

Revisión

Cirugía coronaria de mínima invasión: técnicas y resultados

Jorge Alcocer Diéguez^{a,*} y Sergio J. Cánovas^{b,c}^a Servicio de Cirugía Cardiovascular, Hospital Clínic de Barcelona, Barcelona, España^b Servicio de Cirugía Cardiovascular, Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, IMIB, Murcia, España^c Cirugía, Universidad de Murcia, Murcia, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 2 de septiembre de 2022

Aceptado el 17 de octubre de 2022

On-line el 17 de febrero de 2023

Palabras clave:

Cirugía coronaria

Mínima invasión

Minitoracotomía

Arteria mamaria

Cirugía híbrida

RESUMEN

La cirugía de revascularización miocárdica (CRM) ha demostrado un beneficio clínico incuestionable en pacientes con enfermedad coronaria con afectación multivaso y/o del tronco coronario. No obstante, el carácter menos invasivo del intervencionismo coronario percutáneo (ICP) ha provocado que este sea considerado como una opción de revascularización más atractiva para el cardiólogo y para muchos pacientes.

La CRM de mínima invasión a través de una minitoracotomía izquierda, con o sin asistencia toracoscópica o robótica, nace con el objetivo de cambiar el paradigma de la revascularización quirúrgica y ofrecer al paciente una opción menos invasiva, pero que mantenga el beneficio pronóstico sobre el ICP.

En la presente revisión se describen las diferentes técnicas existentes, sus indicaciones y contraindicaciones, así como los resultados clínicos a corto y largo plazo.

© 2022 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Minimally invasive coronary bypass grafting: Techniques and outcomes

ABSTRACT

Coronary artery bypass grafting (CABG) has shown an undeniable clinical benefit in patients with multivessel and/or left main coronary artery disease. Nevertheless, the less invasive nature of percutaneous coronary intervention (PCI) has led many patients and cardiologists to consider this revascularization modality as a more attractive treatment.

Minimally invasive CABG, with or without thoracoscopic or robotic assistance, arose as an alternative surgical revascularization with the aim of offering a less invasive procedure while maintaining the prognostic clinical benefit over PCI.

In this review, we describe the different existing techniques in minimally invasive CABG, indications and patient selection, as well as short and long-term outcomes.

© 2022 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Cirugía coronaria de mínima invasión

Introducción

Las indicaciones de revascularización coronaria en la actualidad se han establecido con la intencionalidad de tratar la angina o mejorar el pronóstico de los enfermos¹. Existen, a grandes rasgos, 2 técnicas para realizar la revascularización; el intervencionismo coronario percutáneo (ICP) y la cirugía de revascularización miocárdica (CRM). Ambas técnicas están científicamente probadas y extendidas en la práctica clínica en la actualidad, si bien es cierto que la primera sigue ganando popularidad y extensión debido,

sobre todo, a su menor invasividad. Existen situaciones donde una de las técnicas es superior a la otra de una manera muy evidente, como la enfermedad de 1 o 2 vasos que no afecta a la arteria coronaria descendente anterior (ADA) proximal, donde la indicación del ICP está claramente aceptada, y situaciones como la enfermedad de tronco y 3 vasos en paciente diabético, donde la cirugía ha demostrado una ventaja sobre el ICP¹. Sin embargo, hay muchos otros escenarios donde ambas técnicas son igualmente aceptables y el peso de la invasividad de la cirugía coronaria hace que la balanza se incline más hacia el ICP, a pesar de que esta técnica puede ser menos definitiva o duradera como tratamiento.

La CRM surgió a principio de los años 60, aunque no se publicó una gran serie hasta finales de la misma década por Favaloro en la Cleveland Clinic². En esta serie, la revascularización se realizaba con vena safena mediante derivaciones aorto-coronarias. Posteriormente se popularizó la CRM con arteria mamaria izquierda para la anastomosis de la arteria coronaria descendente anterior y el resto

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: sergioj.canovas@carm.es (J.A. Diéguez).

@sjcanovas

de vasos con injertos de vena safena. Años más tarde pudo demostrarse el beneficio de utilizar más injertos arteriales como la arteria mamaria derecha y arteria radial^{3,4}.

Es en los años 90, cuando empieza a realizarse la cirugía coronaria sin circulación extracorpórea (CEC), algo que fue considerado por muchos cirujanos como la verdadera cirugía coronaria de mínima invasión, al eliminar la agresión derivada de la circulación extracorpórea, aunque las incisiones fueran iguales que las que se realizaban para la cirugía coronaria con CEC. Fue en esta misma época cuando empezó a realizarse la CRM mediante pequeñas incisiones torácicas con o sin CEC. La técnica vídeotoracoscópica (Heart-Port®) fue en principio diseñada para realizar cirugía coronaria de la cara anterior del ventrículo izquierdo, fundamentalmente con la arteria mamaria interna izquierda (AMII) a la ADA con CEC y corazón en asistolia utilizando cardioplegia. La entrada en CEC se realizaba mediante canulación de la arteria y vena femoral. A través de la propia cánula arterial se introducía un balón de oclusión intraaórtico que tenía una luz para administrar cardioplegia y otra para aspiración de la raíz aórtica y finalmente, también se implantaba un catéter de cardioplegia retrógrada a través de vena yugular. Poco a poco esta técnica fue cayendo en desuso dada la complejidad del procedimiento completo.

En los años 90, Calafiore et al.⁵, describieron la técnica de derivación coronaria entre la AMII y la ADA por medio de una minitoracotomía anterior izquierda submamilar por el 4-5° espacio intercostal. A través de la misma se realiza tanto la disección de la AMII bajo visión directa, como la anastomosis entre la AMII y la ADA sin el uso de CEC. Esta técnica recibió el nombre de Left Anterior Small Thoracotomy Coronary Bypass Grafting (LAST-CABG) o Minimally Invasive Direct Coronary Artery Bypass (MIDCAB) y, desde su descripción, se ha empleado rutinariamente como técnica de mínima invasión para la revascularización quirúrgica aislada de la ADA. Desde entonces se han implementado ciertas mejoras técnicas que han facilitado su adopción y popularización.

Junto con el avance de la cirugía coronaria se produjo una evolución muy significativa de las técnicas de revascularización percutáneas con la estandarización del uso del *stent* para las lesiones coronarias y la aparición del *stent* farmacológico (DES) para reducir las reestenosis precoces de las angioplastias, así como el desarrollo de fármacos antiagregantes que mejoraban los resultados de las técnicas percutáneas. Esto hizo que el número de enfermos con enfermedad de un solo vaso derivados a cirugía descendiera de una manera muy significativa hasta casi convertirse en anecdótico, por lo que las técnicas de cirugía coronaria de mínima invasión fueron cayendo en desuso salvo por algunos centros muy concretos con mucha experiencia.

El paciente coronario que requería cirugía pasó a ser un paciente con una anatomía compleja que requería de un alto grado de especialización para realizar adecuadamente una revascularización completa con una baja morbilidad. Esta misma razón, junto con la falta de evidencia contundente de las ventajas de la cirugía coronaria sin CEC, hizo que el pico de esta técnica llegara a su máximo en 2002 con un 23% en los EE. UU. cayendo hasta al 17% en el 2012⁶.

Ya en el 2009, cirujanos como McGinn et al.⁷ continuaron desarrollando la cirugía coronaria mínimamente invasiva no solo para un único vaso, sino para la revascularización completa de la enfermedad de 3 vasos (MIDCAB multivaso). Se desarrolló instrumental específico que ayudaba a la disección de la arteria mamaria izquierda mejorando su exposición e incluso se desarrolló la extracción endoscópica de la misma, así como asistida por robot (Da Vinci®). Se desarrolló el posicionador Starfish® NS (Medtronic, Minneapolis, MN, EE. UU.) en 2003 específicamente diseñado para cirugía por miniincisión y el Octopus® Nuvo (Medtronic, Minneapolis, MN, EE. UU.), la versión percutánea del estabilizador-inmovilizador coronario en 2010, así como una serie

de separadores/retractores denominados Thoratrak® (2008) (Medtronic, Minneapolis, MN, EE. UU.) utilizado conjuntamente con Rultrac Skyhook® (Rultrac, Cleveland, Ohio, EE. UU.). Estos avances tecnológicos hicieron que la cirugía mínimamente invasiva coronaria se desarrollara, haciendo su explosión en los últimos años.

La CRM de mínima invasión ha sido introducida con el objetivo de redefinir la revascularización quirúrgica y dar respuesta a la preferencia del paciente por un procedimiento menos invasivo y que mantenga los beneficios clínicos de la cirugía sobre el intervencionismo percutáneo.

Todas ellas tienen en común los beneficios potenciales derivados de una menor agresión quirúrgica, que en el ámbito de la CRM se traduce en un menor riesgo de complicaciones esternas (no se realiza esternotomía), menor sangrado y transfusión postoperatorios, menor dolor postoperatorio, menor estancia hospitalaria y un menor tiempo de recuperación con un mejor resultado cosmético. En los casos en los que la cirugía se realiza sin CEC y sin manipulación aórtica, a los beneficios derivados de evitar la esternotomía se suma un menor riesgo de ictus perioperatorio.

En el presente documento se pretende revisar el estado actual de la CRM de mínima invasión, sus indicaciones y contraindicaciones, describir los diferentes tipos de técnicas empleadas, así como realizar una revisión bibliográfica de los resultados a corto y largo plazo de las mismas.

Cirugía coronaria por minitoracotomía anterior izquierda (MIDCAB)

Selección de pacientes: indicaciones y contraindicaciones

La selección de pacientes en este tipo de cirugía es fundamental para maximizar los beneficios de la misma y para manejar adecuadamente la difícil curva de aprendizaje presente en este tipo de procedimientos. Las guías europeas de revascularización miocárdica de 2018 establecen unas recomendaciones muy generales en cuanto a las indicaciones del MIDCAB tanto para la revascularización aislada de la ADA como en el contexto de la cirugía híbrida, por lo que la función del «equipo del corazón» local debe ser esencial a la hora de identificar los candidatos ideales para este tipo de procedimiento, teniendo en cuenta las comorbilidades de cada paciente, así como la experiencia propia del centro en este tipo de técnicas¹.

En cuanto a las indicaciones del MIDCAB multivaso, los pacientes que más pueden beneficiarse de este procedimiento son aquellos con enfermedad coronaria multivaso que presentan comorbilidades que aumentan el riesgo de complicaciones de la esternotomía media como pacientes ancianos y debilitados, pacientes en tratamiento crónico con corticoides, con enfermedad pulmonar obstructiva crónica, pacientes con diabetes mal controlada o con alteraciones osteoarticulares que interfieran con la cicatrización esternal. Otras indicaciones pueden ser pacientes jóvenes que deseen retornar lo antes posible a su actividad laboral tras la cirugía y/o deseen expresamente evitar la esternotomía media⁷.

Por el contrario, se consideran contraindicaciones para este procedimiento la cirugía emergente y la inestabilidad hemodinámica, las deformidades torácicas severas como *pectus excavatum*, las enfermedades respiratorias graves que no permitan la ventilación unipulmonar y los vasos distales finos (< 1,5 mm), severamente calcificados o con largos trayectos intramiocárdicos. Así mismo, la obesidad mórbida, la enfermedad arterial periférica iliofemoral que puede interferir con la canulación femoral en caso de necesitar soporte con CEC, la estenosis del segmento proximal de la arteria subclavia izquierda que comprometa el uso de la AMII como injerto coronario, así como la severa dilatación y disfunción del ventrículo izquierdo que pueden dificultar notablemente las maniobras

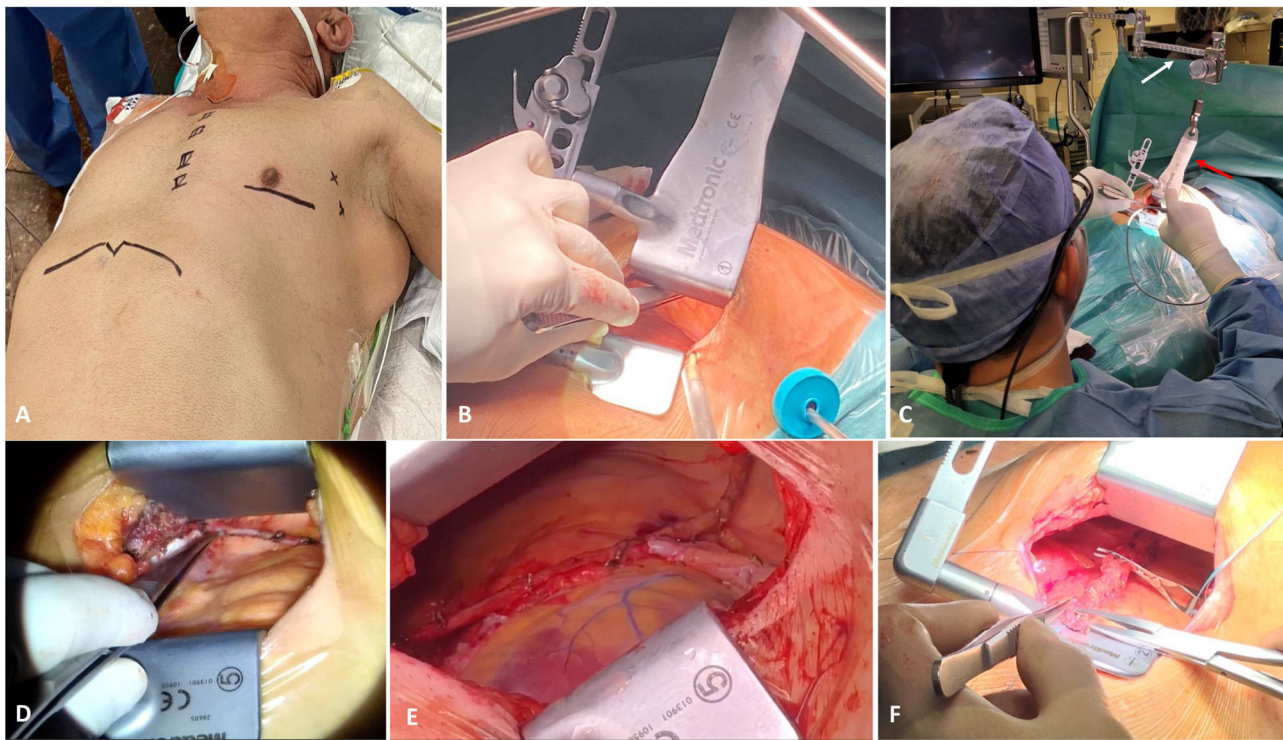


Figura 1. Disección de la AMI bajo visión directa por minitoracotomía izquierda. A) Posición del paciente y localización de la incisión torácica. B) Retractor Thoratrak® para disección de la AMI. C) Retractor Rultrac® (flecha blanca) traccionando de retractor Thoratrak® (flecha roja). D) Visión del cirujano en la disección de la AMI bajo visión directa. E) Detalle de anastomosis en T entre la AMI y la arteria radial. F) Preparación de la AMI izquierda pediculada para anastomosis con la ADA

de luxación y posicionamiento del corazón, también contraindican la realización de este procedimiento⁷.

Es importante realizar de forma preoperatoria una detallada exploración física y una angiotomografía computarizada (angioTC) torácica e iliofemoral con el objetivo de identificar la presencia de deformidades torácicas, aterosclerosis aórtica, subclavia o del eje iliofemoral, así como enfermedad pulmonar que contraindiquen o desaconsejen la realización de esta técnica.

Técnica quirúrgica

La cirugía se realiza bajo anestesia general, con la monitorización habitual en cirugía cardíaca y ventilación unipulmonar derecha. El paciente se coloca en decúbito supino con una ligera elevación del hemitórax izquierdo de 30° y se expone la región pectoral izquierda marcando las referencias anatómicas torácicas correspondientes, así como la región inguinal derecha por si es necesaria la canulación de los vasos femorales para realizar asistencia con CEC durante el procedimiento. La incisión cutánea de 6-8 cm se realiza a nivel submamilar izquierdo en varones y en el pliegue submamario en mujeres y la minitoracotomía se realiza a nivel del 4-5° del espacio intercostal (fig. 1).

La disección de la AMI por este abordaje se realiza bajo visión directa, con instrumental largo (convencional o de toracoscopia), siendo muy recomendable la utilización de bisturí armónico y un dispensador de clips toracoscópico. Aunque existen diversos tipos y marcas de retractores torácicos en el mercado, el más popular es el Thoratrak® (Medtronic, Minneapolis, MN, EE. UU.) combinado con Rultrac Skyhook® (Rultrac, Cleveland, Ohio, EE. UU.) que, empleados de forma conjunta, permiten la apertura asimétrica de la toracotomía elevando la pared anterior del tórax con el objetivo de crear espacio para el acceso directo al lecho de la arteria mamaria (fig. 1). La disección de la arteria mamaria interna derecha (AMID) a través de este abordaje también es posible, requiriendo durante su

disección la ventilación bipulmonar con volúmenes corriente tan bajos como el paciente tolere, y permite el empleo de ambas arterias mamarias como injertos individuales (*in situ*) o compuestos (en T o Y) para obtener una revascularización quirúrgica con varios injertos arteriales evitando la esternotomía media y la manipulación aórtica^{8,9}. La arteria radial conectada proximalmente en «T» o «Y» a la AMI o a la aorta ascendente es una alternativa técnica a la doble mamaria para el empleo de varios injertos arteriales por este abordaje. También es posible el uso de injertos de vena safena conectados proximalmente a la aorta ascendente con pinzamiento lateral de la aorta o anastomosada en «Y» a la AMI especialmente en pacientes añosos y/o con dificultades para emplear la AMID. Los injertos de arteria radial y de vena safena pueden ser obtenidos mediante técnica abierta o mediante disección endoscópica.

Tras la disección y obtención de los injertos se procede a la apertura del pericardio y a la exploración e identificación de los vasos coronarios a revascularizar. En esta técnica las anastomosis coronarias suelen realizarse «a corazón latiendo» sin empleo de CEC o bajo asistencia con CEC por canulación femoral. La exposición de los vasos coronarios en los diferentes territorios se consigue mediante el empleo de dispositivos de posicionamiento cardíaco (tipo succión apical) y estabilización coronaria. Si bien pueden emplearse los dispositivos convencionales para la cirugía sin bomba por esternotomía media, son particularmente útiles en este contexto aquellos que permiten su introducción en el tórax a través de puertos (incisiones de 8-10 mm) localizados en la región subxifoidea o en el 7-8.º espacio intercostal izquierdo, de forma que no interfieren en el campo de trabajo a través de la minitoracotomía. Los dispositivos más empleados y diseñados específicamente para esta técnica son el estabilizador Octopus Nuvo y el posicionador Starfish® NS (Medtronic, Minneapolis, MN, EE. UU.) (fig. 2). Las anastomosis distales se realizan siguiendo la técnica habitual de la cirugía coronaria sin CEC mediante posicionamiento cardíaco y estabilización coronaria, oclusión coronaria transitoria con cinta de silicona, arteriotomía

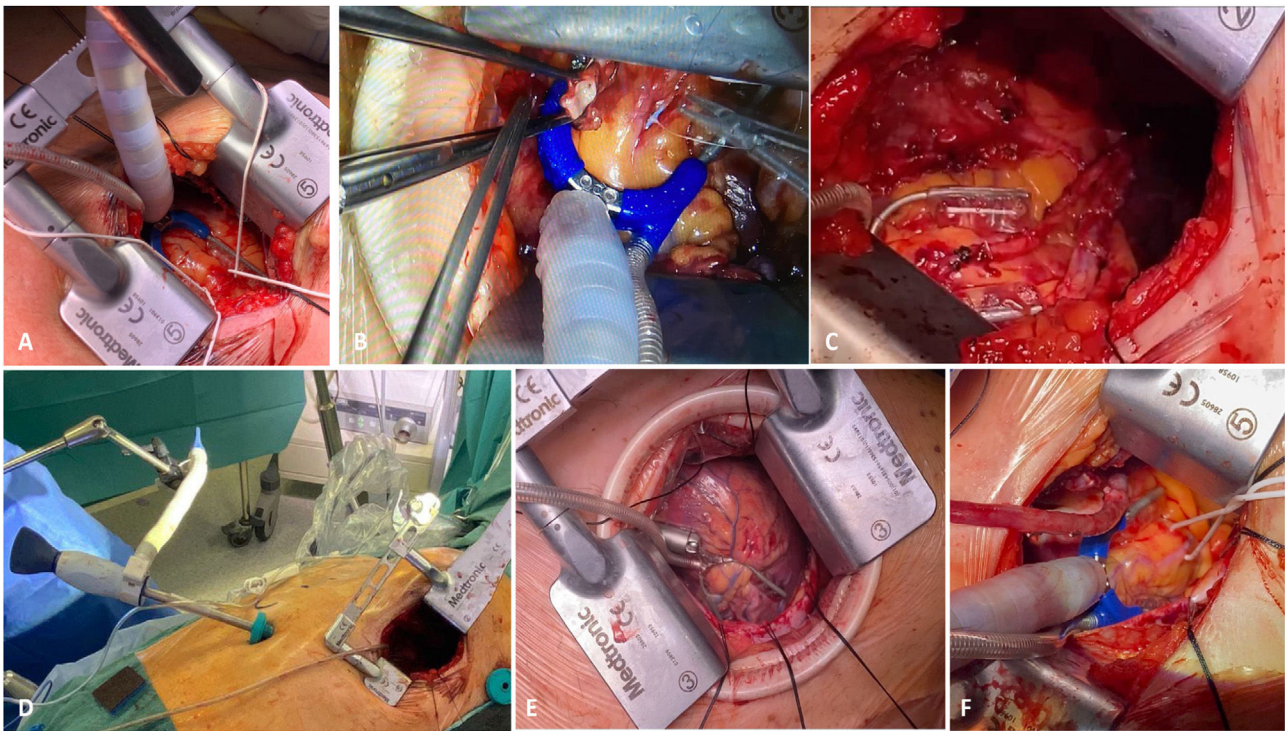


Figura 2. Exposición y estabilización de diferentes vasos coronarios por minitoracotomía izquierda. A) Exposición, estabilización y oclusión coronaria transitoria de la ADA. B) Detalle de anastomosis entre la AMII y la ADA con *shunt* intracoronario y estabilizador convencional. C) Detalle de anastomosis de la AMII a la ADA y radial en T a diagonal. D) Detalle de Octopus Nuvo© introducido por puerto subxifoideo. E) Exposición y estabilización de ramo marginal del VI con estabilizador percutáneo. F) Exposición y estabilización de ramo bisectriz previo a anastomosis con injerto de vena safena.

coronaria longitudinal con o sin empleo de *shunt* intracoronario y anastomosis término-lateral con sutura continua de polipropileno de 7/0 o 8/0. Tras la realización de cada anastomosis coronaria se recomienda realizar de forma rutinaria una valoración funcional mediante la medición intraoperatoria de flujo por tiempo de tránsito (TTFM) en cada injerto, así como una valoración morfológica de la misma con ecografía epicárdica (ECUS).

Resultados

Desde la descripción del MIDCAB para la revascularización aislada de la ADA por Calafiore et al.⁵, han sido publicadas numerosas series. En la [tabla 1](#) se exponen las más representativas (> 150 pacientes). La mortalidad perioperatoria oscila entre el 0-3,5%, la tasa de ictus perioperatorio es de 0-1%, revisión por sangrado entre el 0-4% y conversión a esternotomía < 3%. La permeabilidad reportada del injerto de la AMII a la ADA a los 6 meses es > 95% en la mayoría de series. Cabe destacar los excelentes resultados publicados por Repossini et al.¹⁰ a los 15 años de seguimiento del MIDCAB con una supervivencia del 80%, libertad de IAM del 96% y de cualquier evento cardiovascular del 70%, así como libertad de revascularización de vaso diana (ADA) del 95%. Existen varios estudios comparativos del MIDCAB vs. ICP para el tratamiento aislado de la estenosis de la ADA proximal, en ellos se demuestra que, si bien la mortalidad y la incidencia de eventos cardiovasculares a medio y largo plazo es similar en ambas técnicas, MIDCAB es superior al ICP con *stents* liberadores de fármacos (DES) en términos de revascularización del vaso diana en el seguimiento¹¹.

En cuanto al MIDCAB multivaso como modificación de la técnica anterior, el primer estudio con un número importante de pacientes fue llevado a cabo por McGinn y Ruel (New York y Otawa, respectivamente) en 2009⁷. En él se estableció de forma sistemática la técnica para obtener una revascularización completa del corazón a través de una minitoracotomía anterior izquierda y mediante un

injerto de AMII a la ADA e injertos de vena safena desde la aorta ascendente al resto de vasos coronarios diana. Se analizó la seguridad y la viabilidad del procedimiento en 450 pacientes consecutivos sometidos a revascularización coronaria multivaso por minitoracotomía anterior izquierda. La edad media fue de $623 \pm 10,7$ años con un número medio de injertos de $2,1 \pm 0,7$ y una tasa de revascularización completa del 94%. La mortalidad quirúrgica fue del 1,3% y la tasa de ictus perioperatorio del 0,4%, con una incidencia de conversión a esternotomía del 3,8% (éxito del procedimiento del 96,2%) y de reintervención por sangrado del 2,2%. En 2014, Ruel et al.¹² realizaron un estudio de permeabilidad de injertos a los 6 meses de seguimiento en 91 pacientes consecutivos intervenidos de MIDCAB multivaso, observando una tasa de permeabilidad global del 92%, siendo del 100% para la AMII y del 85% para los injertos de vena safena. Ambos estudios permitieron concluir que esta técnica se puede llevar a cabo de forma segura y eficaz con excelentes resultados clínicos y de permeabilidad a corto plazo. Por otro lado, el grupo de Nambiar et al.¹³ en la India mostró excelentes resultados del MIDCAB multivaso con empleo de doble mamaria en 940 pacientes con una mortalidad quirúrgica del 0,9%, una tasa de revascularización completa del 98% con un número medio de injertos por paciente de 3,2 y una tasa de conversión a esternotomía < 1%. La incidencia de complicaciones postoperatorias como reintervención por sangrado (0,7%), fibrilación auricular (3,1%) y fallo renal (1%) fue extremadamente baja, y el 88,7% de los pacientes fue dado de alta al 3^{er} día del postoperatorio. Los estudios más representativos, con mayor número de pacientes y seguimiento más largo en el MIDCAB multivaso se encuentran resumidos en la [tabla 1](#).

Discusión

A pesar de los excelentes resultados del MIDCAB para la revascularización aislada de la ADA y de que las guías de revascularización miocárdica de la ESC/EACTS recomiendan la cirugía y el ICP para

Tabla 1
Resultados del MIDCAB (visión directa) en las series más representativas

Autor	Número de pacientes	Mortalidad quirúrgica (%)	Ictus (%)	Conversión esternotomía (%)	Reintervención sangrado (%)	Estancia hospitalaria (días)	Permeabilidad seguimiento (%)
<i>MIDCAB (vaso único)</i>							
Calafiore et al. ⁵ (1996)	261	0,3	ND	ND	4,5	2,8	93
Diegeler et al. ³⁴ (1999)	246	0	0	ND	3,1	3,5	99
Repossini et al. ³⁵ (2000)	150	0,6	0,3	2,6	3,3	ND	99
Cremer et al. ³⁶ (2000)	306	0,9	0	0,3	1	ND	98
Mehran et al. ³⁷ (2000)	274	1,1	1,1	ND	8,7	2,5	ND
Holzhey et al. ³⁸ (2007)	1.347	0,8	0,3	1,7	3,2	ND	97
<i>MIDCAB (multivaso)</i>							
McGinn et al. ⁷ (2009)	450	1,3	0,4	3,8	2,7	5,9	ND
Lapierre et al. ¹⁸ (2011)	150	0	0	6,7	3,3	5	92
Rabindranauth et al. ³⁹ (2014)	130	0	0,8	0,8	2,3	3,8	ND
Rodríguez et al. ¹⁷ (2017)	306	0	0	3,3	2,2	5,8	ND
Nambiar et al. ¹³ (2019)	940	0,9	0,2	0,6	0,7	3,1	99

MIDCAB: minimally invasive direct coronary bypass; ND: no disponible.

el tratamiento de la enfermedad de la ADA proximal con el mismo grado de recomendación (IA)¹⁴, la realidad es que el ICP representa el tratamiento de primera línea de esta enfermedad en la práctica clínica habitual. Ello es debido, en gran parte, al impacto negativo que tiene la esternotomía media tanto en el cardiólogo como en el paciente. El rol principal del MIDCAB debe ser conseguir una revascularización fiable de la ADA con un injerto de la AMII, cuya durabilidad a largo plazo es superior al ICP, con una baja agresión quirúrgica evitando la esternotomía media y, de esta manera, crear una alternativa atractiva para favorecer la derivación a cirugía de los pacientes con enfermedad aislada de la ADA proximal.

El MIDCAB multivaso representa un porcentaje muy bajo de la cirugía coronaria en el mundo, representando menos del 1% de los casos de revascularización quirúrgica en EE. UU. (STS registry⁶) a pesar de los excelentes resultados publicados. Las barreras existentes para su adopción son la dificultad técnica y su pronunciada curva de aprendizaje, ya que los resultados mostrados anteriormente proceden de estudios observacionales en centros de alto volumen y con elevada experiencia en esta técnica, de forma que no pueden extrapolarse a la práctica habitual de muchos centros. Respecto a la curva de aprendizaje, Une et al.¹⁵ compararon los resultados de los primeros 25 casos de MIDCAB multivaso sin CEC realizados en su institución con los casos posteriores, demostrando que no hubo diferencias significativas en la morbilidad quirúrgica, si bien la tasa de reconversión a esternotomía fue significativamente más alta en los primeros casos. El mismo grupo propone acumular experiencia en la cirugía coronaria sin CEC por esternotomía media como paso previo al inicio de un programa de MIDCAB multivaso, ya que ello supone un importante entrenamiento para las maniobras de posicionamiento cardíaco, exposición de los distintos territorios coronarios y técnicas de anastomosis a corazón latiendo que se requieren posteriormente para este abordaje¹⁶. Así mismo, recomiendan un inicio progresivo de la técnica incrementando el número de anastomosis distales con y sin asistencia con CEC, hasta llegar a la revascularización completa de los 3 territorios sin empleo de CEC. El grupo de Ottawa¹⁷ realizó un análisis exhaustivo de esta curva de aprendizaje en 300 pacientes demostrando que, si bien no hubo diferencias en las morbilidad quirúrgica entre la primera mitad de casos y la segunda, la duración de la intervención, la tasa de reconversión a esternotomía y la incidencia de nueva revascularización en el seguimiento fue mayor en la primera mitad, por tanto la curva de aprendizaje no influencia negativamente en términos de mortalidad y morbilidad mayor pero sí en cuanto a duración de la intervención y calidad de la revascularización.

Considerando los excelentes resultados clínicos mostrados en los estudios publicados, se plantean dos preguntas fundamentales

en relación a la técnica de MIDCAB multivaso por minitoracotomía izquierda:

¿Es realmente menos invasiva que la cirugía coronaria por esternotomía media?

Existen varios estudios observacionales han comparado el MIDCAB multivaso con la cirugía sin CEC por esternotomía media. Lapierre et al.¹⁸ realizaron un estudio de casos emparejados por las principales variables de riesgo preoperatorio comparando 150 pacientes en cada grupo (MIDCAB multivaso sin CEC vs. cirugía sin CEC por esternotomía). La morbilidad quirúrgica fue similar en ambos grupos, mientras que la transfusión de hemoderivados, la infección de la herida, la estancia hospitalaria y el tiempo hasta recuperar una actividad física completa fue significativamente menor en el MIDCAB. No obstante, el único ensayo clínico aleatorizado comparando ambas técnicas (STET trial¹⁹) no mostró diferencias significativas en la morbilidad quirúrgica, pero el MIDCAB se asoció con una mayor duración del procedimiento quirúrgico, menor número medio de injertos, mayor duración de la estancia hospitalaria y puntuaciones similares de calidad de vida a los 3 y 12 meses, por lo que los autores concluyeron que el MIDCAB multivaso sin CEC no aportaba ningún beneficio significativo respecto a la cirugía sin CEC por esternotomía media. Ante estos hallazgos contrapuestos entre los estudios observacionales y aleatorizados comparando el MIDCAB y la cirugía sin CEC por esternotomía, se ha puesto en marcha un ensayo clínico randomizado (MIST trial²⁰) comparando ambas técnicas en términos de calidad de vida a las 4 semanas y 6 meses del seguimiento, así como en la incidencia de eventos cardiovasculares. Se encuentra en fase de reclutamiento en la actualidad y permitirá responder a la pregunta de si esta técnica aporta una mejoría real en la calidad de vida de los pacientes obteniendo una revascularización de calidad similar

¿Es duradera a largo plazo?

Recientemente han sido publicados los resultados a largo plazo de la serie de 510 pacientes de Ruel et al.²¹ demostrando unos excelentes resultados de supervivencia (90%) y libertad de cualquier evento cardiovascular (82%) a los 10 años de seguimiento, lo cual evidencia que la revascularización obtenida por esta técnica es duradera y efectiva desde el punto de vista clínico en el largo plazo.

Cirugía coronaria de mínima invasión asistida por videotoracoscopia o robot

El desarrollo de la cirugía cardíaca endoscópica y robótica en los últimos 15-20 años ha permitido su aplicación en el ámbito de

la cirugía coronaria de mínima invasión. Básicamente, la asistencia videotoroscópica y robótica en el contexto de la cirugía coronaria podemos dividirla en 2 técnicas diferentes:

- La cirugía coronaria por minitoracotomía izquierda asistida por videotoroscopia o por robot (robotically-assisted MIDCAB o RACAB) donde una o las dos arterias mamarias son disecadas con visión toracoscópica (2D y 3D) mediante puertos torácicos o de forma robótica con visión 3D e instrumental robótico. Este procedimiento está ganando adeptos dentro de la comunidad quirúrgica ya que la disección de las arterias mamarias de forma endoscópica o robótica tiene ciertas ventajas respecto a la disección de la misma bajo visión directa por minitoracotomía (tabla 2). Entre ellas destacan la posibilidad de hacer una minitoracotomía más pequeña al seleccionar con visión endoscópica o robótica el lugar óptimo para la anastomosis y, por consiguiente, una menor disrupción torácica al evitar la tracción ejercida por los retractores torácicos (menor dolor postoperatorio), una mejor visualización de todo el trayecto de la mamaria, posibilidad de control de la cámara y magnificación de la imagen, así como una mayor destreza y precisión quirúrgica con el instrumental robótico. Además, el hecho de realizar las anastomosis coronarias bajo visión directa con instrumental quirúrgico convencional hace que el procedimiento sea más sencillo que si este es totalmente endoscópico.
- La cirugía coronaria robótica totalmente endoscópica (TECAB) donde la disección de una o las dos arterias mamarias, la exposición y estabilización de los vasos coronarios y las anastomosis distales se realizan a través de los brazos robóticos sin realizar ninguna toracotomía. El procedimiento es complejo técnica y logísticamente, y es realizado únicamente por unos pocos centros en todo el mundo, por lo que no es extrapolable a la cirugía coronaria de nuestro entorno y su descripción y análisis va más allá del objetivo de esta revisión.

Técnica quirúrgica

El procedimiento se realiza bajo anestesia general, con el paciente en decúbito supino, el tórax izquierdo ligeramente elevado 15–30° y con ventilación unipulmonar derecha.

- *Disección de AMI mediante toracosopia.* Se introducen 3 trocares a nivel de del 2.º, 4.º y 6.º espacio intercostal en la línea axilar anterior y posterior, y con material fundamentalmente toracoscópico se disecciona una o ambas arterias mamarias (fig. 3A).
- *Disección de AMI mediante robot.* Los 2 brazos robóticos y la cámara son introducidos en el hemitórax izquierdo a través de 3 trócares localizados a nivel del 2.º, 4.º y 6.º espacio intercostal en la línea axilar anterior y son controlados de forma remota por el cirujano desde una consola situada en el propio quirófano a distancia del paciente (fig. 3D).

Las arterias mamarias posteriormente pueden emplearse in situ o como injerto compuesto en T. Una vez realizada la disección de los injertos, con el material toracoscópico o con los brazos robóticos se procede a realizar la apertura del pericardio, la exploración e identificación de los vasos diana y de acuerdo a ello, se identifica el mejor espacio intercostal para hacer la minitoracotomía anterior izquierda. De esta forma, la anastomosis puede realizarse más fácilmente bajo visión directa, con instrumental convencional y con una mínima separación del espacio intercostal. Posteriormente, con ayuda del estabilizador coronario convencional o el específico para cirugía miniinvasiva, se realiza una o varias anastomosis coronarias siguiendo la técnica de la cirugía sin CEC descrita anteriormente.

Las series más representativas con un mayor número de pacientes han sido publicadas a partir de 2014, con un número de pacientes superior a 200, el 86% de los casos fueron un *bypass* único

de la AMII a la ADA y en ellas destaca una mortalidad quirúrgica e ictus perioperatorio < 1%. La tasa de conversión a esternotomía o toracotomía (disección abierta de la AMII) fue de un 6% y la estancia hospitalaria media fue de 5,4 días^{22,23}.

Cirugía coronaria híbrida

La revascularización coronaria híbrida (RCH) se define como aquella en la que se combina la CRM con el ICP para el tratamiento de la enfermedad coronaria multivascular. Habitualmente se realiza la revascularización de la ADA con un injerto de la AMII mediante un procedimiento de mínima invasión (MIDCAB, RACAB) combinado con el ICP de los restantes vasos coronarios afectados. De esta manera se maximizan las ventajas de ambos procedimientos de revascularización, es decir, se obtiene el beneficio pronóstico derivado del injerto de la AMII a la ADA, mientras disminuye la invasividad de la revascularización completa con el ICP del resto de vasos afectados, todo ello con una baja agresión quirúrgica y evitando la esternotomía media.

Si bien la CRM es el tratamiento de elección en la enfermedad coronaria multivascular compleja, especialmente si se emplean varios injertos arteriales y en presencia de diabetes o disfunción sistólica ventricular izquierda¹⁴, existe evidencia reciente que muestra que los stents liberadores de drogas (DES) presentan mejor permeabilidad y menor tasa de reestenosis a medio y largo plazo que los injertos de vena safena, frecuentemente empleados para revascularizar el territorio inferior y lateral^{24,25}. Debido a ello, en ciertos pacientes muy seleccionados considerados de alto riesgo para CRM convencional o con enfermedad multivascular de baja complejidad, la RCH podría tener un rol importante en el futuro, ya que permite una revascularización completa, con un abordaje poco invasivo y maximizando el beneficio pronóstico de la cirugía derivado del injerto de la AMII a la ADA. En la presente revisión, se describe el grupo de pacientes que podrían beneficiarse de esta técnica, las diferentes formas de RCH con sus ventajas e inconvenientes y sus resultados.

Selección de pacientes

El consenso general sobre la RCH es que esta debe limitarse a un grupo muy seleccionado de pacientes y a centros con experiencia en cirugía coronaria de mínima invasión¹⁴, hasta que existan estudios clínicos aleatorizados que avalen su uso como alternativa a la CRM convencional en pacientes con enfermedad multivascular. Los pacientes que pueden beneficiarse de este procedimiento son aquellos en los que ninguna de las dos modalidades de tratamiento por separado (CRM e ICP) permiten obtener la mejor opción de revascularización completa. La decisión sobre la selección del paciente ideal se basa en factores anatómicos, comorbilidades preexistentes, disponibilidad de injertos y contexto clínico (tabla 3), y debe llevarse a cabo tras una valoración por un equipo del corazón multidisciplinar.

Tipos de RCH

Dependiendo del momento y el orden en que se realicen los dos procedimientos que componen la RCH, podemos diferenciar 2 tipos:

- **RCH simultánea o concomitante:** Es aquella en la que la cirugía y el ICP se llevan a cabo de forma secuencial durante el mismo procedimiento en una sala híbrida. Primero se realiza la CRM (AMII a ADA) y seguidamente el ICP de los vasos restantes afectados. Tiene las ventajas teóricas de obtener una revascularización completa en un solo paso, permite proteger el territorio de la ADA previo al implante de *stents*, permite comprobar angiográficamente el injerto de la AMII tras su anastomosis a la ADA y reduce el tiempo de estancia hospitalaria. Por contra, su principal desventaja radica

Tabla 2
Diferentes técnicas de disección de la AMI en cirugía coronaria de mínima invasión

	MIDCAB (visión directa)	MIDCAB (videotoracoscopia)	MIDCAB (robótica)
Visualización/ longitud	+	++	+++
Dolor postoperatorio	+++	+	+
Complejidad técnica	++	+	+
Acceso a doble mamaria	+	++	+++
Resultado cosmético	+	++	++

MIDCAB: minimally invasive direct coronary bypass.

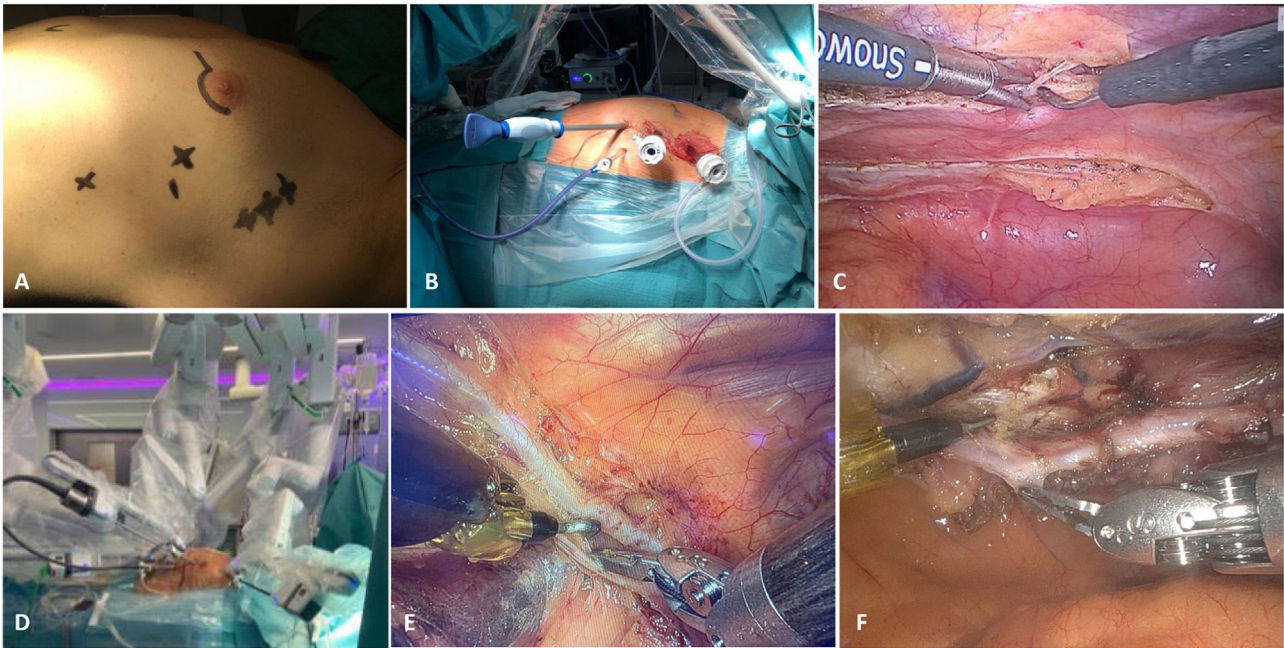


Figura 3. Disección de la AMI con asistencia videotoracoscópica y robótica. A-C) Disección de la AMI mediante videotoracoscopia (imágenes cedidas por el Dr. J.M. Melero); D-F) Disección de la AMI mediante asistencia robótica

Tabla 3
Selección de pacientes para cirugía coronaria híbrida

Características	Enfermedad de 2 o 3 vasos con SYNTAX bajo	Afectación compleja ADA proximal Lesiones susceptibles de ICP resto de vasos Comorbilidades graves Alto riesgo esternotomía media Aorta en porcelana Vasos distales finos No disponibilidad de injertos Deseo del paciente (evitar esternotomía)
	Enfermedad multivaso con indicación de cirugía	Enfermedad residual del TCI-ADA Estabilidad hemodinámica
	ICP urgente (SCA) no ADA	

ADA: arteria descendente anterior; ICP: intervencionismo coronario percutáneo; TCI: tronco común izquierdo.

- en la necesidad de doble antiagregación inmediatamente tras la cirugía, lo que aumenta el riesgo de sangrado postoperatorio²⁶.
- RCH secuencial o en 2 etapas²⁷: Es aquella en la que los procedimientos (CRM e ICP) se realizan en 2 etapas separadas en el tiempo:
 - CRM primero e ICP después: Es la forma más frecuente de RCH. Tiene las ventajas de proteger en primer lugar el territorio de la ADA, permite realizar la cirugía antes de administrar la doble terapia antiagregante, con el consiguiente menor riesgo de

sangrado postoperatorio, y permite comprobar la permeabilidad del injerto de AMII en un segundo tiempo durante el ICP.

- ICP primero y CRM después: Es lo que se conoce como RCH inversa. Generalmente ocurre en el contexto de un síndrome coronario agudo con/sin elevación del segmento ST donde se lleva a cabo el ICP urgente del vaso culpable (distinto de la ADA) y el paciente presenta enfermedad significativa residual de la ADA proximal o del tronco coronario izquierdo en la coronariografía. En este caso, se decide realizar la CRM en un segundo tiempo. Tiene la ventaja de tratar la lesión culpable en el contexto agudo y de permitir la CRM de rescate en caso de complicaciones durante el ICP. Por el contrario, sus principales inconvenientes radican en la necesidad de retirar la doble terapia antiagregante previo a la cirugía con el consiguiente riesgo de trombosis del stent, mayor riesgo de sangrado postoperatorio al tener que reinstaurar la doble terapia antiagregante pronto tras la CRM y mayor riesgo de complicaciones isquémicas entre el ICP y la CRM al quedar sin revascularizar el territorio de la ADA.

Resultados

La gran mayoría de la evidencia existente sobre la RCH procede de estudios observacionales donde existe una importante variabilidad en el perfil de riesgo de los pacientes, el tipo de secuencia de RCH y la técnica quirúrgica e ICP utilizados. Dicha evidencia refleja que la técnica es segura y viable con una excelente mortalidad quirúrgica (1-2%), una tasa de revascularización completa > 85% y una baja incidencia de complicaciones postoperatorias como ictus

(0-2%) y conversión a esternotomía (<4%)^{28,29}. La supervivencia en las series con entre 6 y 8 años de seguimiento es superior al 95%³⁰.

En un metaanálisis de estudios observacionales de 1.190 pacientes comparando la CRM convencional con la RCH no hubo diferencias en la variable compuesta por muerte, IAM, ictus y nueva revascularización durante la hospitalización y al año de seguimiento³¹.

El ensayo clínico aleatorizado más importante hasta la fecha (POL-MIDES³²) comparó la CRM convencional con la RCH (200 pacientes) y no mostró diferencias significativas en los resultados de mortalidad y eventos cardiovasculares a los 12 meses de seguimiento. Así mismo, demostró que la RCH es segura (mortalidad operatoria 0%, ictus 0% y fallo renal 1%) y factible técnicamente (éxito del procedimiento de 93,6%).

La RCH no debe compararse únicamente con la CRM convencional, sino también con el ICP multivaso. A este respecto cabe mencionar un metaanálisis de 27.000 pacientes comparando ambas técnicas donde no hubo diferencias significativas en términos de resultados a 30 días, ni en la mortalidad e ictus en el seguimiento³³. No obstante, la tasa de IAM y de nueva revascularización a los 7 años de seguimiento fue significativamente mejor en la RCH, evidenciando la mayor durabilidad y beneficio pronóstico del injerto de AMII.

La cirugía coronaria híbrida no va dirigida a realizar ICP en pacientes con enfermedad multivaso que son buenos candidatos para CRM convencional, sobre todo si se pueden emplear varios injertos arteriales con una baja tasa de morbilidad postoperatoria, sino que debe ir destinada a pacientes con enfermedad multivaso de baja complejidad o de alto riesgo quirúrgico que normalmente son tratados mediante ICP multivaso. En ellos, la RCH es capaz de aportar el beneficio clínico de la cirugía coronaria (injerto de AMII) evitando la esternotomía y consiguiendo la revascularización completa con la naturaleza menos invasiva de la ICP.

Conclusiones

Las técnicas de revascularización quirúrgica y percutánea han evolucionado mucho en los últimos años, especialmente esta última. Debido a su menor invasividad, la revascularización percutánea es preferida por pacientes y cardiólogos, por ello se ha extendido de una manera significativamente mayor que la revascularización quirúrgica, aun cuando sus resultados a medio y largo plazo en la enfermedad coronaria multivaso compleja son inferiores.

La cirugía coronaria de mínima invasión por minitoractomía izquierda con o sin asistencia robótica puede realizarse de forma segura y eficaz con unos resultados excelentes a corto y largo plazo. La obtención de una revascularización fiable y duradera en la estenosis aislada de la ADA o en la enfermedad multivaso por esta técnica es un avance significativo en el campo de la cirugía cardíaca, que permite ofrecer a nuestros pacientes una opción alternativa con las ventajas de evitar las complicaciones de la esternotomía media, una menor estancia hospitalaria, menor dolor postoperatorio y un menor tiempo de recuperación, con similares resultados clínicos que la CRM convencional.

La selección de los pacientes es clave, sobre todo al inicio de la experiencia, y debe realizarse en el ámbito de equipos multidisciplinares del corazón.

La principal barrera para la expansión de esta técnica es su dificultad técnica y una pronunciada curva de aprendizaje. La experiencia previa en cirugía coronaria sin CEC por esternotomía y un enfoque paso a paso de la técnica son la piedra angular para hacer frente a dicha curva.

Por último, la cirugía coronaria de mínima invasión representa una excelente plataforma sobre la que desarrollar programas de

RCH. Esta modalidad de revascularización tiene un gran potencial para combinar el beneficio clínico de la cirugía coronaria, derivado del injerto de AMII a ADA, asociado al carácter menos invasivo del ICP en pacientes no candidatos a CRM convencional, haciendo que esta técnica pueda ser más atractiva que el ICP multivaso tanto para el cardiólogo, como para el paciente.

Financiación

No ha existido ninguna fuente de financiación para la elaboración de este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen ningún conflicto de intereses relacionado con el tema que en él se trata.

Bibliografía

1. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*. 2019;40:87–165, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>.
2. Bakaeen FG, Blackstone EH, Pettersson GB, Gillinov AM, Svensson LG. The father of coronary artery bypass grafting: René Favaloro and the 50th anniversary of coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155:2324–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2017.09.167>.
3. Gaudino M, Benedetto U, Fremes S, et al. Association of Radial Artery Graft vs Saphenous Vein Graft with Long-term Cardiovascular Outcomes among Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*. 2020;324:179–87, <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2020.8228>.
4. Rayol SC, van den Eynde J, Cavalcanti LRP, et al. Total arterial coronary bypass graft surgery is associated with better long-term survival in patients with multivessel coronary artery disease: A systematic review with meta-analysis. *Braz J Cardiovasc Surg*. 2021;36:78–85, <http://dx.doi.org/10.21470/1678-9741-2020-0653>.
5. Calafiore AM, di Giammarco G, Teodori G, et al. Left anterior descending coronary artery grafting via left anterior small thoracotomy without cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg*. 1996;61:1658–65, [http://dx.doi.org/10.1016/0003-4975\(96\)00187-7](http://dx.doi.org/10.1016/0003-4975(96)00187-7).
6. D'Agostino RS, Jacobs JP, Badhwar V, et al. The Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database: 2017 Update on Outcomes and Quality. *Ann Thorac Surg*. 2017;103:18–24, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ATHORACSUR.2016.11.001>.
7. McGinn JT, Usman S, Lapierre H, Pothula VR, Mesana TG, Ruel M. Minimally invasive coronary artery bypass grafting dual-center experience in 450 consecutive patients. *Circulation*. 2009;120 Suppl. 1:S78–84, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.840041>.
8. Kikuchi K, Chen X, Mori M, Kurata A, Tao L. Perioperative outcomes of off-pump minimally invasive coronary artery bypass grafting with bilateral internal thoracic arteries under direct vision. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017;24:696–701, <http://dx.doi.org/10.1093/icvts/ivw431>.
9. Davierwala PM, Verevkin A, Sgouroupolou S, et al. Minimally invasive coronary bypass surgery with bilateral internal thoracic arteries: Early outcomes and angiographic patency. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2021;162, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.12.136>, 1109.e4–1119.e4.
10. Repossini A, di Bacco L, Nicoli F, et al. Minimally invasive coronary artery bypass: Twenty-year experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2019;158, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2018.11.149>, 127.e1–138.e1.
11. Raja SG, Uzzaman M, Garg S, et al. Comparison of minimally invasive direct coronary artery bypass and drug-eluting stents for management of isolated left anterior descending artery disease: A systematic review and meta-analysis of 7,710 patients. *Ann Cardiothorac Surg*. 2018;7:567–76, <http://dx.doi.org/10.21037/ACS.2018.06.16>.
12. Ruel M, Shariff MA, Lapierre H, et al. Results of the minimally invasive coronary artery bypass grafting angiographic patency study. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2014;147:203–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2013.09.016>.
13. Nambiar P, Kumar S, Mittal CM, Sarkar IC. Outcomes of Bilateral Internal Thoracic Arteries in Minimally Invasive Coronary Artery Bypass Grafting With Analogy to the SYNTAX Trial. *Innovations (Phila)*. 2019;14:227–35, <http://dx.doi.org/10.1177/1556984519837391>.
14. Sousa-Uva M, Neumann FJ, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2019;55:4–90, <http://dx.doi.org/10.1093/EJCTS/EZY289>.
15. Une D, Lapierre H, Sohmer B, Rai V, Ruel M. Can minimally invasive coronary artery bypass grafting be initiated and practiced safely? A learning curve analysis. *Innovations (Phila)*. 2013;8:403–9, <http://dx.doi.org/10.1097/IMI.000000000000019>.
16. Une D, Sakaguchi T. Initiation and modification of minimally invasive coronary artery bypass grafting. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*. 2019;67:349–54, <http://dx.doi.org/10.1007/s11748-018-1050-7>.

17. Rodriguez ML, Lapiere HR, Sohmer B, Glineur D, Ruel M. Mid-term follow-up of minimally invasive multivessel coronary artery bypass grafting: Is the early learning phase detrimental? *Innovations (Phila)*. 2017;12:116–20, <http://dx.doi.org/10.1097/IMI.0000000000000353>.
18. Lapiere H, Chan V, Sohmer B, Mesana TG, Ruel M. Minimally invasive coronary artery bypass grafting via a small thoracotomy versus off-pump: A case-matched study. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2011;40:804–10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejcts.2011.01.066>.
19. Rogers CA, Pike K, Angelini GD, et al. An open randomized controlled trial of median sternotomy versus anterolateral left thoracotomy on morbidity and health care resource use in patients having off-pump coronary artery bypass surgery: The Sternotomy Versus Thoracotomy (STET) trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;146, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.04.020>, 306.e1–316.e9.
20. Guo MH, Wells GA, Glineur D, et al. Minimally Invasive coronary surgery compared to Sternotomy coronary artery bypass grafting: The MIST trial. *Contemp Clin Trials*. 2019;78:140–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cct.2019.01.006>.
21. Guo MH, Vo TX, Horsthuis K, et al. Durability of Minimally Invasive Coronary Artery Bypass Grafting. *J Am Coll Cardiol*. 2021;78:1390–1, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2021.07.040>.
22. Giambruno V, Chu MW, Fox S, et al. Robotic-assisted coronary artery bypass surgery: An 18-year single-centre experience. *Int J Med Robot*. 2018;14(3), <http://dx.doi.org/10.1002/RCS.1891>.
23. Sabashnikov A, Patil NP, Weymann A, et al. Outcomes after different non-sternotomy approaches to left single-vessel revascularization: A comparative study with up to 10-year follow-up. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2014;46:e48–55, <http://dx.doi.org/10.1093/EJCTS/EZU287>.
24. Alexander JH, Hafley G, Harrington RA, et al. Efficacy and safety of edifoligide, an E2F transcription factor decoy, for prevention of vein graft failure following coronary artery bypass graft surgery: PREVENT IV: A randomized controlled trial. *JAMA*. 2005;294:2446–54, <http://dx.doi.org/10.1001/JAMA.294.19.2446>.
25. Serruys PW, Morice MC, Kappetein AP, et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary-artery bypass grafting for severe coronary artery disease. *N Engl J Med*. 2009;360:961–72, <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMOA0804626>.
26. Panoulas VF, Colombo A, Margonato A, Maisano F. Hybrid coronary revascularization: promising, but yet to take off. *J Am Coll Cardiol*. 2015;65:85–97, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2014.04.093>.
27. Leyvi G, Dabas A, Leff JD. Hybrid Coronary Revascularization - Current State of the Art. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019;33:3437–45, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2019.08.047>.
28. Puskas JD, Halkos ME, DeRose JJ, et al. Hybrid Coronary Revascularization for the Treatment of Multivessel Coronary Artery Disease: A Multicenter Observational Study. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68:356–65, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2016.05.032>.
29. Halkos ME, Walker PF, Vassiliades TA, et al. Clinical and angiographic results after hybrid coronary revascularization. *Ann Thorac Surg*. 2014;97:484–90, <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2013.08.041>.
30. Giambruno V, Jones P, Khaliel F, et al. Hybrid Coronary Revascularization Versus On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting. *Ann Thorac Surg*. 2018;105:1330–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2017.11.019>.
31. Harskamp RE, Bagai A, Halkos ME, et al. Clinical outcomes after hybrid coronary revascularization versus coronary artery bypass surgery: a meta-analysis of 1,190 patients. *Am Heart J*. 2014;167:585–92, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ahj.2014.01.006>.
32. Gasior M, Zembala MO, Tajstra M, et al. Hybrid revascularization for multivessel coronary artery disease. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014;7:1277–83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcin.2014.05.025>.
33. van den Eynde J, Sá MP, de Groote S, et al. Hybrid coronary revascularization versus percutaneous coronary intervention: A systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol Heart Vasc*. 2021;37:100916, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcha.2021.100916>.
34. Diegeler A, Matin M, Falk V, et al. Quality assessment in minimally invasive coronary artery bypass grafting. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1999;16 Suppl 2, [http://dx.doi.org/10.1016/S1010-7940\(99\)00273-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1010-7940(99)00273-0).
35. Repossini A, Moriggia S, Cianci V, et al. The LAST operation is safe and effective: MIDCABG clinical and angiographic evaluation. *Ann Thorac Surg*. 2000;70:74–8, [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975\(00\)01413-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975(00)01413-2).
36. Cremer JT, Wittwer T, Böning A, et al. Minimally invasive coronary artery revascularization on the beating heart. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:1787–91, [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975\(00\)01079-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975(00)01079-1).
37. Mehran R, Dangas G, Stamou SC, et al. One-year clinical outcome after minimally invasive direct coronary artery bypass. *Circulation*. 2000;102:2799–802, <http://dx.doi.org/10.1161/01.CIR.102.23.2799>.
38. Holzhey DM, Jacobs S, Mochalski M, et al. Seven-year follow-up after minimally invasive direct coronary artery bypass: Experience with more than 1300 patients. *Ann Thorac Surg*. 2007;83:108–14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2006.08.029>.
39. Rabindranauth P, Burns JG, Vessey TT, Mathiason MA, Kallies KJ, Paramesh V. Minimally invasive coronary artery bypass grafting is associated with improved clinical outcomes. *Innovations (Phila)*. 2014;9:421–6, <http://dx.doi.org/10.1097/IMI.0000000000000110>.