



## Medición intraoperatoria de flujo, una herramienta eficaz en la Cirugía de Revascularización Miocárdica

### Intraoperative flow measurement, an effective tool in Myocardial Revascularization Surgery

**John Karol Ramírez, Manuel Nafeh Abi-Rezk, Yasser Colao Jimenez**

**Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”. La Habana, Cuba**



**Correspondencia:** Dr. John Karol Ramírez, Email: johnkco@gmail.com

### RESUMEN

Según la OMS, la enfermedad coronaria es la primera causa de muerte a nivel mundial, asociado entre otros factores a una mayor expectativa de vida y a la creciente prevalencia de comorbilidades como la diabetes mellitus y la HTA. La preconización del tratamiento quirúrgico en las diferentes guías de actuación como abordaje de elección para las lesiones complejas del árbol coronario en cuadros no agudos, y el hecho que entre un 7–15% de los injertos se ocluyen antes del alta hospitalaria y hasta un 30% al año, en gran medida por fallos en la calidad técnica de los injertos, ha motivado el desarrollo de diferentes métodos para la evaluación intraoperatoria de los hemoductos. El objetivo de esta investigación es dilucidar cuál es el medio más idóneo, inocuo, costo efectivo y reproducible de los disponibles, concluyéndose que a pesar de ser la angiografía intraoperatoria convencional el estándar para la valoración, no se adapta a las necesidades descritas, imposibilitando la generalización de su uso. La Flujiometría por Tiempo de Transito es un método sencillo de realizar, inofensivo para el paciente y el operador, y económico que permite evaluar de manera objetiva la calidad de los injertos con una especificidad de hasta el 98.4%, una sensibilidad que oscila entre el 25%-96%, y un valor predictivo positivo que llega al 100% al usarlo en conjunto con otros métodos como el Ultrasonido Transepicárdico, pudiéndose considerar, como la herramienta intraoperatoria más adecuada.

**Palabras Clave:** Medición de Flujo intraoperatoria, Flujiometría por tiempo de tránsito, Ultrasonido transepicárdico, Flujiometría Doppler.

## **SUMMARY**

According to the WHO, coronary heart disease is the leading cause of death worldwide, associating, among other factors, a higher life expectancy and the growing prevalence of comorbidities such as diabetes mellitus and hypertension. The recommendation of surgical treatment in the different guidelines for action as the approach of choice for complex lesions of the coronary tree in non-acute conditions, and the fact that between 7-15% of the grafts are occluded before hospital discharge and up to 30 % in first year, largely due to faults in the technical quality of the grafts, has led to the development of different methods for the intraoperative evaluation of the hemoducts. The objective of this research is to elucidate which is the most suitable, safe, cost effective and reproducible of the available ones. Being able to conclude that in spite of the conventional angiography is the goldstandard for the intraoperative evaluation, is not adaptable to the needs described before, making impossible to generalize its use. Transit time flow measurement is a simple method to perform, harmless for the patient and the operator, and economical, allowing to objectively evaluate the quality of the grafts with a specificity of up to 98.4%, a sensitivity that ranges from 25% - 96%, and a positive predictive value that reaches 100% when used in conjunction with other methods such as Epicardial Ultrasonography, thus being considered as the most appropriate intraoperative tool.

**Keywords:** Intraoperative Flow Measurement, Transit time flow measurement, Epicardial Ultrasonography



## Introducción

Según la OMS<sup>1</sup>, la cardiopatía isquémica es la primera causa de muerte a nivel mundial, siendo responsable del 12.7% de los fallecidos, provocando cada año en los Estados Unidos de América (EUA), 525.000 nuevos infartos y 210.000 recurrencias, con una prevalencia del 6.2% en la población mayor de 20 años<sup>2</sup>.

El *Pathobiological Determinants of atherosclerosis in youth Research Group* dentro de las conclusiones del estudio PDAY<sup>3</sup> al evaluar a 2876 personas fallecidas de entre 15 y 35 años por diferentes causas externas, encontró que la aterosclerosis temprana está presente virtualmente en todas las personas en este rango de edad, además que lesiones en las arterias coronarias son reconocibles en un 24% de los hombres entre 15 y 19 años. Lo anterior junto con el aumento de la sobrevivencia producto de la mejora sistemática en las condiciones de vida y al mayor control de las enfermedades infecciosas, ha provocado que las enfermedades crónicas no transmisibles tengan una mayor prevalencia así como sus efectos sobre los diferentes órganos sean cada vez más manifiestos lo que a su vez se traduce en una mayor presencia de lesiones complejas en el árbol coronario.

El control cada vez más estricto de su evolución producto de una acérrima

intervención sobre los principales factores de riesgo modificables (dislipidemias, tabaquismo, hipertensión arterial y diabetes mellitus) y junto a la optimización del tratamiento médico, ha permitido reducir el número de muertes de causa cardiovascular por cada 100.000 habitantes de manera sostenida. En los EUA entre los años 2000 y 2010 hubo un descenso de 500.8 a 347.3<sup>4</sup>, la población de la Unión Europea (UE) reportó una caída entre el 2006 y el 2008 de 97.9 a 88.4<sup>5</sup> y Canadá entre 1994 y 2005 de 191 a 125<sup>6</sup>. De acuerdo con las últimas guías de las sociedades Europeas<sup>7</sup> y Estadounidenses<sup>8</sup>, la Cirugía de Revascularización Miocárdica (CRM) es un tratamiento adecuado para todas las lesiones del árbol coronario excepto aquella de uno o dos vasos sin estenosis proximal de la arteria Descendente Anterior (DA) y es superior al Intervencionismo Coronario Percutáneo (ICP) en todas en donde esté incluido el tronco coronario izquierdo y tengan un puntaje SYNTAX mayor a 32 y en lesiones de tres o más vasos con un puntaje mayor de 22. No obstante a esto, múltiples autores han encontrado al evaluar la calidad de los hemoductos usando la angiografía convencional posoperatoria, que entre un 7 – 15% se ocluyen antes de las 24 horas<sup>9-12</sup>, y hasta un 30% al año<sup>10</sup>. En el estudio PREVENT IV (*The PProject of Ex-vivo Vein Graft ENgineering via Transfection IV*)<sup>13</sup>, se siguieron pasado un año con angiografía

convencional los pacientes revascularizado quirúrgicamente, definiendo previamente como fallo del injerto a una estenosis de más 75%, logrando identificar lesiones significativas en el 25% de los puentes de vena safena y el 8% de los hemoductos de mamaria interna, además de ello se pudo constatar que el desarrollo de un nuevo infarto de miocárdico y / o muerte se presentó en el 0.9% de los pacientes en quienes no existían alteraciones en ninguno de los injertos de vena safena en comparación con el 13.9% de aquellos que tenían al menos uno ocluido, siendo este, ante tal evidencia, uno de los factores de riesgo perioperatorios más importantes de aparición de eventos mayores cardiovasculares<sup>10</sup>.

Las alteraciones en el flujo sanguíneo a través de los hemoductos se han relacionado principalmente con errores técnicos en las anastomosis distales o proximales<sup>10-12</sup>, por tal razón, el encontrar un método para su evaluación intraoperatoria que permita la identificación y corrección inmediata de aquellos que estén defectuosos es vital para el éxito de esta intervención<sup>14</sup>.

La angiografía coronaria convencional intraoperatoria ha mostrado desde sus inicios ser el estándar de referencia (*goldstandard*) para este fin<sup>9-16</sup>, permitiendo

no sólo visualizar el flujo sanguíneo en los injertos, la calidad de las anastomosis y los lechos distales, si no también evidenciar aquellas estenosis que no provocan alteraciones en la dinámica del flujo (< 50%), pero el requerimiento de salones híbridos (aquellos en los que es posible realizar ICP y CRM al mismo tiempo), la necesidad del uso de contrastes que pueden ser nefrotóxicos, la exposición a radiaciones al paciente en varias ocasiones y el requerimiento de personal extra entrenado en su realización, hace que económicamente sea inviable para los diferentes sistemas de salud<sup>10,14</sup>.

El método por utilizar además de ser veraz debe ser fácil de realizar e interpretar, inocuo para el paciente y a un costo que lo haga sustentable<sup>14</sup>, decantándose así: la flujometría electromagnética, la flujometría por Doppler pulsado, la ecocardiografía transepicárdica, la flujometría por tiempo de tránsito (TTFM) y la angiografía fluorescente con Indocaina verde (ICG) como los más adecuados. El objetivo de la revisión es definir cual o cuales son lo que mas se adaptan a las necesidades del sistema de salud cubano y poder, basados en la evidencia científica, hacer las recomendaciones necesarias que faciliten e incentiven su uso y generalización en los



diferentes hospitales que prestan el servicio de cirugía cardiovascular en el país.

### **Material y Método**

Para lograr el propósito descrito, fue llevada a cabo una revisión de la literatura sobre el tema. Los artículos fueron encontrados usando las bases de datos PubMed, Scielo, Science direct y Dinamed, además del buscador de internet Google Scholar. Dentro de las palabras clave utilizadas se destacan: medición intraoperatoria de flujos, cirugía coronaria, revascularización miocárdica, flujometría Doppler, flujometría por tiempo de tránsito, angiografía por indocaina verde, angiografía convencional en la cirugía de revascularización miocárdica, así como su traducción al inglés entre otras. Se seleccionaron escritos en inglés y en español. El periodo de publicación fue preferentemente desde el 2012 a la fecha, aunque se tuvieron en cuenta algunos mucho más antiguos dado que los principios de las técnicas descritas se remontan al siglo pasado o a principios de este. Es de destacar que no se encontró información sobre el tema en Cuba. Se descargaron aproximadamente 200 artículos, seleccionándose los citados en la bibliografía por ser, a juicio de los autores, los más completos y actualizados.

### **Discusión**

Los fallos en los injertos no son un hecho infrecuente; Aydin y colaboradores<sup>9</sup> a través de cineangiografía transoperatoria en

salones híbridos detecto alteraciones en el 3% de las anastomosis, correspondientes al 6% de los pacientes operados. Cifras similares fueron reportadas por D'Ancona<sup>12,16</sup> (4% y 8% respectivamente). Este hecho ha sido asociado en gran medida a errores técnicos durante su elaboración, pudiendo evidenciarse entre un 5 - 20% de injertos mal funcionantes al alta<sup>16</sup> y hasta un 30% al año<sup>10</sup>, siendo un factor determinante en la aparición de isquemia perioperatoria e infarto agudo de miocardio (reportado hasta en un 9% de los pacientes intervenidos), y de un mal pronóstico a corto y largo plazo<sup>16</sup>. Las guías actuales de revascularización miocárdica<sup>7,8</sup> recomiendan la evaluación intraoperatoria de los hemoductos con fin de excluir alteraciones en el flujo sanguíneo a través de ellos. La valoración en la calidad del injerto usado en la CRM comienza con la inspección y palpación para determinar la presencia de onda de pulso y la presión en su interior, aspectos que acompañados de los cambios eléctricos que pudiesen observarse en los monitores electrocardiográficos pudieran permitir dilucidar la presencia de isquemia debido a su mal funcionamiento, este método es relativamente útil pero incompleto en los casos donde existe una oclusión significativa del conducto evaluado, no aportando datos objetivos que permitan crear una línea de corte entre la normalidad y estando limitada a la percepción obtenida por las manos del

cirujano, haciendo necesario el uso de un instrumento que permita medir las diferentes características del torrente hemático que cruza por el injerto e identificar aquellos que requieran ser corregidos<sup>16,17,18</sup>.

La angiografía convencional ha sido históricamente el método usado para evaluar la calidad de los hemoductos realizados<sup>9-15</sup>, y debido a que permite definir lesiones que no producen cambios funcionales (estenosis < 50%) y visualizar no solo los puntos anastomóticos sino el hemoducto per se y el lecho coronario distal, es el estándar de comparación usado para evaluar las demás técnicas, pero por la necesidad de personal y mobiliario extra (salón híbrido) que se traduce en un alto costo y por representar una agresión adicional para el paciente (radiaciones, contrastes nefrotóxicos y mayores tiempos operatorios) su uso no está generalizado<sup>10,17</sup>. Di Giammarco aborda el tema y recomienda que el método a utilizar además de ser veraz debe ser inocuo para el paciente, sencillo y reproducible, y a un costo aceptable<sup>14</sup>, pudiéndose así seleccionar de entre todos los existentes: la flujometría electromagnética, la flujometría por Doppler pulsado, la angiografía fluorescente con Indocaina verde (ICG), la ecocardiografía epicárdica, la flujometría por tiempo de tránsito (TTFM).

### **Medición Electromagnética del Flujo**

En diciembre de 1959, en la reunión del grupo de Bio-Medical Electronics fue descrito por primera vez el llamado “arte del medir el flujo sanguíneo”, en esa ocasión flujometría electromagnética tuvo un papel preponderante y marcó el inicio de esta práctica<sup>19</sup>. Se fundamenta en la ley de Faraday la cual dice que al pasar un fluido conductivo por un campo magnético se produce una Fem (fuerza electromotriz) directamente proporcional a la velocidad del Flujo<sup>16</sup>. Utilizando una sonda perivascular, se crea un campo magnético a través del cual pasa la sangre, que gracias a su contenido de hierro se comporta como conductor. Por medio de dos electrodos que se posicionan uno frente del otro al interior de la sonda se determina la diferencia de voltaje y con ella la velocidad y el volumen del flujo<sup>11,14,20</sup>.

El inconveniente de este sistema radica en que el volumen del flujo sólo puede ser obtenido si se conoce el diámetro del vaso estudiado, por lo cual la sonda debe ser calibrada de forma cuidadosa, evitando la presencia de espacios entre ella y la pared vaso sin comprimirlo, requiriéndose exponer de manera integral el hemoducto pudiendo así inducir al espasmo (arterias) y / o producir lesiones en su pared<sup>20</sup>. Se describe



además que los valores obtenidos pueden verse influenciados por el movimiento y el hematocrito del paciente, motivos por los cuales se desaconseja su uso rutinario<sup>17</sup>.

### **Flujometría por Doppler Pulsado**

La flujometría Doppler utiliza el principio que lleva el mismo nombre, fundamentándose en el hecho que la frecuencia de las ondas de sonido es mayor si el origen se aleja y menor si se acerca<sup>16-19</sup>. Utilizando un transductor emisor y otro receptor adyacente mide los cambios de dicha frecuencia al reflejarse las ondas en los glóbulos rojos<sup>16</sup>. Existen dos tipos: el continuo que es un sistema fácil de usar, pero con discreta resolución no permitiendo una valoración precisa del injerto, y el pulsado que proporciona una evaluación satisfactoria de la velocidad de flujo, pero se ve grandemente afectado por los diámetros y la forma del vaso, y el ángulo del as ultrasonido lo que ha provocado que haya caído en desuso<sup>17,18</sup>.

Gill, en su artículo "*Measurement of blood flow by ultrasound: accuracy and sources of error*"<sup>21</sup> expone que *in vivo* e *in vitro* los métodos Doppler tiene una precisión satisfactoria para la medición del flujo sanguíneo y que los errores que se pueden presentar en su uso sistemático son del 6% o menos y pueden ser mejorados con el diseño de mejores transductores y la realización varias mediciones con el fin de reducir los errores en el cálculo del área de sección transversal y el ángulo. Louagie y

colaboradores<sup>20</sup>, usando un transductor con un cristal Doppler y dos receptores lograron calcular el diámetro del injerto y usando la velocidad del flujo obtuvieron el volumen permitiendo una valoración más completa.

Actualmente en el Hospital "Hermanos Ameijeiras" existe la experiencia con un dispositivo Doppler de fabricación nacional en conjunto con la Universidad Autónoma de México (UNAM). Aunque el estudio de validación no se ha concluido, ni se han publicado cortes previos, se puede decir que ha habido una buena correlación clínica entre el pronóstico de los pacientes intervenidos con los valores obtenidos en el transoperatorio. También que se ha podido constatar mejoría en las cifras obtenidas durante las mediciones en aquellos casos en los que se tuvo de manera previa valores considerados como malos y luego de la corrección cifras satisfactorias, lo que se corresponde con una adecuada intervención sobre el vaso el cual estaba (funcionalmente) fallando.

### **Angiografía Fluorescente con Indocaina Verde (ICG)**

En el año 2003, Taggart y colaboradores<sup>17</sup> reportan la primera experiencia con un nuevo método intraoperatorio basado en las propiedades fluorescentes de la Indocaina verde (ICG), la cual luego de su administración endovenosa se une inmediatamente a las proteínas del plasma y al ser expuesta a una fuente de luz láser con

un ancho de banda de 806 nm emite una luz que puede ser captada<sup>10,17,22</sup>. Para su realización se utiliza un dispositivo de imagen SPY producido por Novadaq Technologies Inc. (Canadá), compuesto de un emisor laser y una cámara equipada con un filtro que optimiza esta señal. La luz láser se ubica a una distancia de 30 cm del corazón e irradia un área de 7.5 cm x 7.5 cm penetrando máximo entre 1 y 2 mm del tejido blando para evitar el daño térmico<sup>14,22</sup>. El proceso en general es bastante seguro para el paciente y el operador no requiriendo equipamiento especial para su realización. El riesgo de reacción alérgica a la Indocaina está relacionado con la dosis utilizada, incrementándose cuando se exceden los 0.5 mg/kg<sup>17</sup>.

La secuencia de iluminación comienza con el injerto o la luz coronaria, posteriormente el epicardio y finalmente las venas coronarias. El láser es activado inmediatamente posterior al paso de tinte fluorescente a través de una vía venosa central o alternativamente en la aorta ascendente en los casos Off – Pump, o luego de 5 seg de haberlo administrado en el oxigenador en On – Pump siendo la visualización mucho mejor en las arterias mamarias esqueletizadas e injertos de la arteria radial que en los hemoductos pediculados<sup>17,22</sup>.

La valoración del paso anterógrado de la ICG se hace de modo visual lo que da espacio a la subjetividad y representa una de sus desventajas. Se clasifica en<sup>22</sup>:

- Normal: paso libre de la ICG o a través de una estenosis de menos del 50% en cualquier punto del injerto, en la anastomosis proximal, distal o en el primer cm posterior de la unión con el vaso diana
- Anormal: Paso de la ICG por una estenosis mayor al 50% en cualquier punto del injerto, en la anastomosis proximal, distal o en el primer cm posterior de la unión con el vaso diana
- Ocluido

La angiografía con ICG tiene varias limitaciones. De modo general, el hematocrito, el tamaño del hemoducto, la presión sanguínea, la calidad de los lechos distales y especialmente la presencia de flujo competitivo entre el árbol coronario y el injerto pueden interferir con la calidad de las imágenes obtenidas<sup>10,14,17,22</sup>. La profundidad a la que penetra la luz láser al ser limitada para evitar la lesión de los tejidos irradiados, puede reducir la capacidad de definir de manera satisfactoria detalles en cuanto a la calidad de punto anastomótico en especial cuando la anastomosis es subepicárdica o la mamaria no está completamente esqueletizada<sup>10,17,22</sup>.



Otro aspecto que incide de manera negativa es la imposibilidad de evaluar los vasos en sus posición natural, necesitando el uso de posicionador cardiaco para permitir el acceso a la cámara y consigo la visualización de los vasos explorados<sup>10</sup>.

En un estudio aleatorizado, Desai et al<sup>22</sup> comparó los hallazgos obtenido por ICG con la angiografía convencional obteniendo una sensibilidad del 83%, una especificidad del 100%, y valores predictivos positivo y negativo de 100% y 98% respectivamente. Balacumaraswami y Taggart<sup>17</sup> en una recopilación de diferentes trabajos agruparon un total de 1,491 injertos (514 pacientes), evidenciando que gracias al uso del ICG se lograron identificar alteraciones en los hemoductos en un 5% de los enfermos intervenidos, siendo este valor muy consistente entre los diferentes centros. A su vez contrastaron estos hallazgos con los adquiridos en su serie (746 injertos / 284 pacientes) obteniendo cifras similares, con un fallo en el 1.9% de los hemoductos para un 5% de los pacientes.

### **Ultrasonido Transepicárdico (UTE)**

En los años 80, Hiratzka y colaboradores<sup>23</sup> publican las primeras experiencias usando ultrasonido de alta frecuencia para evaluar la calidad de los conductos anastomosados, en ese momento no tuvo mucha acogida debido a las limitaciones técnicas que presentaba, no siendo hasta en el año 2002 cuando Haaverstad y colaboradores<sup>24</sup> rescatan

nuevamente su uso y demostraron su viabilidad como herramienta para identificar y clasificar las estenosis.

El UTE permite sin riesgo de complicaciones evaluar de manera satisfactoria la amplitud del ostoma, los componentes que lo forman y sus respectivos diámetros tanto proximal como distal a la unión<sup>14</sup>. La adición en sus imágenes de la tecnología de Doppler color le proporciona una más completa apreciación morfológica del injerto y los sitios anastomóticos, proporcionando además datos correspondientes con la velocidad del flujo en este punto, lo que facilita la identificación de las diferentes causas que pudieran incidir negativamente en la funcionabilidad las cuales se asocian en gran medida, como fue dicho antes, a errores técnicos como el pliegue de intima del vaso, una sutura cruzada o una torsión, o de otra índole como las trombosis<sup>10,14</sup>.

En una revisión realizada por Toshihiro Fukui<sup>10</sup>, se reporta la disyuntiva existente entre la correlación de las imágenes obtenidas por ultrasonido y por angiografía convencional en donde las mediciones del diámetro luminal máximo de la anastomosis son comparables y pueden extrapolarse. Citando a Budde et al, dice que UTE pretermite detectar adecuadamente los tres principales errores técnicos que se producen en la construcción de las anastomosis (cruce de la sutura, cierre de la ostomía por la sutura continúa y puntos profundos en los

ángulos o talones) con una sensibilidad y especificidad similar a la de angiografía en un tiempo relativamente corto (promedio de 62 seg por anastomosis). El mayor inconveniente de este estudio fue que se hizo usando cerdos y corazones humanos *postmortem*. Por otro lado, también menciona a Hol y colaboradores, quienes afirman que existe una pobre relación entre ambos métodos, esto debido a que tanto las disecciones como las oclusiones de la arteria nativa y alrededor de la anastomosis son claramente identificadas por la angiografía, pero no por el ultrasonido, lo que hace al primero superior al segundo.

Un aspecto que también ha sido considerado como limitante es que la calidad de las imágenes obtenidas con el UTE son operador dependiente, lo que ha influido en que a pesar de su utilidad su uso no se haya extendido<sup>24</sup>.

### **Flujometría de Tiempo de Tránsito (TTFM)**

Se basa en el principio físico que postula que el tiempo que el sonido utiliza para cruzar a través de un fluido en movimiento, es ligeramente mayor cuando va en contra del flujo que a favor<sup>10-12,14,17</sup>. Fue descrito por primera vez por Franklin et al y Plass, pero las bases teóricas su uso fueron desarrolladas por Drost<sup>25</sup>. La señal de ultrasonido pulsado es transmitida desde dos

transductores uno corriente arriba y otro corriente abajo, ambos localizados a un lado del vaso, al frente de ellos se ubica un reflector. Cada cristal emisor cubre con su señal toda la extensión del vaso y por esta razón los cambios en su diámetro no influyen en la medición<sup>28</sup>.

El transductor no necesita estar en contacto directo con la pared del vaso, aunque el conducto a evaluar debe ocupar al menos el 75% del espacio entre los cristales y el reflector. El uso de un fluido acústico como gel o sangre asegura una buena transmisión acústica<sup>25-27</sup>. Se debe tener en consideración que los giros entre la pared del injerto y el medidor o la compresión hecha sobre el vaso puede causar turbulencias en el flujo e influir en los valores obtenidos, por tal razón durante la valoración se debe mantener el transductor alineado con el eje longitudinal hemoducto evaluado para evitar interferencias<sup>11</sup>. En la cirugía de revascularización miocárdica sin circulación extracorpórea (*off - pump*) la medición es recomendado realizarla justo después de terminar cada puente, y en los casos con circulación extracorpórea (*on - pump*) al salir de esta, al administrar la protamina y antes de cerrar el esternón, en ambos casos siempre con una presión sistólica superior a los 100 mm de Hg<sup>14,26</sup>.



Se debe hacer énfasis en que este método es netamente funcional y por tal razón lesiones que no provoquen cambios en la dinámica de los flujos (aquellas de un 50% o menos), no podrán ser identificadas<sup>27</sup>.

Los parámetros más importantes que se miden con esta herramienta son:

1. Índice de pulsabilidad: es el producto de la relación obtenida de la resta del flujo máximo y mínimo, entre el flujo medio<sup>26-28,31-35</sup>. Es un buen indicador del flujo en el punto anastomótico y por tal razón de su calidad. Es influenciado por la resistencia distal causada por oclusión u estenosis del injerto, estenosis distal del vaso coronario nativo y la presencia del fenómeno de "run – off" (no flujo) en los lechos distales<sup>27</sup>. Valores superiores a 5 son considerados patológicos y por debajo de 3 adecuados<sup>29</sup>. Existen en la actualidad problemas para llegar a un consenso en la zona gris entre 3 y 5, ya que, aunque algunos autores la consideran patológica<sup>28,30</sup>, se ha constado que pueden obtenerse cifras en este rango en casos de flujo competitivo, discrepancias entre el calibre del injerto y el vaso nativo, presencia de gran circulación colateral en el territorio revascularizado, así como otros factores que no se relacionan con la idoneidad de la anastomosis o el hemoducto<sup>14,30</sup>.

2. Flujo medio: Su valor esta dado en ml/min, considerándose normal por encima de 15 ml/min<sup>31-35</sup>, aunque algunos autores más conservadores hablan de valores

mayores a 20 ml/min asociando a cifras hasta por encima de 40 ml/min con un injerto satisfactorio<sup>10,16,17</sup>. Este parámetro es útil para conocer el estado funcional del injerto, estando en estrecha relación con su calidad y la del lecho coronario. Se puede tener en consideración que un flujo medio alto siempre se constata en un injerto permeable pero sus valores son grandemente influenciados por variables ajenas al conducto como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la resistencia vascular y microvascular. Algunos autores como Kieser et al, consideran que valores por debajo de 15 ml/min no siempre son un indicador de mal funcionamiento, y hacen énfasis en que esto puede presentarse ante el espasmo coronario<sup>28</sup>. En lo que sí se ha podido llegar a un consenso es que cuando el flujo medio es menor a 5 ml/min es insuficiente y el injerto ha de ser revisado salvo que el estado hemodinámico del paciente sea la causa de estas cifras<sup>16</sup>.

3. Índice diastólico: entre el 50% y el 80% flujo sanguíneo coronario ocurre fisiológicamente durante diástole<sup>10</sup>. A través de este indicador se puede conocer la proporción del flujo a través del injerto durante la fase diastólica del ciclo cardíaco. Valores por encima de un 50% son considerados normales. Se ha de tener en cuenta que debido a las menores presiones a las que son sometidos los vasos del sistema coronario derecho, se pueden

obtener cifras inferiores sin corresponder a un fallo del puente<sup>17,31-35</sup>

4. Retorno sistólico: es el por ciento del volumen sanguíneo que pasa de forma reversa a través del injerto durante la sístole y representa el flujo competitivo entre este y la circulación coronaria nativa<sup>30</sup>. En el caso de un conducto permeable de mamaria izquierda anastomosado en el territorio de la descendente anterior, se produce por la diferencia de tiempo entre la onda sistólica en el árbol coronario y el injerto, valores superiores a 3% o la ausencia de retorno sistólico (0%) se correlaciona con una alta incidencia de fallo en el punto anastomótico<sup>14</sup>.

Jokinen y colaboradores<sup>26</sup> concluyen que el IP predice la calidad de injerto con mayor certeza que el flujo medio y índice diastólico, correlacionando valores por encima de 3 con una mayor probabilidad de oclusión durante los primeros seis meses posteriores a la intervención, con una sensibilidad y especificidad de 72% y 70% respectivamente. Sin embargo, la interpretación de los parámetros obtenidos por TTFM debe hacerse de manera conjunta, ninguna representa por si sola un indicador fidedigno de la permeabilidad del conducto, aunque, cuando funcionalmente no hay alteraciones, todas muestran valores

satisfactorios (flujo medio mayor a 15 ml/min, un IP menor a 3 y un flujo reverso sistólico mayor de 0 pero menor 3), por esta razón se han propuesto los siguientes escenarios<sup>14</sup>:

- un flujo medio bajo (menos de 15 ml/min) con un IP normal o alto (mayor de 3) y ausencia de flujo reverso sistólico (0%) se correlaciona con un error técnico en el punto anastomótico o en el cuerpo del injerto (disección, hematoma o estenosis);
- un flujo medio bajo, un IP alto y un valor reverso sistólico alto (mayor de 3) está en relación con una unión permeable hecha en un vaso que proximal a su anastomosis no presenta una estenosis crítica existiendo flujo competitivo.

La representación gráfica de la dinámica del flujo permite también obtener información valiosa para la evaluación funcional del hemoducto, conociéndose previamente que un vaso permeable presenta una curva predominantemente diastólica y cóncava, con escaso flujo reverso, en contraste con uno estenótico en donde la curva se observa aguda y principalmente sistólica<sup>14,30</sup>.

A pesar de tener la TTFM una alta especificidad (98.4%) la imposibilidad existente entre los autores de llegar a un acuerdo para fijar un punto de corte en sus valores ha hecho que la sensibilidad reportada en los diferentes estudios varíe



ampliamente (entre 25 y 96%)<sup>14,22,30</sup> lo que provoca que haya un número significativo de injertos normales que son revisados innecesariamente. Ante este panorama se hace énfasis en que la decisión de rehacer una anastomosis no debe estar solamente influenciada por los valores obtenidos en las mediciones sino también en la experiencia del cirujano.

La flujometría de tiempo de tránsito ha sido utilizada ampliamente en los últimos años y validada como un método adecuado para la valoración de la calidad de los injertos realizados en la CRM<sup>10</sup>. Su bajo costo, su fácil realización e interpretación y lo inocuo para el paciente le han permitido tomar ventaja sobre otros actualmente en uso<sup>12,14,26,28</sup>. Canver et al<sup>38</sup>, compararon la TTFM y la flujometría electromagnética en 226 hemoductos correspondientes a 66 pacientes concluyendo que la TTFM fue más precisa, así como también hicieron evidente la gran variabilidad existente en los resultados obtenidos en las mediciones por medio de flujometría electromagnética dependiente del tamaño del sensor y su localización.

La intervención sobre el injerto defectuoso debe coincidir con su mejoría funcional. D'Ancona et al<sup>12</sup> utilizando la TTFM, analizo los hallazgos obtenidos en 41 hemoductos revisados, encontrando que luego de su corrección hubo un incremento en el flujo medio de 6.6 a 36.3 mL/min y un descenso

del IP de 24.4 a 2.8, ambos con significación estadística ( $p < 0.001$ ). Walpoth y colaboradores<sup>39</sup> encontraron un comportamiento similar pasando de un flujo medio de 0.5 ml/min y un IP de 146.9 a 15.9 ml/min ( $p < 0.02$ ) y 3.4 ( $p < 0.001$ ) respectivamente luego de la reparación.

Ante la disyuntiva de cuál ofrece mejores perspectivas, se puede encontrar múltiples estudios en los que se confrontan cada uno de los métodos. Desai et al<sup>22</sup>, comparó el uso intraoperatorio de ICG y TTFM en 106 pacientes realizando a su vez seguimiento con angiografía convencional en aquellos que cumplieron los criterios de inclusión para tal fin (43.3%), reportando diferencia estadísticamente significativa solamente en la sensibilidad, la cual en la ICG fue de 83.3% y en la TTFM de un 25% ( $p: 0.023$ ). La especificidad fue 100% y 98.4%, el valor predictivo negativo (VPN): 98.4 y 93.2 y el valor predictivo positivo (VPP) 100% y 60% respectivamente. Si contrastamos este hecho desde el punto financiero, y se hace una abstracción de los requerimientos para la realización de la TTFM (un sensor esterilizable y un computador a través del cual procesar los datos obtenidos) se evidencia claramente su principal fortaleza sobre los demás métodos: su bajo costo. Balacumaraswami y Taggart<sup>17</sup> en un estudio prospectivo observacional compararon la TTFM con la angiografía con ICG, concluyendo que ambas técnicas son

adecuadas para la valoración de la calidad de flujo coronario teniendo similar capacidad para detectar injertos defectuosos, pero reportan que luego de su revisión un 3.8% de estos conductos la TTFM persistía calificándolos como anormales a pesar que la ICG los mostraba morfológicamente normales, cayendo en la posibilidad de revisiones innecesarias en los casos en los que TTFM se utiliza como medio único de evaluación. Esta discrepancia puede estar en relación con los cambios en la dinámica del injerto causadas por un flujo competitivo con la circulación coronaria nativa o por un pobre flujo distal debido al fenómeno de *run-off* ante una enfermedad coronaria difusa distal muy severa o una mala *compliance* del lecho coronario distal<sup>10</sup>. Partiendo de esta situación de confusión, en años recientes se ha comenzado a evaluar la posibilidad de combinar la TTFM con otros métodos para lograr incrementar su efectividad y disminuir lo más posible las correcciones innecesarias<sup>30,36,37</sup>.

Di Giammarco et al<sup>36</sup>, utilizó TTFM y la ultrasonografía transepicárdica (UTE) de alta resolución en 1733 injertos (741 pacientes), de ellos 39 fueron valorados como inadecuados por el TTFM siendo 2 confirmados por el UTE, logrando un incremento del VPP del 10% a un 100%,

demostrando que ambos métodos se comportan de forma complementaria ya que la TTFM es capaz de definir la calidad funcional del injerto y el UTE las características morfológicas del conducto y las anastomosis, lo que permite una mayor discriminación de las posibles causas de un flujo inadecuado<sup>37</sup>.

Sea cual sea la forma en la que se evalúen intraoperatoriamente los injertos, y aunque se logren corregir todos aquellos que técnicamente tuvieran defectos, no hay que olvidar que la oclusión no depende íntegramente de ello, pudiendo resultar además de torsiones al cerrar el pericardio o el tórax, y / o a fenómenos embólicos o trombóticos en el interior del hemoducto, por lo que no existe una forma de predecir completamente su aparición<sup>10</sup>. Por tal razón el riesgo de fallo agudo de los hemoductos siempre existirá, nos obstante todos los esfuerzos deben estar dirigidos a mejorar la calidad de la revascularización teniendo presente siempre que la cirugía cardiaca se basa en los detalles y no solo en el proceso. Cinco minutos de más pueden representar un infarto menos.

## Conclusiones

La oclusión de injerto es un evento relativamente frecuente en la cirugía de



revascularización miocárdica producto principalmente de errores técnicos en su elaboración, por tal motivo el uso de un método que permitan la evaluación intraoperatoria de los hemoductos e identifique aquellos que necesitan ser corregidos en el transoperatorio, es vital para lograr una mejor evolución del paciente operado al disminuir el número de complicaciones de causa isquémica y consiguientemente la estancia en UCI y en sala de posquirúrgico, el uso de asistencia ventricular y drogas inotrópicas, la necesidad de nueva revascularización sea por ICP o quirúrgica, la recurrencia del infarto y la mortalidad, todo lo que a su vez se traduce en una mejor calidad de la atención médica y en un abaratamiento de los costos por paciente de esta intervención, retribuyendo así de manera positiva al sistema de salud.

En la actualidad la angiografía convencional intraoperatoria es considerada como el estándar de oro, pero prohibitiva para uso cotidiano por su alto costo determinado por el requerimiento de condiciones materiales específicas (salón híbrido) y personal adicional, y representar para el paciente una mayor manipulación con exposición a radiaciones y sustancias nocivas que pueden llevar al traste con su evolución.

La angiografía con ICG ha dado buenos resultados, es un método relativamente seguro para el paciente y el cirujano, pero en

relación con la TTFM no ha logrado una superioridad tal que incite a realizar un mayor gasto económico, y abandonar así una técnica que ofrece valores objetivos del flujo coronario, es fácil de realizar e interpretar y no requiere mayores condiciones materiales para su uso.

La tendencia actual va dirigida a la combinación de los diferentes métodos. El uso de TTFM y el ultrasonido transepicárdico de alta resolución en un mismo paciente permite una mejor identificación de injertos mal funcionantes aprovechando las fortalezas de cada uno, consiguiendo así una mejora significativa en la sensibilidad y en el VPP y con ello disminuir el número de revisiones innecesarias.

Se considera así que la flujometría de tiempo de tránsito es el método que más se acopla a las características del sistema de salud cubano teniendo mayores opciones de ser generalizado en las diferentes instituciones que presten el servicio de cirugía cardíaca. Ha demostrado, en base a la evidencia científica, unos amplios índices de seguridad en la evaluación de la calidad de los injertos realizados, es técnicamente simple de realizar e interpretar, no expone al paciente a mayores tiempos quirúrgicos o a sustancias que pudieran afectar de forma negativa su evolución, y a un costo por debajo de todos los demás medios que existen en la actualidad.

Es destacable además el rol que pudiera tener la flujometría Doppler en el país que, aunque se le ha descrito una menor precisión y por esto ha sido abandonada por algunos grupos, ha venido siendo perfeccionada con el desarrollo de mejores transductores y mediciones seriadas, semejándose en las demás características a las referidas antes al hablar de la TTFM. Se debe tener en consideración también el hecho que actualmente el ICIMAF (Instituto Cubano de Cibernética, Matemática y Física) en colaboración con la UNAM (Universidad Autónoma de México)

han venido desarrollando un dispositivo que utiliza este principio, el cual es usado actualmente en nuestro centro con buenos resultados y en fase de validación. Esto permitiría sustituir importaciones y depender de un producto nacional estimulando consigo la industria tecnológica de la isla, además de con los resultados aportados por otros centros darle impulso a su comercialización en otras latitudes y con ello representar una entrada adicional de divisas para el país.



## Referencias bibliográficas

1. Finegold, J. A., Asaria, P., Francis, D. P. Mortality from ischemic heart disease by country, region, and age: Statistics from World Health Organization and United Nations. *International Journal of Cardiology*. 2013;168: 934–945
2. Dariush Mozaffarian, et al. Heart Disease and Stroke Statistics—2015 Update. A Report from the American Heart Association. *Circulation*. 2015;131: e29-e322
3. Strong, J. P.; et al. Prevalence and extent of atherosclerosis in adolescents and young adults. Implications for prevention from the pathobiological determinants of atherosclerosis in youth study. *JAMA*. 1999; 281 8.
4. Matthew D. R; Fleetwood L; Barbara A. B. et al. Trends in Mortality Rates by Subtypes of Heart Disease in the United States, 2000-2010. *JAMA*. 2014;312(19):2037-2039.
5. Louis S. L; Richard B.; M. John G. Bankart, et al. Association of Features of Primary Health Care With Coronary Heart Disease Mortality. *JAMA*. 2010;304(18):2028-2034.
6. Harindra C. Wijeyesundera, et al. Association of Temporal Trends in Risk Factors and Treatment Uptake with Coronary Heart Disease Mortality, 1994-2005. *JAMA*. 2010;303(18):1841-1847.
7. Authors/Task force members, et al. 2014 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *European journal of cardio-thoracic surgery*, 2014, vol. 46, no 4, p. 517-592.
8. Patel, Manesh R., et al. ACCF/SCAI/STS/AATS/AHA/ASNC/HFSA/SCCT 2012 appropriate use criteria for coronary revascularization focused update: a report of the American college of cardiology foundation appropriate use criteria task force, society for cardiovascular angiography and interventions, society of thoracic surgeons, American association for thoracic surgery, American heart association, American society of nuclear cardiology, and the society of cardiovascular computed tomography. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2012, vol. 143, no 4, p. 780-803.
9. Aydin U, Aydin N, Gorur A, Findik O, Duzyol C, Yilmaz M, et al. Cineangiographic intraoperative evaluation of venous grafts during coronary bypass surgery. *J Card Surg*. 2013; 28:258–61.
10. Toshihiro Fukui. Intraoperative graft assessment during coronary artery bypass surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2015; 63:123–130
11. D'Ancona, Giuseppe, et al. Flow measurement in coronary surgery. *En Heart Surg Forum*. 1999. Vol. 2, No. 2, pp. 121-4.
12. D'Ancona, Giuseppe, et al. Graft patency verification in coronary artery bypass grafting: principles and clinical applications of transit time flow measurement. *Angiology*, 2000, vol. 51, no 9, p. 725-731.
13. Magee MJ, Alexander JH, Hafley G, Ferguson TB Jr, Gibson CM, Harrington RA, et al. PREVENT IV Investigators. Coronary artery bypass graft failure after on-pump and off-pump coronary artery bypass: findings from PREVENT IV. *Ann Thorac Surg*. 2008; 85:494–9.
14. Di Giammarco, Gabriele, et al. Predictive value of intraoperative transit-time flow measurement for short-term graft patency in coronary surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2006, vol. 132, no 3, p. 468-474.
15. Hultgren, Karin, et al. Acute coronary angiography after coronary artery bypass grafting. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 2016, vol. 50, no 2, p. 123-127.

16. Jaramillo, Juan C., et al. Medición de flujo coronario intraoperatorio por método de medición de tiempo de tránsito. Primera experiencia en Colombia. *Rev. Col. Cardiol.* 2004; 11: 70-85
17. Balacumaraswami, Lognathen; Taggart, David P. Intraoperative imaging techniques to assess coronary artery bypass graft patency. *The Annals of thoracic surgery*, 2007, vol. 83, no 6, p. 2251-2257.
18. Takahashi, Shinya, et al. Real-time graft flow assessment using epigraftic ultrasonography during coronary artery bypass grafting. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2014, vol. 46, no 4, p. 706-712.
19. Gessner, Urs. Effects of the vessel wall on electromagnetic flow measurement. *Biophysical journal*, 1961, vol. 1, no 8, p. 627-637.
20. Louagie, Yves AG, et al. Intraoperative electromagnetic flowmeter measurements in coronary artery bypass grafts. *The Annals of thoracic surgery*, 1994, vol. 57, no 2, p. 357-364.
21. Gill, Robert W. Measurement of blood flow by ultrasound: accuracy and sources of error. *Ultrasound in medicine & biology*, 1985, vol. 11, no 4, p. 625-641.
22. Desai, Nimesh D., et al. A randomized comparison of intraoperative indocyanine green angiography and transit-time flow measurement to detect technical errors in coronary bypass grafts. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 2006, vol. 132, no 3, p. 585-594.
23. Hiratzka, Loren F., et al. Intraoperative evaluation of coronary artery bypass graft anastomoses with high-frequency epicardial echocardiography: experimental validation and initial patient studies. *Circulation*, 1986, vol. 73, no 6, p. 1199-1205.
24. Haaverstad, Rune, et al. Intraoperative color Doppler ultrasound assessment of LIMA-to-LAD anastomoses in off-pump coronary artery bypass grafting. *The Annals of thoracic surgery*, 2002, vol. 74, no 4, p. 1390-1394.
25. Laustsen, J., et al. Validation of a new transit time ultrasound flowmeter in man. *European journal of vascular and endovascular surgery*, 1996, vol. 12, no 1, p. 91-96.
26. Jokinen, Janne J., et al. Clinical value of intraoperative transit-time flow measurement for coronary artery bypass grafting: a prospective angiography-controlled study. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2011, vol. 39, no 6, p. 918-923.
27. Forcillo, Jessica, et al. Intra-operative graft blood flow measurements for composite and sequential coronary artery bypass grafting. *Int J Artif Org*, 2014, vol. 37, p. 382-391
28. Benetti, Dres Federico J., et al. Verificación del flujo en cirugía coronaria con flujímetro de tiempo de tránsito (TTFM). *Experiencia. RACCV*, 2014,12(3)
29. Honda, Kentaro, et al. Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 2015, vol. 149, no 6, p. 1622-1628.
30. Di Giammarco, Gabriele, et al. Intraoperative graft verification in coronary surgery. *Journal of Cardiovascular Medicine*, 2017, vol. 18, no 5, p. 295-304.
31. Walker, Patrick F., et al. The accuracy of transit time flow measurement in predicting graft patency after coronary artery bypass grafting. *Innovations: Technology and Techniques in Cardiothoracic and Vascular Surgery*, 2013, vol. 8, no 6, p. 416-419.
32. Handa, Takemi, et al. Maximal blood flow acceleration analysis in the early diastolic phase for aortocoronary artery bypass grafts: a new transit-time flow measurement predictor of graft failure following



coronary artery bypass grafting. *Surgery today*, 2016, vol. 46, no 11, p. 1325-1333.

33. Lehnert, Per, et al. Transit-Time Flow Measurement as a Predictor of Coronary Bypass Graft Failure at One Year Angiographic Follow-Up. *Journal of cardiac surgery*, 2015, vol. 30, no 1, p. 47-52.

34. Romasko, D., et al. Intraoperative Transit Time Flow Measurement Evaluation of the Mammary T-Graft Anastomosis during Coronary Artery Bypass Surgery. *The Thoracic and Cardiovascular Surgeon*, 2015, vol. 63, no S 01, p. OP95.

35. Silaschi, Miriam; Nicou, Niki; Wendler, Olaf. Are intraoperative flow measurements sufficient to allay concerns about flow capacity of skeletonized internal thoracic arteries? *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2015, p. ezv345.

36. Di Giammarco, Gabriele, et al. The procedure for intraoperative graft verification in coronary surgery: Is high resolution epicardial imaging useful in addition to Transit-Time flow measurement to reduce

postoperative failures? *Journal of cardiothoracic surgery*, 2015, vol. 10, no 1, p. A279.

37. Di Giammarco, Gabriele, et al. Intraoperative graft verification in coronary surgery: increased diagnostic accuracy adding high-resolution epicardial ultrasonography to transit-time flow measurement. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2014, vol. 45, no 3, p. e41-e45.

38. Canver, C. C., et al. Clinical importance of measuring coronary graft flows in the revascularized heart. Ultrasonic or electromagnetic? *The Journal of cardiovascular surgery*, 1997, vol. 38, no 3, p. 211-215.

39. Walpoth, Beat H., et al. Transit-time flow measurement for detection of early graft failure during myocardial revascularization. *The Annals of thoracic surgery*, 1998, vol. 66, no 3, p. 1097-1100.

**Recibido:** 23-07-2018

**Aceptado:** 15-08-2018

