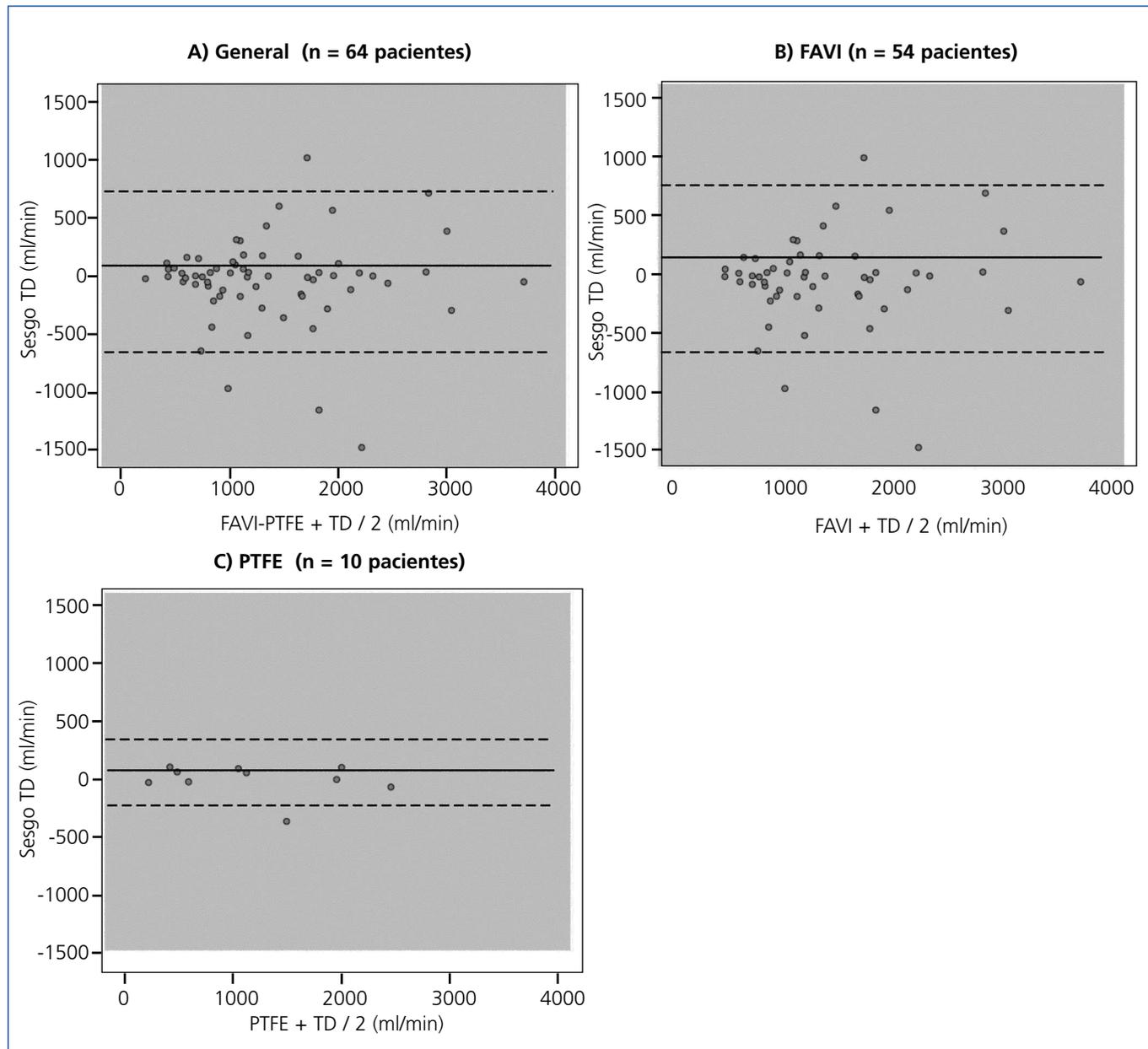


Figura 1. Representación gráfica mediante el método de Bland-Altman en la medición del flujo vascular entre la ecografía-Doppler y la termodilución.

Las líneas continuas representan el sesgo en la medición del flujo vascular, y las discontinuas, los intervalos de confianza al 95 % de la estimación.

FAVI: fístula arteriovenosa interna; PTFE: politetrafluoroetileno; TD: termodilución.

y un 7,8 % $Q_a < 500$ ml/min. Los resultados obtenidos por TD fueron un 90,6 % y un 9,4 %, respectivamente. Respecto al subgrupo de los pacientes portadores de PTFE, la ED clasificó un 70 % con $Q_a \geq 600$ ml/min y un 30 % < 600 ml/min. Los resultados obtenidos en la estimación de Q_a por TD fueron un 60 % y un 40 % de este subgrupo.

En el subgrupo de los 28 pacientes portadores de FAVI radiocefálicas con anastomosis L-T, el valor de Q_a obtenido por

ecografía en la arteria humeral fue de 1232 ± 767 ml/min. Las determinaciones obtenidas con respecto a la arteria humeral en la arteria radial resultaron de 942 ± 595 ml/min, con un sesgo medio de -290 ml/min y CCI 0,805 ($p < 0,01$). El sumatorio entre arteria radial y cubital fue de $Q_a 1103 \pm 583$ ml/min, con un sesgo -129 ml/min y CCI 0,973 ($p < 0,01$). El valor obtenido en la vena cefálica fue de 788 ± 423 ml/min, con un sesgo -444 ml/min y CCI 0,772 ($p < 0,01$). Los resultados obtenidos mediante TD resultaron 1026 ± 431 ml/min, con un

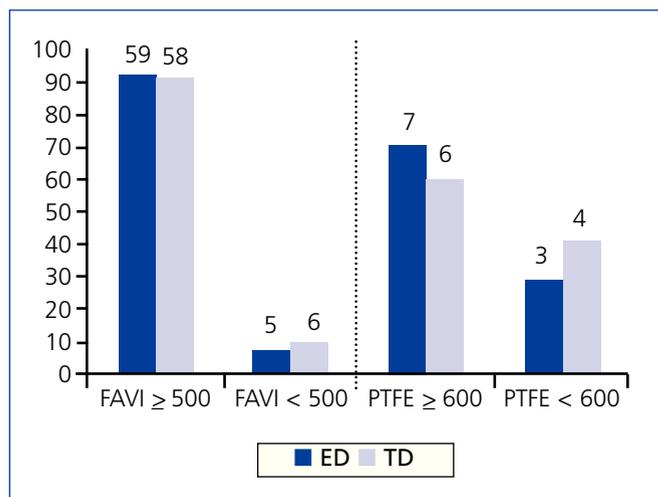


Figura 2. Clasificación de los pacientes en función del tipo de acceso vascular y el valor del flujo vascular estimado por ecografía-Doppler y termodilución.

ED: ecografía-Doppler; FAVI: fístula arteriovenosa interna; PTFE: politetrafluoroetileno; TD: termodilución.

sesgo -206 ml/min y CCI 0,971 ($p < 0,01$). Tomando como referencia el Qa obtenido en la arteria humeral, la medición en la arteria radial representó un 76,5 %, el sumatorio arteria radial-cubital un 89,5 %, la vena cefálica un 63,9 % y mediante el método basado en la TD un 83,3 %.

En el estudio morfológico y hemodinámico realizado en el grupo de estudio, se detectaron 5 casos de disfunción significativa del AV (3 FAVI y 2 PTFE). En la tabla 2 y la figura 3, se resumen las principales características de este subgrupo de pacientes, así como los valores de la dosis de hemodiálisis (Kt) y el Qa obtenido mediante TD posrevascularización mediante catéter balón de angioplastia (ATP). El valor del Kt post-ATP resultó 79 l (61 l pre-ATP; $p = 0,043$) y el Qa-TD post-ATP 895 ml/min (663 ml/min pre-ATP; $p = 0,043$). En la tabla

3 se resumen los valores hemodinámicos obtenidos mediante el control ecográfico en los pacientes con disfunción significativa del AV y el resto del grupo de estudio.

DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos en nuestro estudio, la TD representa un método indirecto automatizado y no invasivo útil en la medición del Qa en comparación con la ED. Las principales guías clínicas de AV recomiendan la aplicación activa de diferentes programas multidisciplinarios encaminados a la detección precoz de la disfunción vascular significativa²⁴. El principal objetivo es la puesta en funcionamiento de todo aquel conjunto de medidas terapéuticas endovasculares o quirúrgicas, encaminadas a mantener permeables los accesos y disminuir las tasas de trombosis. A pesar de disponer de los métodos de segunda generación basados en la medición del Qa, nunca deberemos olvidar la importancia de la exploración física sistematizada. En el estudio comunicado por Asif et al.¹⁷, realizado en 145 pacientes consecutivos con FAVI disfuncionantes, la exploración del AV permitió la detección y localización de las estenosis en un elevado porcentaje de los casos.

La estimación del Qa representa uno de los factores predictores más importantes de disfunción significativa (estenosis o trombosis parcial). Entre los criterios comunicados para la realización de una prueba de imagen se encuentran una reducción del valor absoluto de Qa < 600 ml/min en injertos PTFE o < 500 ml/min en FAVI^{18,19}. Una reducción temporal del Qa > 20 -25 % respecto a su valor basal también debería considerarse entre los criterios de alta sospecha clínica. Tal y como se demuestra en el estudio de Tessitore et al.²⁰, realizado durante el seguimiento a 5 años de 159 pacientes en programa de hemodiálisis portadores de FAVI (62 monitorizados con ultrasonografía dilucional), la monitorización mediante el Qa se asocia a un incremento en la detección de estenosis, reducción de la tasa de trombosis y colocación de catéteres

Tabla 2. Características generales del subgrupo de pacientes con disfunción significativa del acceso vascular

Tipo AV	% estenosis	Qa-ED pre (ml/min)	Qa-TD pre (pos-ATP) (ml/min)	VPS (ratio) (cm/seg)	IR	Kt pre (pos-ATP) (l)
P ¹ : FAVI RC	> 80	530	681 (916)	471 (2,5)	0,61	61,8 (70,8)
P ² : FAVI HC	> 70	910	1214 (1369)	475 (1,8)	0,46	92,8 (110,7)
P ³ : FAVI HB	> 80	446	740 (1155)	534,6 (4,3)	0,68	52,6 (66,8)
P ⁴ : PTFE HA	> 90	240	209 (500)	323,1 (3,0)	0,64	42,2 (70,8)
P ⁵ : PTFE HA	> 70	260	471 (534)	394,2 (3,7)	0,60	55,6 (80,3)

ATP: revascularización mediante catéter balón de angioplastia; AV: acceso vascular; FAVI: fístula arteriovenosa interna; HA: húmero-axilar; HB: húmero-basílica; HC: húmero-cefálica; IR: índice de resistencia; Kt (l): Kt pre- y pos-ATP; PTFE: politetrafluoroetileno; Qa-ED pre: Qa medido por ecografía pre-ATP (ml/min); Qa-TD: Qa medido por termodilución pre y pos-ATP (ml/min); ratio VPS: VPS estenosis/VPS preestenosis; RC: radio-cefálica; VPS: velocidad pico sistólico (cm/seg) zona estenótica.

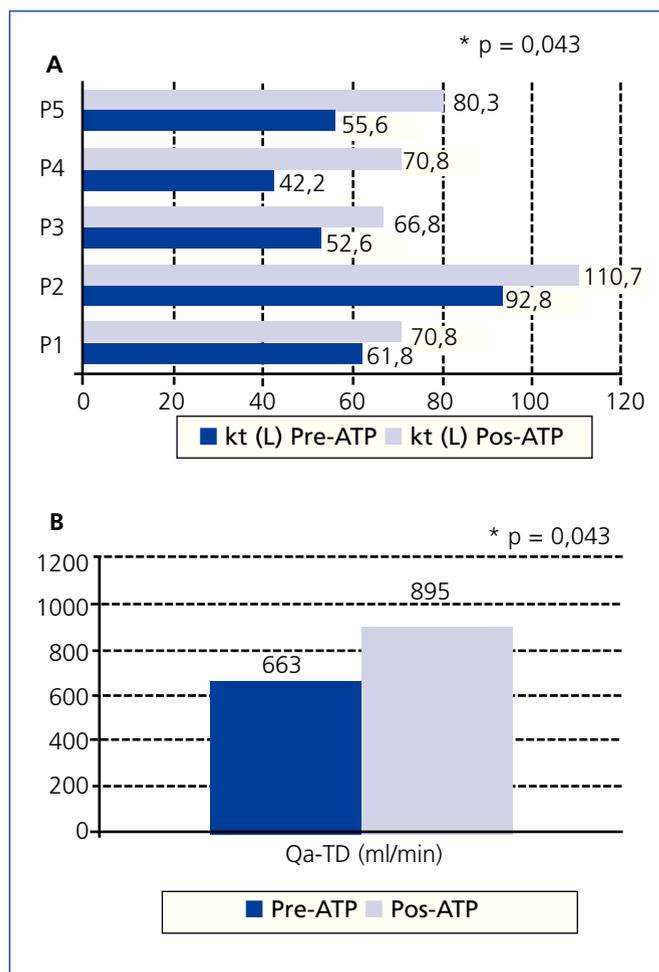


Figura 3. Evolución de la dosis de hemodiálisis (Kt) y del flujo vascular determinado por TD pre- y pos-ATP con catéter balón en el subgrupo de pacientes con disfunción significativa del acceso vascular.

A) Evolución del Kt (litros) pre- y pos-ATP con catéter balón.
 B) Evolución del flujo vascular determinado por TD (Qa-TD) pre- y pos-ATP.

ATP: revascularización mediante catéter balón de angioplastia;
 TD: termodilución.

venosos centrales, así como a un mayor beneficio económico y mayor permeabilidad durante los tres primeros años de seguimiento tras la implantación del acceso.

En la actualidad podemos obtener de forma automatizada y sin ningún coste económico sobreañadido la estimación del Qa mediante técnicas basadas en la TD. En el estudio reportado por Wang et al.²¹, dicho método dilucional presentó una sensibilidad del 81,8 % y una especificidad del 98,6 % en la detección de FAVI disfuncionantes. Según los recientes resultados comunicados por nuestro grupo, la TD presenta una buena correlación con la ultrasonografía dilucional en situación de validación intramétodo (Qb 300 ml/min y Qd 500 ml/min)⁹. A pesar de ello, tiene ciertas limitaciones en la

estimación del Qa con los parámetros de prescripción habituales en modalidades de hemodiálisis de alto flujo y hemodiafiltración en línea posdilucional²². La media de Qa obtenida por TD en publicaciones recientes que incluyeron a pacientes portadores de FAVI fueron 1034 ml/min y 1170 ml/min sin diferencias significativas respecto a la ultrasonografía dilucional y el método Delta-H, respectivamente^{23,24}. Tal y como se muestra en la tabla 1 y la figura 1, la TD presentó también en nuestro estudio una buena correlación de Qa respecto al control ecográfico, obteniendo un CCI > 0,90 y un sesgo de 54,6 ml/min y 10,2 ml/min en los pacientes portadores de FAVI e injertos protésicos PTFE. A pesar de ello, tal y como se evidencia en los intervalos de confianza (tabla 1) y en la representación gráfica de Bland-Altman (figura 1), existe una mayor dispersión de resultados para valores de Qa superiores a 1000 ml/min. Dicho fenómeno fue descrito previamente en el estudio de Merino et al.²⁵ entre la dialisancia iónica y la ultrasonografía dilucional. En estas situaciones clínicas, creemos que tiene mayor importancia una reducción significativa del valor basal del Qa como método de cribaje para la realización de una prueba de imagen que permita el diagnóstico precoz de la disfunción significativa del AV.

Según los resultados de medición obtenidos en el subgrupo de pacientes con FAVI radio-cefálicas con anastomosis L-T, la mejor equivalencia respecto a la arteria humeral en la medición del Qa resultó el sumatorio entre las arterias cubital y radial. El valor de sesgo medio obtenido resultó de -129 ml/min, un 89,5 % del flujo total humeral. A pesar de ello, su medición práctica puede llevar a posibles sesgos de medición, al tratarse de dos mediciones ecográficas en vasos arteriales de pequeño diámetro. En este sentido, sería interesante la aplicación de la TD como método indirecto automatizado con buena correlación respecto a la arteria humeral. La medición en la vena eferente también se encuentra sujeta a errores de medición relacionados con variaciones de diámetro, presencia de turbulencias y vibraciones¹¹.

La ED representa un método de segunda generación que nos permite la monitorización del AV mediante la medición del Qa, pero también la determinación de diferentes parámetros morfológicos y hemodinámicos. El criterio morfológico sugestivo de estenosis es una reducción vascular > 50 % en modo B acompañado de la presencia de flujo turbulento (*aliasing*) en la modalidad Doppler-color. Dentro de los criterios funcionales descritos, cabe destacar una elevación en la velocidad pico sistólico o máxima > 400 cm/seg (VPS), una ratio de VPS entre la zona estenótica y preestenótica > 2 en FAVI o > 3 en PTFE, elevación del índice de resistencia en arteria humeral > 0,6 o las alteraciones del Qa anteriormente mencionadas^{11,26}. Tal y como se resume en la tabla 3 y la figura 3, los pacientes de nuestro estudio con presencia de estenosis significativas del AV presentaron dichas alteraciones hemodinámicas, así como una menor dosis de hemodiálisis (Kt). Tras la revascularización endovascular con catéter balón de angioplastia, se observó una recuperación tanto del Qa determinado me-

Tabla 3. Análisis comparativo de los diferentes parámetros hemodinámicos obtenidos mediante ecografía-Doppler (pre-ATP) entre los casos con disfunción y el resto de los pacientes

	Disfunción (n = 5)	Normal (n = 59)	Valor de p ^a
* Qa AH-PTFE	477,2 ± 271,3 ml/min	1476,8 ± 739,4 ml/min	0,000
* VPS AH-PTFE	155,4 ± 60,5 cm/seg	162,0 ± 53,2 cm/seg	0,629
* IR AH-PTFE	0,60 ± 0,08	0,51 ± 0,08	0,020
* VPS vena	439,7 ± 82 cm/seg	137,9 ± 100,9 cm/seg	0,000
* Ratio VPS	3,07 ± 0,99	0,94 ± 0,95	0,000

ATP: revascularización mediante catéter balón de angioplastia; FAVI: fistula arteriovesnosa interna; IR: índice de resistencia; PTFE: politetrafluoroetileno; Qa AH-PTFE: medición Qa en arteria humeral (FAVI) o tramo arterial del injerto (PTFE); ratio VPS: velocidad pico sistólico zona estenótica/zona preestenótica; VPS AH-PTFE: velocidad pico sistólico en arteria humeral (FAVI) o tramo arterial del injerto (PTFE); VPS vena (disfunción): velocidad pico sistólico a nivel de tramo venoso con estenosis; VPS vena (normal): velocidad pico sistólico a nivel del tercio medio de la vena eferente o tramo arterial del injerto protésico.

^a Test U de Mann-Whitney.

dante TD (895 ml/min frente a 663 ml/min; $p = 0,043$) como del Kt (79 l frente a 61 l; $p = 0,043$). La sensibilidad diagnóstica de la ED para el diagnóstico de estenosis significativas oscila entre el 80 % y el 90 %²⁷⁻²⁹. Diferentes estudios han demostrado una mayor supervivencia, menos ingresos hospitalarios y una reducción significativa del gasto sanitario en aquel subgrupo de pacientes bajo una monitorización ecográfica activa^{30,31}.

Una de las limitaciones de nuestro estudio es la no valoración del impacto de la TD como un programa de monitorización prospectiva del AV. Por dicho motivo, creemos necesario el diseño de futuros estudios encaminados a evaluar la eficacia de los métodos basados en la TD como herramienta útil en el diagnóstico precoz de la disfunción vascular y la reducción de las tasas de trombosis.

En resumen, la TD representa un método indirecto automatizado útil en la medición del Qa equiparable a la ED. En el subgrupo de pacientes portadores de FAVI radio-cefálicas con anastomosis L-T, resulta más preciso la medición del sumatorio de flujos en las arterias radial y cubital. Sin embargo, en esta situación clínica, la TD presenta una excelente correlación respecto a los valores obtenidos en la arteria humeral.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés potenciales relacionados con los contenidos de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dhingra RK, Young EW, Hulbert-Shearon TE, Leavey SF, Port FK. Type of vascular access and mortality in U.S. hemodialysis patients. *Kidney Int* 2001;60:1443-51.
- Rodríguez Hernández JA, González Parra E, Julián Gutiérrez JM, Segarra Medrano A, Almirante B, et al. Vascular access guidelines for hemodialysis. *Nefrología* 2005;25 Suppl 1:3-97.
- Tordoir J, Canaud B, Haage P, Konner K, Basci A, Fouque D, et al. EBPG on Vascular Access. *Nephrol Dial Transplant* 2007;22 Suppl 2:ii88-117.
- National Kidney Foundation. KDOQI Clinical Practice Guidelines and Clinical Practice Recommendations for 2006 Updates: Haemodialysis Adequacy, Peritoneal Dialysis Adequacy and Vascular Access. *Am J Kidney Dis* 2006;48(Suppl 1):S1-S322.
- Polkinghorne KR, McDonald SP, Atkins RC, Kerr PG. Vascular access and all-cause mortality: a propensity score analysis. *J Am Soc Nephrol* 2004;15:477-86.
- Schwarz C, Mitterbauer C, Boczula M, Maca T, Funovics M, Heinze G, et al. Flow monitoring: performance characteristics of ultrasound dilution versus color Doppler ultrasound compared with fistulography. *Am J Kidney Dis* 2003;42:539-45.
- Gotch FA, Buyaki R, Panlilio F, Folden T. Measurement of blood access flow rate during hemodialysis from conductivity dialysance. *ASAIO J* 1999;45:139-46.
- Schneditz D, Wang E, Levin NW. Validation of haemodialysis recirculation and access blood flow measured by thermodilution. *Nephrol Dial Transplant* 1999;14:376-83.
- Fontseré N, Blasco M, Maduell F, Vera M, Arias-Guillén M. Practical utility of on-line clearance and blood temperature monitors as noninvasive techniques to measure hemodialysis blood access flow. *Blood Purif* 2011;31:1-8.
- Stewart SF. Effects of transducer, velocity, Doppler angle, and instrument setting on the accuracy of color Doppler ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 2001;27(4):551-64.
- Wiese P, Nonnast-Daniel B. Colour Doppler ultrasound in dialysis access. *Nephrol Dial Transplant* 2004;19:1956-63.
- Lowrie EG, Chertow GM, Lew NL, Lazarus JM, Owen WF. The urea [clearance x dialysis time] product (Kt) as an outcome-based measure of hemodialysis dose. *Kidney Int* 1999;56:729-37.
- Nonnast-Daniel B, Martin RP, Lindert O, Mügge A, Schaeffer J, vd

- Lieth H, et al. Colour Doppler ultrasound assessment of arteriovenous haemodialysis fistulas. *Lancet* 1992;339:143-5.
14. Guyton AC. *Trattato di Fisiologia Medica*. Padova: Piccin; 1995. p. 167.
 15. Schneditz D, Kaufman AM, Levin N. Surveillance of access function by the Blood Temperature Monitor. *Semin Dial* 2003;16:483-7.
 16. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 1999;8:135-60.
 17. Asif A, Leon C, Orozco-Vargas LC, Krishnamurthy G, Choi KL, Mercado C, et al. Accuracy of physical examination in the detection of arteriovenous fistula stenosis. *Clin J Am Soc Nephrol* 2007;2:1191-4.
 18. Smits JH, van der Linden J, Hagen EC, Modderkolk-Cammeraat EC, Feith GW, Koomans HA, et al. Graft surveillance: venous pressure, access flow, or the combination? *Kidney Int* 2001;59:1551-8.
 19. Tonelli M, Jindal K, Hirsch D, Taylor S, Kane C, Henbrey S. Screening for subclinical stenosis in native vessel arteriovenous fistulae. *J Am Soc Nephrol* 2001;12:1729-33.
 20. Tessitore N, Bedogna V, Poli A, Mantovani W, Lipari G, Baggio E, et al. Adding access blood flow surveillance to clinical monitoring reduces thrombosis rates and costs, and improves fistula patency in the short term: a controlled cohort study. *Nephrol Dial Transplant* 2008;23:3578-84.
 21. Wang E, Schneditz D, Ronco C, Levin NW. Surveillance of fistula function by frequent recirculation measurements during high efficiency dialysis. *ASAIO J* 2002;48:394-7.
 22. Fontseré N, Maduell F, Blasco M, Vera M, Arias M, Mestres G, et al. Thermodilution versus saline dilution method for vascular access blood flow measurements in high-flux and on-line hemodiafiltration. *J Vasc Access* 2012;13(4):482-9.
 23. Wijnen E, Essers S, van Meijel G, Kooman JP, Tordoir J, Leunissen KM, et al. Comparison between two on-line reversed line position hemodialysis vascular access flow measurement techniques: saline dilution and thermodilution. *ASAIO J* 2006;52:410-5.
 24. Roca-Tey R, Samon R, Ibrik O, Giménez I, Viladoms J. Measurement of vascular access blood flow rate during hemodialysis in 38 patients using the thermodilution technique. A comparative study with the Delta-H method. *Nefrologia* 2008;28:447-52.
 25. Merino JL, Teruel JL, Galeano C, Fernández Lucas M, Ocaña J, Rivera M, et al. Blood flow determination in vascular access with ionic dialysance. *Nefrologia* 2006;26:481-5.
 26. Lockhart ME, Robbin ML. Hemodialysis access ultrasound. *Ultrasound Quarterly* 2001;17:157-67.
 27. MacDonald MJ, Martin LG, Hughes JD, Deepak K, Deborah CS, Laurence AH. Distribution and severity of stenoses in functioning arteriovenous grafts: a duplex and angiographic study. *The Journal of Vascular Technology* 1996;20:131-6.
 28. Robbin ML, Oser RF, Allon M, Clements MW, Dockery J, Weber TM, et al. Hemodialysis access graft stenosis: US detection. *Radiology* 1998;208:655-61.
 29. Doelman C, Duijm LE, Liem YS, Froger CL, Tielbeek AV, Donkers-van Rossum AB, et al. Stenosis detection in failing hemodialysis access fistulas and grafts: comparison of color Doppler ultrasonography, contrast-enhanced magnetic resonance angiography, and digital subtraction angiography. *J Vasc Surg* 2005;42:739-46.
 30. Malik J, Slavikova M, Svobodova J, Tuka V. Regular ultrasonographic screening significantly prolongs patency of PTFE grafts. *Kidney Int* 2005;67:1554-8.
 31. Dossabhoy NR, Ram SJ, Nassar R, Work J, Eason JM, Paulson WD. Stenosis surveillance of hemodialysis grafts by duplex ultrasound reduces hospitalizations and cost of care. *Semin Dial* 2005;18:550-7.