

Análisis intraoperatorio del flujo del injerto coronario

Luis F. López Almodóvar

Servicio de Cirugía Cardíaca
Complejo Hospitalario de Toledo

El objetivo de la cirugía coronaria es volver a proporcionar riego sanguíneo al miocardio isquémico a fin de que el corazón pueda satisfacer las necesidades metabólicas del organismo. La oclusión intraoperatoria de injertos es una causa importante de morbilidad operatoria. Por este motivo, es de gran trascendencia confirmar la permeabilidad del injerto coronario durante la cirugía. El análisis del flujo del injerto coronario mediante la tecnología del tiempo de tránsito es un sistema que nos proporciona información, de forma rápida y sencilla, sobre si el injerto está permeable o no. El análisis de la onda, el flujo medio y los valores que derivan del mismo ayudan al cirujano a conocer si el injerto realizado está permeable o por el contrario existe algún error técnico que pudiera conducir a una oclusión precoz del mismo.

Palabras clave: Cirugía coronaria. Flujometría por tiempo de tránsito. Permeabilidad de injerto.

Intraoperative analysis of coronary graft patency

The purpose of coronary artery surgery is to restore flow to the myocardium so that the heart can meet the metabolic demands of the body. Intraoperative graft failure is an important cause of cardiac mortality and morbidity. Flow-based intraoperative graft patency assessment provides confirmation of the capacity of the graft to supply flow. Transit-time flow measurement allows for a quick and easy assessment of graft flow. Waveform, graft mean flow and derived values assist the surgeon in detecting potential technical errors in the construction of bypasses which could result in early graft failure.

Key words: Coronary artery surgery. Transit-time flow measurement. Graft patency.

INTRODUCCIÓN

La oclusión intraoperatoria de injertos coronarios es una causa importante de morbilidad en cirugía coronaria que ocurre en al menos el 4% de los injertos (8% de los pacientes)^{1,2}, lo que conlleva que entre un 5-20% de los pacientes tengan problemas en algún injerto en el momento del alta hospitalaria³. La oclusión precoz del injerto es la causa más frecuente de infarto perioperatorio, el cual se observa hasta en el 9% de los pacientes⁴, con el consiguiente peor pronóstico a largo plazo⁵.

Por lo tanto, la permeabilidad del injerto es fundamental para asegurar el éxito de la cirugía coronaria. La medición del flujo de los injertos coronarios es una herramienta útil a fin de detectar flujos inadecuados que

traduzcan problemas que el cirujano pueda resolver con la revisión del injerto, y de esta manera asegurar la permeabilidad del mismo.

MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL FLUJO

Se han desarrollado varios métodos de medición del flujo coronario, que emplean distintas técnicas y principios físicos:

- Flujometría electromagnética: emplea el principio de la inducción electromagnética, y ha sido empleado en condiciones experimentales que asumen que el flujo sea laminar. Por este motivo, su aplicación clínica es escasa, al variar el flujo con el movimiento y el hematocrito.
- Flujometría Doppler: emplea el efecto Doppler-Fizeau, basado en el principio del cambio de la frecuencia en relación con la posición del transductor, analizando la velocidad de los hematíes. Aunque es un sistema sencillo, el Doppler continuo tiene baja resolución, y el Doppler pulsado

Correspondencia:
Luis F. López Almodóvar
Servicio de Cirugía Cardíaca
Complejo Hospitalario de Toledo
Avda. Barber, 30
42004 Toledo
E-mail: lopezalmodovar@yahoo.es

se ve artefactado por el ángulo de las ondas ecográficas⁶.

- Fluorescencia intraoperatoria con verde-indocianina: reciente técnica basada en la unión de esta sustancia a proteínas plasmáticas tras su administración endovenosa, y cuya fluorescencia estimulada por un rayo láser se puede visionar en una videocámara. Es un método cualitativo, con buena calidad de imágenes, pero que no nos proporciona una medida del flujo⁷. Recientemente, N.D. Desai, et al.⁸ han demostrado que esta técnica tiene una sensibilidad para detectar estenosis en el injerto o en la zona anastomótica significativamente mayor a la de la flujometría por tiempo de tránsito.
- Angiografía coronaria convencional: sigue siendo el «patrón oro» (*gold standard*), aunque se trata de un procedimiento cruento que pocas veces está disponible en el quirófano.
- Flujometría por tiempo de tránsito: basado en el principio del tiempo de tránsito de ultrasonidos, es el método más extendido actualmente, y al que nos referiremos de aquí en adelante.

FLUJOMETRÍA POR TIEMPO DE TRÁNSITO

La medición del flujo se realiza basándose en el principio del tiempo de tránsito. La sonda perivascular que se coloca alrededor del injerto, empleando gel acústico para mejorar la señal, consiste en dos transductores ultrasónicos y un reflectante acústico. El tiempo que tarda la onda de ultrasonidos en viajar alternativamente de un transductor al otro atravesando el flujo sanguíneo es integrado por el aparato, que nos proporciona una medida del volumen del flujo. A partir de la onda de flujo y del flujo medio, el sistema calcula otros parámetros también de gran interés, como veremos a continuación.

PARÁMETROS DE MEDIDA

No existe un parámetro que por sí solo nos indique la permeabilidad de un injerto. Cuando un injerto está claramente permeable, no suele haber dudas, pues todos ellos en conjunto nos muestran valores favorables. Sin embargo, cuando el flujo que conseguimos medir no es el esperado, es cuando necesitamos hacer una valoración global de todos los parámetros, pues no siempre estaremos ante la necesidad de aceptar que el injerto no está funcionando y lo tenemos que repetir (injerto rotado,

estirado, torsionado o existencia de flujo competitivo a través de la arteria coronaria nativa por lesión no grave).

- Flujo medio: es el primer parámetro que nos muestra el aparato, en tiempo real, y el más rápido en nuestra decisión. Un flujo medio alto siempre indica injerto permeable, aunque éste está influenciado por el tamaño y calidad del injerto y del vaso, presión arterial media y salida del vaso distal. Por este motivo, no sirve *per se* para valorar la calidad de la anastomosis, ya que un defecto técnico en un vaso de gran calibre no tendrá relevancia en el flujo medio, y sí pudiera conducir a un fracaso precoz del injerto, mientras que una anastomosis impecable sobre un vaso de pequeño calibre nos proporcionará un flujo medio bajo⁹. De cualquier forma, un flujo medio escaso (< 3 ml/min) nos debe alertar siempre de un posible problema técnico. Flujos intermedios nos harán valorar otros parámetros. Es el parámetro descrito con mayor valor predictor positivo para detectar problemas¹⁰.
- Índice de pulsatilidad (IP): este índice viene definido como la diferencia entre flujo máximo y mínimo, dividido por el flujo medio:

$$PI = \frac{Q_{\text{máximo}} - Q_{\text{mínimo}}}{Q_{\text{medio}}}$$

El IP (PI, en inglés, *Pulsatility index*) es un parámetro que nació en estudios del campo de la cirugía vascular periférica e intenta ser un estimador de resistencia vascular, a partir del estudio de la velocidad del flujo. En un vaso «normal» que conserve su elasticidad, la amplitud del flujo ($Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}$) será pequeña y el flujo medio grande, con lo cual el PI tenderá a 0. Sin embargo, en un vaso enfermo que haya perdido su elasticidad, el $Q_{\text{máx}}$ será grande y el Q medio pequeño, con lo cual el PI aumentará. Por este motivo, el PI ha sido el índice clásico para determinar la permeabilidad de un injerto si era inferior a 5, que algunos autores rebajan a inferior a 3 si se trata de injertos al territorio de la coronaria izquierda. Sin embargo, hoy sabemos que esto no es siempre así. Recientes estudios utilizando un modelo de estenosis carotídea¹¹, en el que la resistencia distal cerebral tiende a 0, con lo que se acepta que la mayor resistencia debe residir en la estenosis si existe, el PI demostró una débil correlación con la resistencia vascular real ($r = 0,384$; $p < 0,0001$), que era algo superior en el grupo con $PI > 2,9$ ($r = 0,605$; $p < 0,0001$). Por lo tanto, PI bajos no siempre nos indican que el injerto esté bien.

- Patrón de la curva de flujo: se trata de conocer si el injerto simula la fisiología coronaria. Habitualmente la sístole ocupa el primer tercio del ciclo cardíaco y la diástole los restantes dos tercios, por lo que la curva de flujo normal vendrá determinada por un pico sistólico más estrecho, seguido de un pico diastólico más ancho. Podemos encontrar tres patrones característicos:
 - Balanceado: el pico sistólico supera en menos del 10% el pico diastólico.
 - Dominancia sistólica: el pico sistólico supera en más del 10% el pico diastólico.
 - Dominancia diastólica: el pico diastólico excede al sistólico.

Los injertos al territorio de la coronaria izquierda muestran dominancia diastólica, mientras que los injertos al territorio de la coronaria derecha (ventrículo derecho) muestran típicamente patrón balanceado, aunque también pueden mostrar dominancia diastólica.

En los injertos estenóticos, el pico sistólico domina, con lo que el flujo llamado «de carga», que es el debido a la expansión-contracción de los vasos coronarios con cada latido cardíaco, es visto en la fase de diástole como un «flujo negativo» o retrógrado, como veremos en el siguiente apartado.

El aparato nos muestra el tanto por ciento de flujo diastólico que presenta el injerto: esto suele corresponder a los patrones balanceados y de dominancia diastólica que son los que nos interesan, ya que al durar más la diástole en un ciclo cardíaco cualquiera, en estos patrones obtendremos un porcentaje superior al 50%, aunque hay que recalcar que el concepto de «pico» predominante lo debemos obtener observando el patrón de la curva y no analizando directamente este valor.

- Insuficiencia: es el porcentaje de este flujo negativo o de carga, que es un dato que nos viene proporcionado por el aparato. Si el injerto tiene mucha insuficiencia es debido a una estenosis del mismo o a la existencia de flujo competitivo por una estenosis proximal nativa no grave, con lo cual el flujo competitivo se verá reflejado como flujo negativo retrógrado «de carga». Por lo tanto, una insuficiencia próxima a 0 se considera signo indirecto de permeabilidad, mientras que una insuficiencia alta es propia de injertos «anormales», bien por estenosis o por gran flujo competitivo. En este último caso (competencia de flujo) se observan las mayores insuficiencias. Ello hace que sea un parámetro con un valor predictor positivo bajo (cercano al 50%¹⁰).

- Razón de la transformada rápida de Fourier: este nuevo parámetro, que viene proporcionado por el aparato, tiene enorme importancia, pues es capaz de reconocer el flujo competitivo, y en recientes trabajos ha demostrado tener un alto valor predictor. Su principio físico es sencillo: mediante la transformación de la onda periódica, se pasa de una función de tiempo a una función de frecuencias, y se descompone en un conjunto de densidades espectrales: la mayor de estas componentes es la frecuencia fundamental (F_0) y el resto son armónicos, de los cuales se utiliza el primero (H_0). El cociente entre frecuencia fundamental y primer armónico (F_0/H_0) determina un valor sobre el que Y. Takami y H. Ina¹² han logrado situar un punto de corte en 1; valores inferiores corresponden a injertos ocluidos.

ALGUNOS CONSEJOS

- En los años venideros no podremos conformarnos con hacer las cosas, sino que tendremos que asegurar los resultados. Por lo tanto, no podemos prescindir de aquellos dispositivos que de forma sencilla y rápida nos permiten mejorar la calidad asistencial que prestamos. Al comprobar la permeabilidad de los injertos que hemos realizado no estamos perdiendo el tiempo... ¡lo estamos invirtiendo!
- El tamaño de la sonda debe ser acorde con el diámetro del injerto; si el índice de acoplamiento acústico no es bueno puede que estemos obteniendo una curva imperfecta que nos lleve a tomar como ocluido un injerto que esté permeable. Además, es necesario utilizar gel acústico para evitar interferencias.
- En los injertos arteriales, descartar siempre el vasospasmo empleando vasodilatadores tópicos.
- La causa más frecuente de obstrucción de un injerto, sobre todo en el caso de los venosos, es la rotación o torsión por quedar demasiado largos¹³.
- La competencia de flujo y una salida pobre pueden ser la causa de que no obtengamos los valores esperados.
- Los injertos al territorio de la coronaria izquierda nos proporcionan, en general, «mejores valores» que los injertos al territorio de la coronaria derecha. Estas diferencias son fisiológicas.
- El análisis de la curva, el flujo medio y el PI son suficientes si los analizamos de una forma integrada.

- El valor de la transformada de Fourier nos puede ser de gran ayuda en los casos de competencia de flujo, cuando sea superior a 1.
- K.B. Kim, et al.¹⁴ han demostrado una sensibilidad del 96,2% y una especificidad del 76,9% en la detección de injertos con problemas (ocluidos o con flujo competitivo) cuando se aplican los siguientes cuatro criterios:
 - Dominancia sistólica o balanceada en el territorio de la coronaria izquierda o dominancia sistólica en el territorio de la coronaria derecha.
 - Flujo medio < 15 ml/min.
 - PI > 3 en el territorio izquierdo o PI > 5 en el territorio derecho.
 - Insuficiencia > 2%.

Para distinguir entre injerto ocluido o con flujo competitivo, acudir al valor de la transformada de Fourier.

CONCLUSIONES

La oclusión intraoperatoria de injertos es una causa frecuente de complicaciones en el postoperatorio de la cirugía coronaria, con importante implicación tanto en la morbilidad operatoria como en los resultados a largo plazo. Esto hace necesario la necesidad de asegurar la permeabilidad de los injertos en quirófano, y de revisar aquellos que no estén permeables o presenten errores técnicos que les pueda conducir a una oclusión precoz, con objeto de mejorar la calidad en la cirugía que se les ofrece a los pacientes.

La flujometría por tiempo de tránsito constituye en la actualidad el método de elección para valorar el flujo de los injertos. Nos proporciona varios parámetros, con el objetivo de ayudarnos a determinar si el injerto está permeable. Aunque se necesita habitualmente una valoración global de todos ellos, lo cual se hace de manera rápida y sencilla, parámetros clásicos como el flujo medio y el PI están dejando paso a otros nuevos, como el patrón de la curva o el valor de la razón de la transformada rápida de Fourier, con objeto de que podamos asegurar la permeabilidad del injerto incluso en condiciones adversas, como vasos finos, con salida pobre o flujo competitivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Puskas JD, Thourani VH, Marshall JJ, et al. Clinical outcomes, angiographic patency and resource utilization in 200 consecutive off-pump coronary bypass patients. *Ann Thorac Surg* 2001;71:1477-83.
2. D'Ancona G, Karamanoukian HL, Ricci M, Schmid S, Bergsland J, Salerno TA. Graft revision alter transit-time flow measurement in off-pump coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000;17:287-93.
3. Goldstein JA, Safian RD, Aliabadi D, et al. Intraoperative angiography to assess graft patency after minimally invasive coronary bypass. *Ann Thorac Surg* 1998;66:1978-82.
4. Taggart DP. Biochemical assessment of myocardial injury after cardiac surgery: effects of a platelet activating factor antagonist, bilateral internal thoracic artery grafts, and coronary endarterectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000;120:651-9.
5. Yusuf S, Zucker D, Peduzzi P, et al. Effect of coronary artery bypass graft surgery on survival: overview of 10-year results from randomised trials by the coronary artery bypass graft surgery trialists collaboration. *Lancet* 1994;344:563-70.
6. Louagie YAG, Brockmann CE, Jamart J, et al. Pulsed Doppler intraoperative for assessment and midterm coronary graft patency. *Ann Thorac Surg* 1998;66:1282-8.
7. Balacumaraswami L, Taggart DP. Digital tools to facilitate intraoperative coronary artery bypass graft patency assessment. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2004;16:266-71.
8. Desai ND, Miwa S, Kodama D, et al. A randomized comparison of intraoperative indocyanine green angiography and transit-time flow measurement to detect technical errors in coronary bypass grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006;132:585-94.
9. D'Ancona G, Karamanoukian HL, Ricci M, Salerno TA, Bergsland J. Intraoperative graft patency verification in cardiac and vascular surgery. Nueva York: Futura Publishing Company, Inc; 2001.
10. DiGiammarco G, Pano M, Cirmeni S, Pelini P, Vitolla G, Di Mauro M. Predictive value of intraoperative transit-time for measurement for short-term graft patency in coronary surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006;132:468-74.
11. Aleksin M, Henkenkamp J, Gawenda M, Brunkwall J. Pulsatility index determination by flowmeter measurement: a new indicator for vascular resistance? *Eur Surg Res* 2004;36:345-9.
12. Takami Y, Ina H. Relation of intraoperative flow measurement with postoperative quantitative angiographic assessment of coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2001;72:1270-4.
13. Leona DKH, Ashok V, Nishkantha A, Hong Shan Y, Sim EKW. Transit-time flow measurement is essential in coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2005;79:854-8.
14. Kim KB, Kang CH, Lim C. Prediction of graft flow impairment by intraoperative transit-time flow measurement in off-pump coronary artery bypass using arterial grafts. *Ann Thorac Surg* 2005;80:594-9.