

Asistencias ventriculares percutáneas en los pacientes agudos y en el intervencionismo coronario de alto riesgo

Juan Carlos Gómez-Polo^{a,*}, Pedro Villablanca^b y Harish Ramakrishna^c

^a Servicio de Cardiología, Instituto Cardiovascular, Hospital Clínico San Carlos, Madrid, España

^b Interventional Cardiology, The Center for Structural Heart Disease, Interventional Cardiology, Henry Ford Hospital, Detroit, Michigan, Estados Unidos

^c Department of Anesthesiology and Perioperative Medicine, Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, Estados Unidos



RESUMEN

La intervención coronaria percutánea (ICP) desempeña un papel fundamental en el tratamiento de los pacientes con enfermedad coronaria obstructiva. De ellos, un porcentaje significativo se someterán a un procedimiento de alto riesgo, en función de la presentación clínica, las características del paciente y su anatomía coronaria. Los dispositivos de asistencia ventricular izquierda, como el balón intraaórtico de contrapulsación, el dispositivo TandemHeart, el Impella, los dispositivos HeartMate PHP y las técnicas de oxigenación veno-arterial con oxigenador extracorpóreo de membrana (ECMO), son herramientas empleadas para proporcionar soporte circulatorio en la ICP de alto riesgo, con un impacto creciente en la práctica clínica. Existen numerosos trabajos en la literatura científica sobre su empleo en este escenario, con resultados controvertidos. Esta revisión proporciona una visión general de la evidencia disponible sobre el empleo de los distintos tipos de dispositivos, así como de su potencial papel en la ICP de alto riesgo.

Palabras clave: Balón intraaórtico de contrapulsación. Dispositivo de asistencia ventricular izquierda. Intervencionismo coronario percutáneo de alto riesgo. Shock cardiogénico. Ventrículo derecho.

Left ventricular assist devices in acute cardiovascular care patients and high-risk percutaneous coronary interventions

ABSTRACT

Percutaneous coronary intervention (PCI) plays a key role in the management of patients with obstructive coronary artery disease. Besides, depending on the patients' clinical presentation, characteristics, comorbidities, and coronary anatomy, an increasing number of patients will undergo a high-risk PCI. Left ventricular assist devices, as the intra-aortic balloon pump, TandemHeart, Impella, HeartMate PHP, and extracorporeal membrane oxygenation are useful tools to provide circulatory support for high-risk PCIs. Some studies and trials have assessed its impact on this clinical scenario with controversial results. This review provides an overview on the scientific evidence available on the use of left ventricular assist devices and their potential role in high-risk PCI.

Keywords: Intra-aortic balloon pump. Left ventricular assist device. High-risk percutaneous coronary intervention. Cardiogenic shock. Right ventricle.

Abreviaturas

BCIAo: balón intraaórtico de contrapulsación. **DAVI:** dispositivo de asistencia ventricular izquierda. **EC:** enfermedad coronaria. **ECMO:** oxigenador extracorpóreo de membrana. **IAM:** infarto agudo de miocardio. **ICP:** intervención coronaria percutánea. **TCI:** tronco coronario izquierdo.

* **Autor para correspondencia:** Servicio de Cardiología, Hospital Clínico San Carlos, Profesor Martín Lagos s/n, 28040 Madrid, España. Correo electrónico: jc.gomezpolo@gmail.com [J.C. Gómez Polo].

Online: 06-06-2020.

Full English text available from: www.recintervcardiol.org/en.

<https://doi.org/10.24875/RECIC.M20000127>

2604-7306 / © 2020 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Permanyer Publications. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND 4.0

INTRODUCCIÓN

En los países occidentales, la enfermedad coronaria (EC) es un problema de salud pública. Así, entre la población estadounidense mayor de 20 años se estima que 15,5 millones de personas tienen EC y que aproximadamente 635.000 padecerán un nuevo evento coronario agudo cada año¹. La intervención coronaria percutánea (ICP), como tratamiento de esta patología, continúa experimentando un crecimiento exponencial y actualmente es el método de elección para la revascularización¹⁻³, excepto en algunos pacientes concretos con enfermedad multivaso o muy compleja^{4,5}. La ICP tiene una recomendación de clase 1 para pacientes con un evento coronario agudo y es la primera opción en 3 contextos clínicos: la angina resistente a tratamiento médico, el *shock* cardiogénico como complicación del infarto agudo de miocardio (IAM) y el síndrome coronario agudo con elevación del segmento ST^{3,4}.

INTERVENCIÓN CORONARIA PERCUTÁNEA DE ALTO RIESGO

El criterio para definir ICP de alto riesgo no está bien establecido, pero hay una serie de características que confieren un riesgo periprocedimiento elevado y que se dividen en 3 grupos: específicas del paciente, específicas del tipo de lesión y dependientes de la presentación clínica⁶⁻⁹.

Los factores inherentes al paciente son la edad avanzada, la diabetes mellitus, la enfermedad renal crónica, el infarto de miocardio previo, la enfermedad vascular periférica grave y la presencia de disfunción sistólica del ventrículo izquierdo, definida como un valor < 30-35%^{9,10}.

Entre los factores dependientes de las características de la lesión coronaria se encuentran la enfermedad del tronco coronario izquierdo (TCI) —no protegido—, la enfermedad localizada en el *ostium* o en bifurcaciones, la lesión en *bypass* de la vena safena, la abundante calcificación y las oclusiones crónicas^{11,12}. Finalmente, la presentación clínica desempeña un papel en el pronóstico, de tal modo que los enfermos en situación de *shock* cardiogénico o que ingresan como síndrome coronario agudo tienen un riesgo aumentado de eventos adversos durante la ICP¹³.

Hay que subrayar que el *shock* cardiogénico es la principal causa de mortalidad asociada al IAM, con una prevalencia del 5-15%^{13,14}. Hay una evidencia creciente de que el pronóstico de los pacientes con IAM complicado con *shock* cardiogénico puede mejorar sustancialmente mediante la ICP lo más precoz posible y la angioplastia primaria^{15,16}.

DISPOSITIVOS PERCUTÁNEOS DE ASISTENCIA CIRCULATORIA

Los dispositivos de asistencia ventricular izquierda (DAVI) se emplean para proporcionar soporte hemodinámico durante la ICP de alto riesgo. Estos dispositivos incluyen el balón de contrapulsación intraaórtico (BCIAo), el dispositivo TandemHeart (CardiacAssist, Estados Unidos), el Impella (Abiomed, Estados Unidos), los dispositivos HeartMate PHP (St. Jude Medical, Estados Unidos) y las técnicas de oxigenación veno-arterial con oxigenador extracorpóreo de membrana (ECMO)¹⁷. Sus principales características se describen de forma comparativa en la *tabla 1*.

Balón de contrapulsación intraaórtico

Desde su introducción en la década de 1970, el BCIAo constituye un método de asistencia circulatoria para numerosas indicaciones.

Tabla 1. Comparación de los distintos tipos de dispositivos de asistencia circulatoria izquierda según sus características basales

| Dispositivo | Mecanismo de bomba | Cámara cardiaca de acción | Acceso vascular | Flujo |
|-------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------|
| BCIAo | Contrapulsación | VI | 8-9 Fr | 1 l/min |
| ECMO | Centrífugo | Biventricular | Venoso 15-22 Fr Arterial 15-21 Fr | > 4,5 l/min |
| TandemHeart | Centrífugo | VI, VD o biventricular | Venoso 15-17 Fr Arterial 21 Fr | 4-5 l/min |
| Impella 2.5 | Axial | VI | 12 Fr | 2,5 l/min |
| Impella CP | Axial | VI | 14 Fr | 3,33 l/min |
| Impella 5.0 | Axial | VI | 21 Fr | 5 l/min |

BCIAo: balón intraaórtico de contrapulsación; ECMO: oxigenador extracorpóreo de membrana; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

Su capacidad para aumentar el flujo coronario^{18,19}, mejorar el flujo sistémico mediante un aumento del gasto cardiaco adicional de 0,5 l/min^{14,20,21} y disminuir el consumo miocárdico de oxígeno²² apoya su uso en cualquier paciente con necesidad de incrementar el flujo coronario y sistémico.

Recientemente, en las guías americanas³, el empleo del BCIAo ha pasado de recomendación de clase I a clase II b en el contexto del *shock* cardiogénico como complicación del IAM, y en las guías europeas²³ a un grado de recomendación III, todo ello a raíz de estudios que cuestionan el valor del BCIAo como factor con un impacto en el pronóstico²⁴. En el estudio IABP SHOCK se comparó el BCIAo tras la ICP con el abordaje estándar con inotrópicos y aminas vasoactivas, sin que se demostrara beneficio en la mortalidad a corto plazo²⁵. Estos hallazgos se reforzaron tras el estudio IABP-SHOCK II, que no encontró diferencias en la mortalidad a los 30 días²⁴ ni en la mortalidad por todas las causas a los 12 meses de seguimiento²⁶ en pacientes con IAM complicado con *shock* cardiogénico.

Un metanálisis sugiere que el uso preoperatorio del BCIAo reduce la mortalidad preoperatoria y a los 30 días en pacientes de alto riesgo que van a someterse a cirugía electiva de revascularización miocárdica²⁷⁻³², mientras que otros autores concluyen que el empleo de BCIAo no tiene ningún impacto en la mortalidad de los pacientes con IAM, con independencia de que presentaran o no *shock* cardiogénico^{14,33,34}.

Estos resultados contrapuestos han sentado las bases de nuevos trabajos de investigación.

Situación actual en la ICP

El BCIAo se ha utilizado durante décadas en situaciones de ICP de alto riesgo debido a su función como soporte circulatorio^{9,35-38}. Una serie de trabajos han comparado su implante electivo en este contexto frente a su empleo como rescate en pacientes estables que se van a someter a ICP de alto riesgo. Estos estudios sugieren que el implante electivo antes del procedimiento se asocia a una reducción de eventos adversos durante su realización^{39,40}, con una tendencia a una menor tasa de eventos adversos cardiovasculares mayores. Mishra et al.³⁸ describieron que el implante profiláctico de BCIAo antes de la ICP de alto riesgo se asociaba con una mayor supervivencia durante el ingreso hospitalario y a los 6 meses de seguimiento respecto a su implante de rescate, debido al desarrollo

de compromiso hemodinámico durante el procedimiento. Todo ello se produjo a costa de un riesgo elevado de este grupo de complicaciones relacionadas con fenómenos de sangrado⁴¹. A pesar de lo relevante de estos datos, todos ellos proceden de trabajos retrospectivos.

Perera et al.³⁹ realizaron en 2010 un estudio prospectivo, multicéntrico, aleatorizado y controlado sobre intervencionismo coronario asistido con balón de contrapulsación (BCIS-1), en el que se aleatorizó a 301 pacientes con EC y disfunción sistólica del ventrículo izquierdo < 30% para recibir o no un implante electivo de BCIAo. El objetivo primario fue la presencia de eventos adversos cardiovasculares a los 28 días, que ocurrió en el 15,2% de los pacientes en que se implantó el BCIAo de forma electiva, frente al 16% en el grupo sin implante planeado. El empleo electivo del BCIAo se asoció con menos sangrado y complicaciones locales que su empleo de rescate en el grupo sin implante planeado. Estos resultados son concordantes con los hallados en metanálisis publicados más recientemente³⁴.

A tenor de los resultados de los ensayos clínicos se ha producido un descenso en el uso del BCIAo en la ICP de alto riesgo^{13,41}, a la vez que ha aumentado el desarrollo y el empleo de otros DAVI en este escenario⁴².

TandemHeart

El TandemHeart (figura 1) es un dispositivo de asistencia circulatoria temporal, externo y capaz de proporcionar un flujo continuo de 4 l/min⁴³. Contiene 3 subsistemas y es el único dispositivo diseñado para atravesar el septo interauricular, mediante una cánula de 21 Fr que queda alojada en la aurícula izquierda. La sangre oxigenada se succiona desde la aurícula izquierda y se retorna a través de una bomba centrífuga que proporciona un flujo continuo a través de una cánula de 12 Fr en la arteria femoral o de 15-17 Fr en la arteria ilíaca.

En un ensayo de cohortes llevado a cabo por Thiele et al.⁴³ en 18 pacientes con *shock* cardiogénico tras un IAM se halló una mejoría significativa en los parámetros hemodinámicos tras su implante, a costa de una serie de complicaciones relacionadas con la inserción y el mantenimiento del catéter, con una mortalidad global a los 30 días del 44%. Además, este trabajo mostró que los DAVI se pueden implantar rápidamente, en menos de 30 minutos.

Otros estudios han comparado la eficacia del TandemHeart frente al BCIAo en el *shock* cardiogénico, como los desarrollados por Thiele et al.⁴² y Burkhoff et al.⁴⁴, en los que se muestra la capacidad del TandemHeart para mejorar la situación hemodinámica, asumiendo un riesgo de complicaciones asociadas al dispositivo.

Situación actual en la ICP

El primer caso en que se empleó el dispositivo TandemHeart en la ICP de alto riesgo fue documentado por Vranckx et al.⁴⁵. Desde entonces se han sucedido diversos estudios retrospectivos que han analizado su empleo. Uno de ellos incluyó 9 pacientes con lesión del TCI rechazados para cirugía, y logró un 100% de éxito en la ICP⁴⁶. De los 9 pacientes, 4 desarrollaron complicaciones del acceso vascular, 2 de los cuales requirieron cirugía vascular por isquemia de miembros inferiores. La supervivencia a los 6 meses fue del 88,5%, en comparación con el 89,5% de la población total con enfermedad del TCI en el mismo centro hospitalario^{47,48}.

Posteriormente, Aragon et al.⁴⁹ analizaron el empleo del TandemHeart en 8 pacientes que se sometieron a ICP de alto riesgo

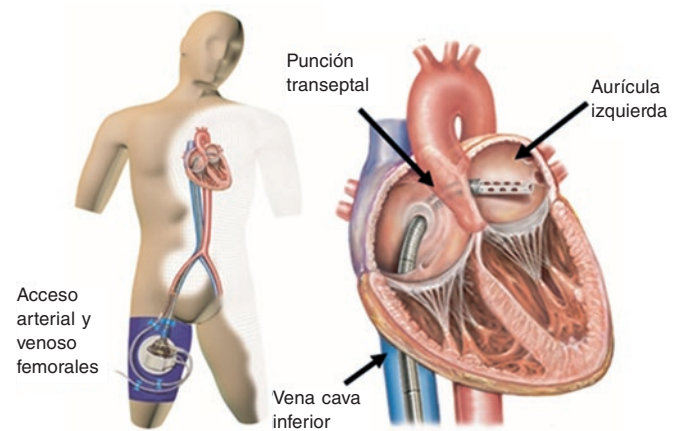


Figura 1. Esquema de funcionamiento del dispositivo TandemHeart con acceso periférico femoral. Drenaje de la sangre oxigenada por medio de una punción transeptal de la aurícula izquierda que retorna a través de la arteria femoral.

y encontraron que la mejoría hemodinámica se puede lograr precozmente, con una tasa de éxito de la angioplastia cercana al 100% y sin complicaciones inmediatas tras la ICP.

En 2012, Alli et al.⁵⁰ llevaron a cabo un estudio retrospectivo que analizó 54 pacientes que se sometieron a ICP bajo soporte con TandemHeart entre 2004 y 2009, con una tasa de éxito de la ICP del 97% (el 62% de los pacientes tenían enfermedad multivaso o del TCI). La supervivencia total a los 30 días fue del 90%, y se mantuvo a los 6 meses, pero destaca una tasa de complicaciones vasculares del 13%^{50,51}.

Impella

Los dispositivos tipo Impella (figura 2) emplean un catéter por vía femoral, que cruza la válvula aórtica y se aloja en el ventrículo izquierdo, donde succiona sangre oxigenada, que es devuelta hacia la aorta ascendente. Existen diferentes modelos: Impella 2.5, Impella CP e Impella 5.0, que proporcionan 2,5, 4 y 5 l/min de flujo, respectivamente.

En un estudio inicial llevado a cabo por Seyfarth et al.⁵², el dispositivo Impella 2.5 se comparó con el BCIAo en 25 pacientes con *shock* cardiogénico tras un IAM y se observó que proporcionó un soporte hemodinámico superior al del BCIAo, pero con una mayor tasa de transfusiones y de hemólisis que este, sin diferencias en la mortalidad a los 30 días (en torno al 46%). El registro EUROSHOCK⁵³ recoge 120 pacientes con *shock* cardiogénico secundario a IAM que recibieron soporte circulatorio con un dispositivo Impella 2.5, y confirma que se trata de una alternativa real, con una mejoría de las concentraciones plasmáticas de lactato, a costa de una tasa de transfusiones de concentrados de hemáties del 24% y de un 4,2% de necesidad de cirugía hemostática. La mortalidad a los 30 días en este estudio de cohortes fue del 64%, y se atribuye a la presencia de un elevado porcentaje de pacientes que debutaron como parada cardiorrespiratoria.

Situación actual en la ICP

En marzo de 2015, la *Food and Drug Administration* aprobó el dispositivo Impella 2.5 como DAVI en la ICP de alto riesgo, bien sea electiva o urgente. Esto sucedió a raíz de numerosos trabajos que avalan la seguridad del dispositivo en este contexto⁵⁴.

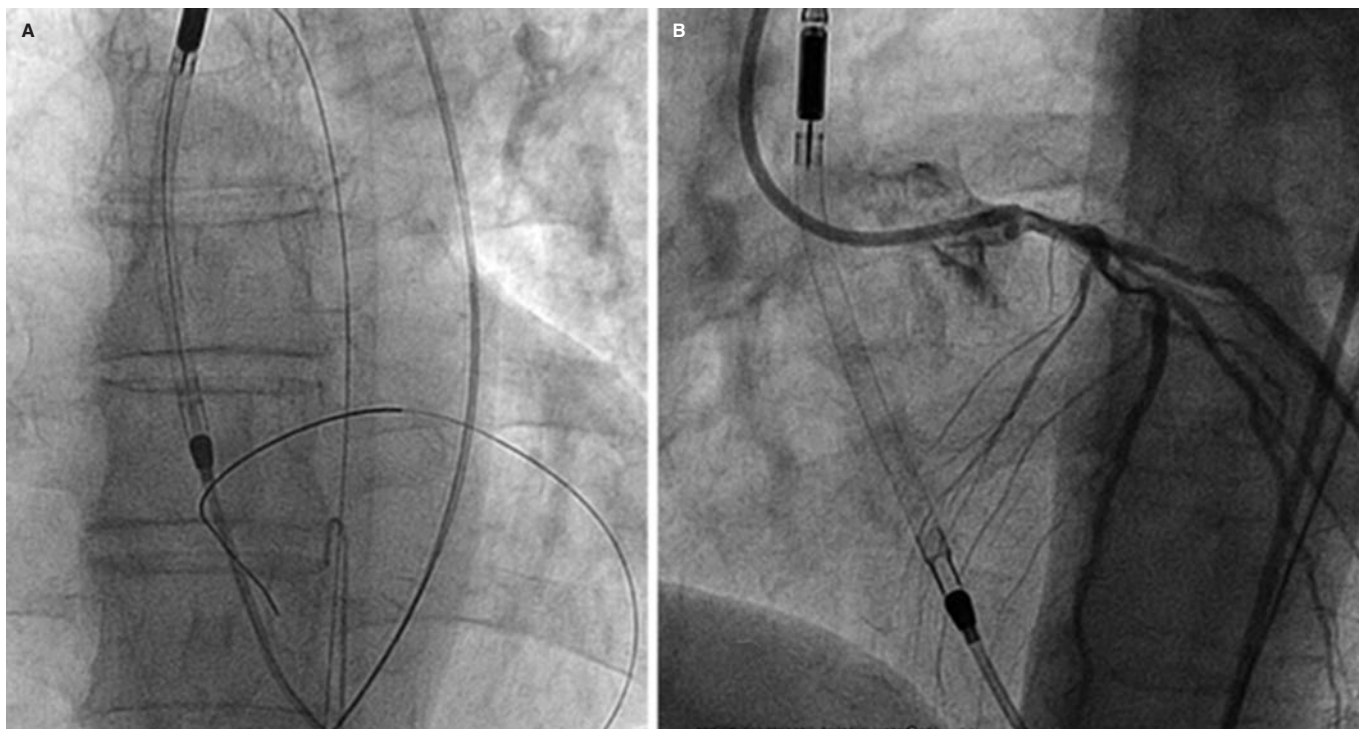


Figura 2. Intervención coronaria percutánea de alto riesgo bajo soporte circulatorio con dispositivo Impella 2.5. En **A** y **B** se observa la localización correcta del dispositivo cruzando la válvula aórtica.

El registro Europella⁵⁵ incluyó 144 pacientes que se sometieron a ICP de alto riesgo bajo soporte con Impella 2.5. El objetivo primario fue el desarrollo de eventos a los 30 días: muerte, sangrado mayor (que requiriera transfusión o cirugía), IAM, necesidad de cirugía de revascularización urgente o accidente cerebrovascular; incluyó asimismo eventos de seguridad relacionados con el dispositivo.

En el registro americano USpella⁵⁶ de 175 pacientes y con objetivos similares (con excepción del sangrado, que se consideró un objetivo secundario), el objetivo primario de muerte ocurrió en 7 (4%), mientras que en el registro Europella ocurrió en 8 (5,5%). Los resultados de mortalidad fueron mejores que los estimados por la escala STS, predictor de mortalidad quirúrgica, lo que sugiere que el soporte con Impella en este tipo de ICP es una opción razonable. Las complicaciones relacionadas con la retirada del dispositivo ocurrieron en 8 (5,5%) y 17 (9,7%) pacientes, respectivamente, con necesidad de transfusión en 1 (0,7%) y 3 (1,7%) casos, a raíz de complicaciones vasculares mayores.

El dispositivo Impella CP también cuenta con un análisis retrospectivo que, en consonancia con los resultados previos, halló una mejoría en la supervivencia de los pacientes con *shock* cardiogénico secundario a IAM en comparación con el dispositivo Impella 2.5⁵⁷.

HeartMate PHP

Al igual que el dispositivo Impella, el HeartMate PHP emplea una bomba de flujo axial para succionar sangre del ventrículo izquierdo y expulsarla en la aorta ascendente; la diferencia principal es la existencia de una cánula que se expande al cruzar la válvula aórtica, se implanta por vía femoral con un introductor de 13-14 Fr, se expande la cánula hasta los 24 Fr al alcanzar su posición adecuada a través de la válvula aórtica y permite proporcionar un flujo de hasta 4 l/min⁵⁸. Sin embargo, desde febrero de 2017 se ha interrumpido temporalmente

su empleo y los estudios en curso a raíz de defectos menores de diseño, entre los que destaca el ensayo SHIELD II (NCT02468778).

Oxigenador extracorpóreo de membrana

El ECMO puede proporcionar soporte cardiopulmonar de forma similar a la bomba de circulación extracorpórea empleada durante la cirugía cardíaca. Su empleo ha sido bien estudiado en población pediátrica en el contexto de fallo cardíaco o respiratorio grave^{59,60}.

El ECMO veno-arterial incluye un circuito con cánulas de sangre venosa y arterial, una bomba centrífuga y un oxigenador de membrana. Se puede implantar por vía periférica (femoral habitualmente) o central, y requiere una esternotomía media. La cánula venosa (20 Fr) drena sangre no oxigenada de la aurícula derecha hacia el oxigenador de membrana, donde se produce el intercambio gaseoso, y la sangre oxigenada se retorna al enfermo a través de la cánula arterial (17 Fr).

A pesar de ser el único dispositivo que proporciona un soporte circulatorio y respiratorio completo, como inconveniente destaca que puede incrementar la poscarga del ventrículo izquierdo y el estrés parietal (debido a un aumento en las presiones de llenado), lo que podría tener consecuencias negativas en la demanda miocárdica de oxígeno⁶¹⁻⁶⁴.

Situación actual en la ICP

El empleo del ECMO en el contexto del fallo cardíaco o respiratorio grave se ha incrementado un 433% en el periodo 2006-2011⁶⁵. A pesar de ello, la experiencia en su uso como asistencia circulatoria en la ICP de alto riesgo es limitada y solo existen pequeños trabajos retrospectivos y series de casos⁶⁶⁻⁶⁸.

En 1989, Taub et al.⁶⁵ documentaron 7 casos de utilización exitosa de ECMO en angioplastias de alto riesgo. La incidencia de hematoma complicado fue elevada (6 pacientes, de los que 4 requirieron transfusión); destaca como complicación un hematoma retroperitoneal que provocó el fallecimiento del paciente.

Para analizar el empleo del ECMO en la ICP de alto riesgo, Tomasello et al.⁶⁹ publicaron su experiencia en un estudio prospectivo que incluyó 12 pacientes con EC compleja, de alto riesgo para revascularización quirúrgica, sin *shock* cardiogénico ni parada cardíaca, con implante de un ECMO veno-arterial antes de la ICP. Todos los enfermos toleraron el procedimiento, con solo una complicación del acceso vascular (un hematoma que no precisó transfusión). A los 6 meses de seguimiento no se habían producido eventos de mortalidad ni IAM, lo que sugiere que el ECMO puede ser una alternativa segura en este contexto.

BCIAo frente a otros DAVI en la ICP

Varios ensayos clínicos han comparado directamente el BCIAo con otros DAVI. En el estudio PROTECT II¹¹ se comparó el dispositivo Impella 2.5 con el BCIAo en la ICP de alto riesgo. Se trata de un estudio multicéntrico prospectivo con 452 pacientes que iban a someterse a ICP de alto riesgo (definida como enfermedad del TCI y fracción de eyección del ventrículo izquierdo < 35%, o enfermedad multivaso con fracción de eyección del ventrículo izquierdo < 30%) y fueron aleatorizados para recibir soporte circulatorio con Impella 2.5 o con BCIAo durante el procedimiento. Se excluyó a los pacientes con IAM reciente. El objetivo primario a los 30 días fue un combinado de eventos cardiovasculares mayores y mortalidad. El Impella 2.5 proporcionó un mejor soporte hemodinámico que el BCIAo, sin diferencias estadísticamente significativas en el objetivo primario: 35,1% en el grupo con Impella 2.5 y 40,1% en el grupo con BCIAo ($p = 0,227$).

Patel et al.⁷⁰ realizaron un estudio transversal en el periodo 2008-2012 que analizó pacientes sometidos a ICP que recibieron asistencia circulatoria con BCIAo o con otros DAVI (Impella, TandemHeart o combinación de BCIAo y DAVI). Se registraron 18.094 procedimientos (93% con BCIAo, 6% con Impella o TandemHeart, y 1% con BCIAo y DAVI). En primer lugar, destaca que los enfermos asistidos con DAVI eran de mayor edad y presentaban más comorbilidad (hipertensión arterial, diabetes mellitus, insuficiencia renal, enfermedad pulmonar) que los enfermos asistidos con BCIAo. La mortalidad global fue del 19,8% (20,1% con BCIAo, 12% con DAVI y 41% con la combinación de BCIAo y DAVI) y la tasa total de complicaciones fue del 35,5% (36% con BCIAo, 26% con DAVI y 52% con la combinación de BCIAo y DAVI). El empleo del BCIAo se asoció a una mayor incidencia de complicaciones cardíacas (9 frente a 4%) y respiratorias (19 frente a 11%), mientras que el empleo de otros DAVI implicó una mayor tasa de complicaciones vasculares (8,6 frente a 5,5%). Se realizó un análisis de subgrupos en función de la presencia o no de *shock* cardiogénico o IAM, y la principal conclusión fue que el empleo de DAVI fue un factor predictor de menor tasa de complicaciones y de baja mortalidad únicamente en el grupo de pacientes sin IAM ni *shock* cardiogénico, en comparación con el BCIAo.

Khera et al.⁷¹ realizaron un estudio similar al previo en el periodo 2004-2012, pero excluyeron a los enfermos que recibieron soporte con ambos dispositivos (combinación de BCIAo y otros DAVI). Un total de 26.556 pacientes se sometieron a ICP de alto riesgo bajo soporte con BCIAo (96%) o DAVI (4%). De los que recibieron soporte con DAVI, el 7% presentaban *shock* cardiogénico y el 2,2% tenían IAM. De manera similar al trabajo anterior, los autores hallaron que los pacientes que recibieron asistencia con DAVI eran de mayor edad y con más comorbilidad, pero con menor tasa de

IAM, *shock* cardiogénico y parada cardiorrespiratoria que el grupo de pacientes que recibió BCIAo; no hubo diferencias significativas en la mortalidad total intrahospitalaria.

El ensayo IMPRESS⁷², publicado en octubre de 2016, aleatorizó a 48 pacientes ingresados por síndrome coronario agudo con elevación del segmento ST y *shock* cardiogénico secundario para recibir asistencia con Impella CP o con BCIAo en la ICP primaria de alto riesgo; fue el primer trabajo de estas características. En este estudio no se encontraron diferencias en el objetivo primario de mortalidad y eventos cardiovasculares a los 30 días (mortalidad del 46% en el grupo de Impella CP frente al 50% en el grupo de BCIAo; $p = 0,92$), así como tampoco en la mortalidad por todas las causas a los 6 meses (50% en ambos grupos), pero destaca una mayor tasa de complicaciones vasculares en el grupo que recibió asistencia con Impella CP (sangrado mayor: 33 frente a 8%), debido al mayor calibre de la cánula empleada por este dispositivo (14 frente a 7,5 Fr).

Resultan interesantes, asimismo, los resultados del trabajo publicado por Koen et al.⁷³ en 2019. Se trata de un estudio retrospectivo, unicéntrico, en el que se analizaron la evolución y el pronóstico de los pacientes sometidos a ICP de alto riesgo en el periodo 2011-2018 en función de si recibieron soporte circulatorio mecánico o no. Se definió como objetivo primario un combinado de mortalidad periprocedimiento (< 24 h), parada cardíaca, necesidad de fármacos vasoactivos, necesidad de soporte circulatorio de rescate, intubación endotraqueal e isquemia periférica. Se incluyeron 198 pacientes sometidos a ICP de alto riesgo, de los cuales 69 (35%) se beneficiaron de soporte con DAVI: 18 con Impella CP, 25 con HeartMate PHP y 26 con Pulsecath iVAC 2L (PulseCath BV, Países Bajos; dispositivo transfemoral pulsátil que proporciona un gasto cardíaco de hasta 2 l/min). En el estudio destaca una incidencia del objetivo primario del 20% en el grupo de pacientes sin soporte circulatorio frente al 9% en el grupo que recibió soporte circulatorio periprocedimiento.

Amin et al.⁷⁴ han publicado un trabajo retrospectivo que incluye 48.306 pacientes sometidos a ICP de alto riesgo con soporte circulatorio (43.524 con BCIAo y 4.782 con Impella). Este estudio se desarrolló a lo largo de 13 años (2004- 2016) en 432 hospitales de los Estados Unidos. Se definió una era pre-Impella hasta 2007 (el dispositivo Impella 2.5 fue aprobado por la *Food and Drug Administration* para su empleo en la ICP de alto riesgo en 2008) y se observó que el empleo de Impella fue aumentando exponencialmente hasta 2016. En el grupo de pacientes con Impella, los autores observaron un incremento de los eventos adversos en forma de mortalidad, fenómenos de sangrado y accidentes cerebrovasculares, sin tratarse de enfermos en una situación clínica más crítica que el grupo de pacientes que recibió BCIAo.

A raíz de estos hallazgos, surge una interesante discusión. A pesar del tamaño muestral, existen diferentes factores que pueden explicar tales resultados, que parecen insuficientes para dejar de recomendar el empleo del dispositivo en pacientes sometidos a ICP de alto riesgo. En primer lugar, se trata de un trabajo retrospectivo, y con diferencias sustanciales en la experiencia y el volumen de casos de cada centro. Asimismo, el empleo de nuevos antiagregantes plaquetarios, significativamente mayor a partir de 2009, podría justificar, en parte, el aumento de los fenómenos de sangrado.

Por otro lado, los autores no mencionan las características de la anatomía coronaria de los pacientes de forma detallada (solo se describe una mayor prevalencia de enfermedad multivaso, lesiones en bifurcaciones y oclusiones crónicas en el grupo con Impella), las tasas de éxito de la ICP ni la tolerancia clínica y hemodinámica del paciente al procedimiento, objetivo primordial del empleo de DAVI en este contexto, ni esclarecen las causas de la mortalidad

observada. Los autores describen que los pacientes con soporte con Impella no se encontraban en una situación más crítica, ya que la incidencia de *shock* cardiogénico y la necesidad de ventilación mecánica invasiva fue menor que en los pacientes en los que se empleó BCIAo. Sin embargo, revisando con detalle los resultados, llama la atención que en el grupo con Impella había una mayor prevalencia de insuficiencia cardiaca previa, enfermedad pulmonar obstructiva crónica e insuficiencia renal crónica, comorbilidad que podría justificar los resultados. Además, hay que destacar que la estancia media, tanto en las unidades de cuidados intensivos como hospitalaria, fue menor en el grupo en que se empleó Impella como DAVI.

Por todo ello, considerando las mencionadas limitaciones, a pesar del importante tamaño muestral de este estudio y sus llamativos resultados, existen algunos factores de confusión asociados, por lo que parece aventurado dejar de recomendar totalmente los dispositivos tipo Impella en el contexto de la ICP de alto riesgo.

Fallo ventricular derecho en pacientes portadores de DAVI. Dispositivos de soporte derecho

De forma general, el fallo del ventrículo derecho (VD) ocurre aproximadamente en el 20-50% de los pacientes tras el implante de un DAVI⁷⁵. Sin embargo, en la literatura no son uniformes los criterios para definir el fracaso del VD (tabla 2). Su patogenia es multifactorial. La descarga del ventrículo izquierdo llevada a cabo por los DAVI induce una pérdida de la contribución de la contracción septal a la función derecha (la contracción del septo supone el 60% de la fuerza contráctil del VD)⁷⁶.

Por la importante morbimortalidad asociada, es fundamental una adecuada selección de los pacientes candidatos a DAVI. Existen algunos factores predictores de fracaso del VD⁷⁷:

- Presión de la aurícula derecha previa al implante > 20 mmHg.
- Gradiente transpulmonar previo al implante > 16 mmHg.
- Descenso abrupto (> 10 mmHg) de la presión arterial pulmonar tras el implante.
- Ratio presión venosa central/presión de enclavamiento pulmonar > 0,63.
- Insuficiencia tricúspide de grado > III antes del implante.
- Ratio eje corto/eje largo del VD > 0,6.
- Necesidad de soporte circulatorio antes del implante de DAVI.
- Hipertransaminasemia, hiperbilirrubinemia o deterioro de la función renal.
- Necesidad de ventilación mecánica invasiva antes del implante.
- Deformación global longitudinal de la pared libre del VD < -9,6%.

En cuanto al manejo del fallo del VD, se centra principalmente en su prevención. Seleccionar de manera correcta a los enfermos candidatos a DAVI es una labor capital, así como también lo es optimizar su situación de precarga y poscarga del VD, tratando de reducir la presión venosa central. Como medidas generales, es fundamental realizar profilaxis antiinfecciosa, evitar las arritmias cardíacas y programar una ventilación mecánica protectora hacia el VD (con baja presión positiva telespiratoria). La dobutamina, la

Tabla 2. Criterios definitorios de fallo del ventrículo derecho tras el implante de un dispositivo de asistencia ventricular izquierda

| |
|--|
| Soporte posoperatorio con inotrópicos durante más de 14 días |
| Empleo de óxido nítrico inhalado durante más de 48 horas |
| Necesidad de tratamiento inotrópico al alta hospitalaria |
| Asistencia circulatoria derecha |
| Dos o más de los siguientes parámetros hemodinámicos: |
| Presión arterial media < 55 mmHg |
| Presión venosa central > 16 mmHg |
| Saturación venosa mixta < 55% |
| Índice cardiaco (flujo proporcionado por DAVI) < 20 l/min/m ² |
| Puntuación de soporte inotrópico > 20 U |

DAVI: dispositivo de asistencia ventricular izquierda.

adrenalina y la milrinona son los principales agentes inotrópicos empleados en el fallo del VD tras el implante de un DAVI, y pueden asociarse a agentes reductores de la presión arterial pulmonar.

Los dispositivos de asistencia circulatoria también tienen un papel en este contexto clínico. El ECMO veno-arterial, ya comentado en el presente documento, suple la función del VD. Dentro del grupo de los dispositivos Impella, recientemente se ha introducido el modelo Impella RP, con una única cánula de 22 Fr, que aspira sangre de la vena cava inferior, la eyecta hacia la arteria pulmonar y proporciona un flujo de 4 l/min, con resultados prometedores en el estudio RECOVER RIGHT⁷⁸, en el que se incluyeron 30 pacientes con fallo agudo del VD (tras el implante de un DAVI y como consecuencia de un IAM con afectación derecha).

Impacto económico del empleo de DAVI

La huella económica de los progresos técnicos en el abordaje percutáneo de la patología cardiovascular está creciendo. Un análisis de los costes que implicarían los cuidados prestados en el estudio PROTECT II muestra que los gastos relativos a la hospitalización fueron mayores en el grupo que recibió asistencia con el dispositivo Impella que en el grupo con BCIAo (47.667 frente a 33.684 USD), diferencia que no se explica únicamente por los costes del dispositivo⁷⁹. En contraposición, los costes debidos a la duración de la estancia y los ingresos fueron menores en el grupo de pacientes tratados con Impella 2.5 (11.007 frente a 21.834 USD).

CONCLUSIONES

El futuro aportará luz acerca del verdadero papel de los DAVI en el laboratorio de hemodinámica. Todos estos dispositivos se emplean con el objetivo de mejorar el gasto cardiaco, la presión arterial media y la perfusión coronaria, reduciendo la presión capilar pulmonar en pacientes con una reserva cardiaca disminuida.

A pesar de los resultados controvertidos de los diferentes estudios, registros y ensayos clínicos, el empleo de los DAVI está aumentando en la ICP de alto riesgo y permiten conservar la estabilidad hemodinámica durante el procedimiento.

FINANCIACIÓN

Los autores declaran la ausencia de fuentes de financiación para la realización del presente trabajo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la ausencia de conflictos de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

- Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. Heart disease and stroke statistics-2015 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. 2015;131:e29-322.
- Pulido JN, Park SJ, Rihal CS. Percutaneous left ventricular assist devices: clinical uses, future applications, and anesthetic considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010;24:478-486.
- O'Gara PT, Kushner FG, Ascheim DD, et al. 2013 ACCF/AHA guideline for the management of ST-elevation myocardial infarction: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*. 2013;127:e362-425.
- Levine GN, Bates ER, Blankenship JC, et al. 2015 ACC/AHA/SCAI Focused Update on Primary Percutaneous Coronary Intervention for Patients With ST-Elevation Myocardial Infarction: An Update of the 2011 ACCF/AHA/SCAI Guideline for Percutaneous Coronary Intervention and the 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of ST-Elevation Myocardial Infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2016;67:1235-1250.
- Epstein AJ, Polsky D, Yang F, Yang L, Groeneveld PW. Coronary revascularization trends in the United States, 2001-2008. *JAMA*. 2011;305:1769-1776.
- Rihal CS, Naidu SS, Givertz MM, et al. 2015 SCAI/ACC/HFSA/STS Clinical Expert Consensus Statement on the Use of Percutaneous Mechanical Circulatory Support Devices in Cardiovascular Care: Endorsed by the American Heart Association, the Cardiological Society of India, and Sociedad Latino Americana de Cardiología Intervención; Affirmation of Value by the Canadian Association of Interventional Cardiology-Association Canadienne de Cardiologie d'Intervention. *J Am Coll Cardiol*. 2015;65:e7-e26.
- Sakakura K, Ako J, Wada H, Kubo N, Momomura S. ACC/AHA classification of coronary lesions reflects medical resource use in current percutaneous coronary interventions. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;80:370-376.
- Krone RJ, Shaw RE, Klein LW, et al. Evaluation of the American College of Cardiology/American Heart Association and the Society for Coronary Angiography and Interventions lesion classification system in the current "stent era" of coronary interventions (from the ACC-National Cardiovascular Data Registry). *Am J Cardiol*. 2003;92:389-394.
- Hartzler GO, Rutherford BD, McConahay DR, Johnson WL, Giorgi LV. "High-risk" percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol*. 1988;61:33G-37G.
- Bass TA. High-Risk Percutaneous Coronary Interventions in Modern Day Clinical Practice: Current Concepts and Challenges. *Circ Cardiovasc Interv*. 2015;8:e003405.
- O'Neill WW, Kleiman NS, Moses J, et al. A prospective, randomized clinical trial of hemodynamic support with Impella 2.5 versus intra-aortic balloon pump in patients undergoing high-risk percutaneous coronary intervention: the PROTECT II study. *Circulation*. 2012;126:1717-1727.
- Teirstein PS, Vogel RA, Dorros G, et al. Prophylactic versus standby cardiopulmonary support for high risk percutaneous transluminal coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol*. 1993;21:590-596.
- Carnendran L, Abboud R, Sleeper LA, et al. Trends in cardiogenic shock: report from the SHOCK Study. The SHould we emergently revascularize Occluded Coronaries for cardiogenic shock? *Eur Heart J*. 2001;22:472-478.
- Goldberg RJ, Gore JM, Alpert JS, et al. Cardiogenic shock after acute myocardial infarction. Incidence and mortality from a community-wide perspective, 1975 to 1988. *N Engl J Med*. 1991;325:1117-1122.
- Hochman JS, Sleeper LA, Webb JG, et al. Early revascularization in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. SHOCK Investigators. Should We Emergently Revascularize Occluded Coronaries for Cardiogenic Shock. *N Engl J Med*. 1999;341:625-634.
- Yip HK, Wu CJ, Chang HW, et al. Comparison of impact of primary percutaneous transluminal coronary angioplasty and primary stenting on short-term mortality in patients with cardiogenic shock and evaluation of prognostic determinants. *Am J Cardiol*. 2001;87:1184-1188.
- Stretch R, Sauer CM, Yuh DD, Bonde P. National trends in the utilization of short-term mechanical circulatory support: incidence, outcomes, and cost analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2014;64:1407-1415.
- Kern MJ, Aguirre F, Bach R, Donohue T, Siegel R, Segal J. Augmentation of coronary blood flow by intra-aortic balloon pumping in patients after coronary angioplasty. *Circulation*. 1993;87:500-511.
- Fuchs RM, Brin KP, Brinker JA, Guzman PA, Heuser RR, Yin FC. Augmentation of regional coronary blood flow by intra-aortic balloon counterpulsation in patients with unstable angina. *Circulation*. 1983;68:117-123.
- Bregman D, Kripke DC, Goetz RH. The effect of synchronous unidirectional intra-aortic balloon pumping on hemodynamics and coronary blood flow in cardiogenic shock. *Trans Am Soc Artif Intern Organs*. 1970;16:439-446.
- Scheidt S, Wilner G, Mueller H, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in cardiogenic shock. Report of a co-operative clinical trial. *N Engl J Med*. 1973;288:979-984.
- Williams DO, Korr KS, Gewirtz H, Most AS. The effect of intraaortic balloon counterpulsation on regional myocardial blood flow and oxygen consumption in the presence of coronary artery stenosis in patients with unstable angina. *Circulation*. 1982;66:593-597.
- Windecker S, Kolh P, Alfonso F, 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). *Eur Heart J*. 2014;35:2541-2619.
- Thiele H, Schuler G, Neumann FJ, et al. Intraaortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock: design and rationale of the Intraaortic Balloon Pump in Cardiogenic Shock II (IABP-SHOCK II) trial. *Am Heart J*. 2012;163:938-945.
- Prondzinsky R, Lemm H, Swyter M, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in patients with acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock: the prospective, randomized IABP SHOCK Trial for attenuation of multiorgan dysfunction syndrome. *Crit Care Med*. 2010;38:152-160.
- Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al. Intra-aortic balloon counterpulsation in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock (IABP-SHOCK II): final 12 month results of a randomised, open-label trial. *Lancet*. 2013;382:1638-1645.
- Zangrillo A, Pappalardo F, Dossi R, et al. Preoperative intra-aortic balloon pump to reduce mortality in coronary artery bypass graft: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care*. 2015;19:10.
- Ranucci M, Castelvécchio S, Biondi A, et al.; Surgical and Clinical Outcome Research (SCORE) Group. A randomized controlled trial of preoperative intra-aortic balloon pump in coronary patients with poor left ventricular function undergoing coronary artery bypass surgery. *Crit Care Med*. 2013;41:2476-2483.
- Christenson JT, Badel P, Simonet F, Schmuziger M. Preoperative intraaortic balloon pump enhances cardiac performance and improves the outcome of redo CABG. *Ann Thorac Surg*. 1997;64:1237-1244.
- Christenson JT, Simonet F, Schmuziger M. The effect of preoperative intra-aortic balloon pump support in high risk patients requiring myocardial revascularization. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1997;38:397-402.
- Lomivorotov VV, Cherniavskiy AM, Boboshko VA, Kornilov IA, Lomivorotov VN, Karaskov AM. Levosimendan vs. intra-aortic balloon pump in high-risk cardiac surgery. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2011;19:154-159.
- Shi M, Huang J, Pang L, Wang Y. Preoperative insertion of an intra-aortic balloon pump improved the prognosis of high-risk patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting. *J Int Med Res*. 2011;39:1163-1168.
- Ahmad Y, Sen S, Shun-Shin MJ, et al. Intra-aortic Balloon Pump Therapy for Acute Myocardial Infarction: A Meta-analysis. *JAMA Intern Med*. 2015;175:931-939.
- Kantrowitz A, Tjonneland S, Freed PS, Phillips SJ, Butner AN, Sherman JL, Jr. Initial clinical experience with intraaortic balloon pumping in cardiogenic shock. *JAMA*. 1968;203:113-118.
- Szatmary LJ, Marco J. Haemodynamic and antiischaemic protective effects of intra-aortic balloon counterpulsation in high risk coronary heart patients undergoing percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Cor Vasa*. 1987;29:183-191.
- Brodie BR, Stuckey TD, Hansen C, Muncy D. Intra-aortic balloon counterpulsation before primary percutaneous transluminal coronary angioplasty reduces catheterization laboratory events in high-risk patients with acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*. 1999;84:18-23.

37. Briguori C, Sarais C, Pagnotta P, et al. Elective versus provisional intra-aortic balloon pumping in high-risk percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am Heart J*. 2003;145:700-707.
38. Mishra S, Chu WW, Torguson R, et al. Role of prophylactic intra-aortic balloon pump in high-risk patients undergoing percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol*. 2006;98:608-612.
39. Perera D, Stables R, Thomas M, et al. Elective intra-aortic balloon counterpulsation during high-risk percutaneous coronary intervention: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2010;304:867-74.
40. Sandhu A, McCoy LA, Negi SI, et al. Use of mechanical circulatory support in patients undergoing percutaneous coronary intervention: insights from the National Cardiovascular Data Registry. *Circulation*. 2015;132:1243-1251.
41. Khera R, Cram P, Lu X, et al. Trends in the use of percutaneous ventricular assist devices: analysis of national inpatient sample data, 2007 through 2012. *JAMA Intern Med*. 2015;175:941-950.
42. Thiele H, Sick P, Boudriot E, et al. Randomized comparison of intra-aortic balloon support with a percutaneous left ventricular assist device in patients with revascularized acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Eur Heart J*. 2005;26:1276-1283.
43. Thiele H, Lauer B, Hambrecht R, Boudriot E, Cohen HA, Schuler G. Reversal of cardiogenic shock by percutaneous left atrial-to-femoral arterial bypass assistance. *Circulation*. 2001;104:2917-2922.
44. Burkhoff D, Cohen H, Brunckhorst C, O'Neill WW. A randomized multicenter clinical study to evaluate the safety and efficacy of the TandemHeart percutaneous ventricular assist device versus conventional therapy with intraaortic balloon pumping for treatment of cardiogenic shock. *Am Heart J*. 2006;152:469.e1-8.
45. Vranckx P, Foley DP, de Feijter PJ, Vos J, Smits P, Serruys PW. Clinical introduction of the Tandemheart, a percutaneous left ventricular assist device, for circulatory support during high-risk percutaneous coronary intervention. *Int J Cardiovasc Intervent*. 2003;5:35-39.
46. Vranckx P, Schultz CJ, Valgimigli M, et al. Assisted circulation using the TandemHeart during very high-risk PCI of the unprotected left main coronary artery in patients declined for CABG. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2009;74:302-310.
47. Valgimigli M, van Mieghem CA, Ong AT, et al. Short- and long-term clinical outcome after drug-eluting stent implantation for the percutaneous treatment of left main coronary artery disease: insights from the Rapamycin-Eluting and Taxus Stent Evaluated At Rotterdam Cardiology Hospital registries (RESEARCH and T-SEARCH). *Circulation*. 2005;111:1383-1389.
48. Kar B, Butkevich A, Civitello AB, et al. Hemodynamic support with a percutaneous left ventricular assist device during stenting of an unprotected left main coronary artery. *Tex Heart Inst J*. 2004;31:84-86.
49. Aragon J, Lee MS, Kar S, Makkar RR. Percutaneous left ventricular assist device: "TandemHeart" for high-risk coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2005;65:346-352.
50. Alli OO, Singh IM, Holmes DR, Jr., Pulido JN, Park SJ, Rihal CS. Percutaneous left ventricular assist device with TandemHeart for high-risk percutaneous coronary intervention: the Mayo Clinic experience. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;80:728-734.
51. Nascimbene A, Loyalka P, Gregoric ID, Kar B. Percutaneous coronary intervention with the TandemHeart percutaneous left ventricular assist device support: Six years of experience and outcomes. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016;87:1101-1110.
52. Seyfarth M, Sibbing D, Bauer I, et al. A randomized clinical trial to evaluate the safety and efficacy of a percutaneous left ventricular assist device versus intra-aortic balloon pumping for treatment of cardiogenic shock caused by myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52:1584-1588.
53. Lauten A, Engstrom AE, Jung C, et al. Percutaneous left-ventricular support with the Impella-2.5-assist device in acute cardiogenic shock: results of the Impella-EUROSHOCK-registry. *Circ Heart Fail*. 2013;6:23-30.
54. Henriques JP, Rimmelink M, Baan J, Jr., et al. Safety and feasibility of elective high-risk percutaneous coronary intervention procedures with left ventricular support of the Impella Recover LP 2.5. *Am J Cardiol*. 2006;97:990-992.
55. Sjauw KD, Konorza T, Erbel R, et al. Supported high-risk percutaneous coronary intervention with the Impella 2.5 device the Europella registry. *J Am Coll Cardiol*. 2009;54:2430-2434.
56. Maini B, Naidu SS, Mulukutla S, et al. Real-world use of the Impella 2.5 circulatory support system in complex high-risk percutaneous coronary intervention: the USpella Registry. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;80:717-725.
57. Algin A, Tonino CM. TCT-187. 30-day survival in patients with cardiogenic shock: Impella 2.5 versus Impella 4.0. *J Am Coll Cardiol*. 2015;66:B70.
58. Dudek D. Temporary Cardiac Support During High-Risk PCI: HeartMate PHP and the SHIELD I Study. En: 27th Annual Transcatheter Cardiovascular Therapeutics; 2015 Oct 14; San Francisco, United States. Disponible en: <https://www.tctmd.com/slide/temporary-cardiac-support-during-high-risk-pci-heartmate-php-and-shield-i-study>. Consultado 20 Abr 2020.
59. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Jefferies MR, Huxtable RF, Haiduc NJ, Fong SW. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cardiopulmonary support in infancy. *Trans Am Soc Artif Intern Organs*. 1976;22:80-93.
60. Bartlett RH, Andrews AF, Toomasian JM, Haiduc NJ, Gazzaniga AB. Extracorporeal membrane oxygenation for newborn respiratory failure: forty-five cases. *Surgery*. 1982;92:425-433.
61. Anderson H, 3rd, Steimle C, Shapiro M, et al. Extracorporeal life support for adult cardiorespiratory failure. *Surgery*. 1993;114:161-172.
62. Kawashima D, Gojo S, Nishimura T, et al. Left ventricular mechanical support with Impella provides more ventricular unloading in heart failure than extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J*. 2011;57:169-176.
63. Koeckert MS, Jorde UP, Naka Y, Moses JW, Takayama H. Impella LP 2.5 for left ventricular unloading during venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support. *J Card Surg*. 2011;26:666-668.
64. Sauer CM, Yuh DD, Bonde P. Extracorporeal membrane oxygenation use has increased by 433% in adults in the United States from 2006 to 2011. *ASAIO J*. 2015;61:31-36.
65. Taub JO, L'Hommedieu BD, Raithe SC, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for percutaneous coronary angioplasty in high risk patients. *ASAIO Trans*. 1989;35:664-666.
66. Ricciardi MJ, Moscucci M, Knight BP, Zivin A, Bartlett RH, Bates ER. Emergency extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)-supported percutaneous coronary interventions in the fibrillating heart. *Catheter Cardiovasc Interv*. 1999;48:402-405.
67. Shammam NW, Roberts S, Early G. Extracorporeal membrane oxygenation for unprotected left main stenting in a patient with totally occluded right coronary artery and severe left ventricular dysfunction. *J Invasive Cardiol*. 2002;14:756-759.
68. Sheu JJ, Tsai TH, Lee FY, et al. Early extracorporeal membrane oxygenator-assisted primary percutaneous coronary intervention improved 30-day clinical outcomes in patients with ST-segment elevation myocardial infarction complicated with profound cardiogenic shock. *Crit Care Med*. 2010;38:1810-1817.
69. Tomasello SD, Boukhris M, Ganyukov V, et al. Outcome of extracorporeal membrane oxygenation support for complex high-risk elective percutaneous coronary interventions: A single-center experience. *Heart Lung*. 2015;44:309-313.
70. Myat A, Patel N, Tehrani S, Banning AP, Redwood SR, Bhatt DL. Percutaneous circulatory assist devices for high-risk coronary intervention. *JACC Cardiovasc Interv*. 2015;8:229-244.
71. Khera R, Cram P, Vaughan-Sarrazin M, Horwitz PA, Girotra S. Use of Mechanical Circulatory Support in Percutaneous Coronary Intervention in the United States. *Am J Cardiol*. 2016;117:10-16.
72. Ouweneel DM, Eriksen E, Sjauw KD, et al. Impella CP versus Intra-aortic balloon pump in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. The IMPRESS trial. *J Am Coll Cardiol*. 2017;69:278-287.
73. Ameloot K, Bastos MB, Daemen J, et al. New-generation mechanical circulatory support during high-risk PCI: a cross-sectional analysis. *Euro-Intervention*. 2019; 15:427-433.
74. Amin AP, Spertus JA, Curtis JP, et al. The Evolving Landscape of Impella Use in the United States Among Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention with Mechanical Circulatory Support. *Circulation*. 2020; 141:273-284.
75. Gregory D, Scotti DJ, de Lissovoy G, et al. A value-based analysis of hemodynamic support strategies for high-risk heart failure patients undergoing a percutaneous coronary intervention. *Am Health Drug Benefits*. 2013;6:88-99.
76. Kaul TK, Fields BL. Postoperative acute refractory right ventricular failure: Incidence, pathogenesis, management and prognosis. *Cardiovasc Surg*. 2000; 8:1-9.
77. Cordtz J, Nilsson JC, Hansen PB, et al. Right ventricular failure after implantation of a continuous-flow left ventricular assist device: Early haemodynamic predictors. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2014;45:847-853.
78. Anderson MB, Goldstein J, Milano C, et al. Benefits of a novel percutaneous ventricular assist device for right heart failure: The prospective RECOVER RIGHT study of the Impella RP device. *J Heart Lung Transplant*. 2015;34:1549-1560.
79. Roos JB, Doshi SN, Konorza T, et al. The cost-effectiveness of a new percutaneous ventricular assist device for high-risk PCI patients: mid-stage evaluation from the European perspective. *J Med Econ*. 2013;16:381-390.