

Original

Cirugía de arco aórtico con circulación extracorpórea en período neonatal



Juan-Miguel Gil-Jaurena^{a,b,*}, Ramón Pérez-Caballero^{a,b}, Ana Pita^{a,b}, Carlos Pardo^{a,b}, Diego Monzón^{a,b}, Rosario Pérez^{b,c}, Blanca Ramírez^{b,c} y José Zamorano^{b,c}

^a Cirugía Cardíaca Infantil, Hospital Gregorio Marañón, Madrid, España

^b Instituto de Investigación Sanitaria, Hospital Gregorio Marañón, Madrid, España

^c Perfusión Infantil, Hospital Gregorio Marañón, Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 10 de septiembre de 2020

Aceptado el 9 de octubre de 2020

On-line el 28 de diciembre de 2020

Palabras clave:

Cirugía
Arco
Neonato
Perfusión
Cerebral

R E S U M E N

Introducción: La cirugía del arco aórtico en neonatos ha pasado de la hipotermia profunda con paro circulatorio a la perfusión cerebral en 25 °C. Un paso más supone la perfusión cerebral y miocárdica simultánea, facilitando la cirugía a corazón latiendo.

Métodos: Una cánula en «Y» desde la línea arterial proporciona sangre oxigenada al cerebro y al corazón. El arco es reparado latiendo. A continuación se administra cardioplejía por raíz para la corrección intracardíaca. Sesenta y ocho pacientes son distribuidos en 3 grupos: a) Norwood (9 neonatos); b) arco aórtico (20 niños); y c) arco más afectación intracardíaca (39 pacientes). Cardiopatía asociada en el grupo c): comunicación interventricular (15), *switch* arterial (9), comunicación interauricular (6), *cor triatriatum* (3), comisurotomía aórtica (2), *comprehensive repair* (2), *ostium primum* (1) y Yasui (1). Catorce de los últimos pacientes recibieron una canulación adicional en la aorta descendente, alcanzando una perfusión corporal total.

Resultados: El tiempo medio de circulación extracorpórea fue de 155 minutos (63-353). La perfusión cerebral-miocárdica duró 36 minutos (18-60) y la isquemia miocárdica alcanzó 34 minutos (0-160), siendo de cero en el grupo «b». El seguimiento fue completo con una media de 52 meses (2-78). Cinco pacientes fallecieron y 3 precisaron angioplastia por recoartación.

Conclusiones: La perfusión cerebral-miocárdica selectiva es factible y fácil de reconvertir a protección cardiopléjica convencional. Notablemente se reduce la isquemia miocárdica, siendo nula en casos de cirugía aislada del arco. Mediante la perfusión corporal total puede reducirse la morbilidad en cirugía neonatal del arco.

© 2020 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Neonatal aortic arch surgery on by-pass

A B S T R A C T

Introduction: Aortic arch repair has shifted from deep hypothermia plus circulatory arrest to cerebral perfusion at tepid temperatures. A step forward is simultaneous brain-coronary perfusion, allowing beating-heart arch surgery.

Methods: A “Y” cannula from the arterial line delivers oxygenated blood to brain and heart. The arch is repaired on a beating heart at 25 °C. Intracardiac repair is performed after running cardioplegia through the root line. 68 patients are classified into three groups. A: Norwood (9 neonates); B: aortic arch (20 children); C: aortic arch plus intracardiac repair (39 patients). Associated anomalies in group C: ventricular septal defect (15), arterial switch (9), atrial septal defect (6), *cor triatriatum* (3), aortic commissurotomy (2), *comprehensive repair* (2), *ostium primum* (1), Yasui (1). Fourteen lately patients had their descending aorta additionally cannulated to achieve a total body perfusion strategy.

Results: Mean by-pass time was 155 minutes (range 63-353). Mean brain-coronary perfusion was 36 minutes (18-60). Mean coronary ischemia was 34 minutes (0-160). The heart was not arrested in group B patients. Follow-up was complete for a mean of 52 months (2-78). Five patients died in the postop. Three required angioplasty for recoarctation.

Keywords:

Surgery
Arch
Neonate
Perfusion
Brain

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: giljaurena@gmail.com (J.-M. Gil-Jaurena).

Conclusions: Selective brain-coronary perfusion is feasible and easy to switch to conventional cardioplegia delivery. Coronary ischemia can be notably reduced, being even zero minutes in isolated arch surgery. Total body perfusion may reduce morbidity in neonatal arch surgery.

© 2020 Sociedad Española de Cirugía Cardiovascular y Endovascular. Published by Elsevier España, S.L.U.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Durante décadas la hipotermia profunda con parada circulatoria ha sido la estrategia más utilizada para la cirugía de arco aórtico^{1,2}. De hecho, sigue vigente en diversos centros y programas neonatales, amparándose en un descenso de las necesidades metabólicas y de oxígeno para la protección cerebral. Sin embargo, periodos prolongados de paro circulatorio empleados en corrección neonatal del arco aórtico se han visto asociados con episodios de convulsiones y coreoatetosis, además de afectación neurológica tardía.

La perfusión cerebral anterógrada (PCA) surgió como coadyuvante de la protección del encéfalo³, facilitando sangre por la línea de retorno arterial y a través del primer tronco supraaórtico. Merced a la circulación colateral (subclavias, intercostales), y con ayuda de cierta hipotermia, se supone garantizado el flujo somático. Varios trabajos han sido publicados comparando ambas estrategias⁴⁻⁶: hipotermia profunda con paro circulatorio frente a PCA, estudiando la perfusión cerebral y daños neurológicos a diferentes temperaturas⁷. La experiencia acumulada ha permitido estudiar la circulación entre ambos hemisferios cerebrales, garantizando una correcta perfusión mediante la canulación de una sola arteria carótida (y vertebral)^{8,9}.

Un paso más en la estrategia quirúrgica consiste en la perfusión coronaria durante la cirugía del arco aórtico¹⁰. De esta forma se pueden acometer reparaciones del arco en hipotermia moderada⁷ y a corazón latiendo (*beating heart*), incluso es posible perfundir la aorta descendente a la vez que el cerebro y el corazón, estableciendo un circuito donde solo el arco aórtico queda excluido. Dicha estrategia, bautizada por un grupo alemán¹¹ como *total body perfusion* (TBP) garantiza la perfusión incluso en hipotermia ligera.

Describimos nuestra serie inicial de cirugía de arco aórtico con perfusión cerebral selectiva e hipotermia moderada (25 °C), así como los primeros casos de TBP.

Métodos

Incluimos datos de todos los pacientes intervenidos de cirugía de arco aórtico desde enero de 2013 hasta julio de 2020. La mayoría corresponden a cirugía en periodo neonatal, con circulación extracorpórea (CEC) en hipotermia de 25 °C y perfusión cerebral (vía arteria innominada) con flujos de 50 ml/kg/min.

Los datos se reflejan en la [tabla 1](#). Se incluyen 68 pacientes (15 mayores de un mes). La media de edad fue de 42 días (rango: un día-11 meses) y de peso 3,8 kg (rango: 2,1-10,5).

Distribuímos a los pacientes en 3 grupos:

- Norwood (9 neonatos).
- Cirugía de arco aórtico, aislada (20 pacientes, 8 mayores de un mes).
- Cirugía de arco más corrección intracardiaca (39 niños, 7 mayores de un mes).

Técnica quirúrgica

La línea de retorno de la CEC se conecta a la arteria innominada (primer tronco supraaórtico) mediante la interposición

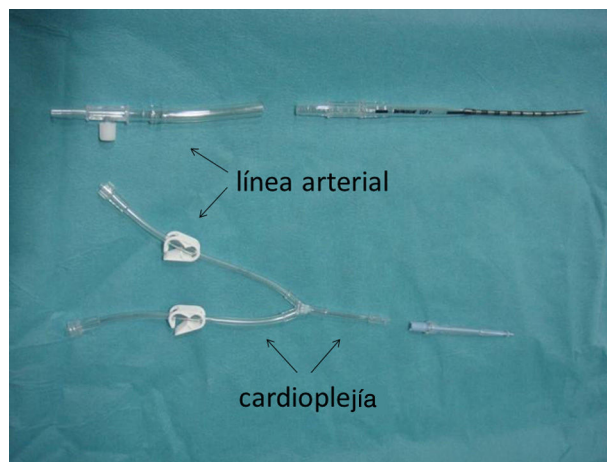


Figura 1. Cánula en «Y», permitiendo conexión a línea arterial y cardioplejía.

de un conducto de 3,5 mm de diámetro de PTFE (Gore-Tex®, Flagstaff, AZ, EE. UU.). Iniciamos la CEC con un flujo estimado de 3 l/min/m² (175-200 ml/kg/min), con estrategia alfa-stat y evitando la vasodilatación cerebral (y consecuente hiperperfusión). Una vez alcanzada la temperatura de 25 °C los flujos se ajustan al 30% (40-60 ml/kg/min) manteniendo una presión arterial media adecuada a la edad (25-55 mm Hg). Durante la PCA, los troncos supraaórticos son controlados mediante la aplicación de torniquetes o *bull-dogs* finos y la aorta descendente es pinzada. La oxigenación regional (cerebral y somática) se monitoriza con INVOS® (Somanetics Corporation, Troy, MI, EE. UU.).

Una línea en «Y» conecta la cánula arterial (conexión *luer-lock*) con la cánula de raíz aórtica, de manera que a su través pueda administrarse sangre del retorno arterial o cardioplejía alternativamente ([fig. 1](#)). De esta forma, y una vez pinzada la aorta ascendente, sin modificar las cánulas, se puede realizar cirugía a corazón latiendo (sangre a través de la cánula en raíz) o corazón parado (cardioplejía por dicha cánula) simplemente modificando las llaves de la línea en «Y».

Para la cirugía de Norwood un *clamp* es interpuesto entre el primer y segundo tronco supraaórtico, mientras se controlan el 2.º y 3.º vaso. Esto garantiza una perfusión cerebral y miocárdica mientras se realiza la reconstrucción distal del arco. Finalizada esta parte el *clamp* es recolocado en la base del primer tronco y una oliva de punta blanda se introduce retrógradamente desde el arco hasta la aorta ascendente (asegurada por un torniquete externo) para administrar cardioplejía.

La reconstrucción del arco (coartación más hipoplasia de arco) se realizó mediante resección del segmento coartado más anastomosis ampliada (avance de arco o *sliding technique*) o, más frecuentemente, con resección y anastomosis ampliada con parche de pericardio autólogo (tratado con glutaraldehído). Excepcionalmente se amplió el arco con pericardio sin resección previa de tejido (en ausencia de *ridge* ductal). Una vez finalizada la reparación del arco a corazón latiendo se procede a la salida reglada de CEC (grupo b), o se administra cardioplejía para corregir la afectación intracardiaca (grupos a y c).

Tabla 1
Distribución de pacientes

	Total	Norwood (a)	Arco (b)	Arco + (c)
N.º pacientes	68 (15 > 1 mes)	9	20 (8 > 1 mes)	39 (7 > 1 mes)
Edad (días/meses)	42 (1 día-11 meses)*	3 (1-5)	63 (4 días-11 meses)*	51 (3 días-3 meses)
Peso (kg)	3,8 (2,1-10,5)*	3,70 (2,7-4)	4,2 (2,1-10,5)*	3,5 (2,1-6,8)
CEC (minutos)	155 (63-353)	165 (93-312)	125 (63-292)	165 (102-312)
Isquemia miocárdica (minutos)	34 (0-160)	52 (42-62)	0	39 (5-160)
perfusión cerebral (minutos)	35,8 (18-60)	27 (18-36)	38 (17-60)	39 (15-51)
TBP (14 casos) (minutos)	52 (15-95)	90 (un caso)	55 (24-95); 6 casos	49(15-90); 7 casos

Datos presentados como media y rango (mínimo/máximo).

Arco: cirugía de arco; Arco +: cirugía de arco más corrección intracardiaca; CEC: circulación extracorpórea; TBP: *total body perfusion* (perfusión adicional con cánula en aorta descendente)

* Paciente de 3 años y 15 kg excluido de medias de edad y peso.

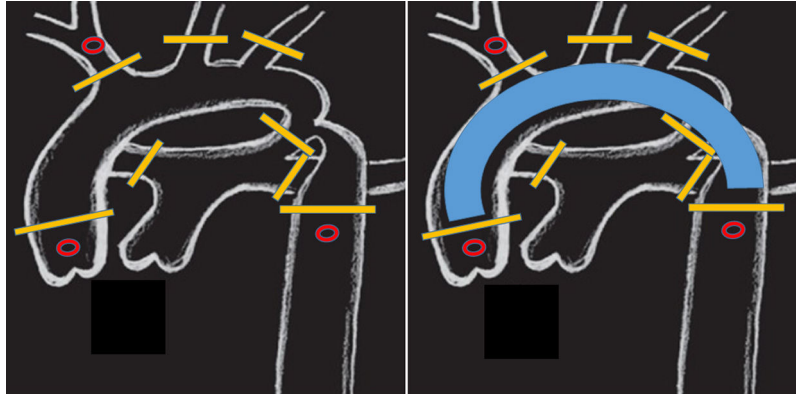


Figura 2. Posición de pinzas y/o torniquetes en (barras amarillas): aorta ascendente y descendente, base de los 3 troncos supraaórticos, ductus y ramas pulmonares. La canulación selectiva de la raíz aórtica, arteria innominada y aorta descendente (círculos en rojo) permite una perfusión corporal total. Solo el arco aórtico permanece exangüe (imagen derecha).

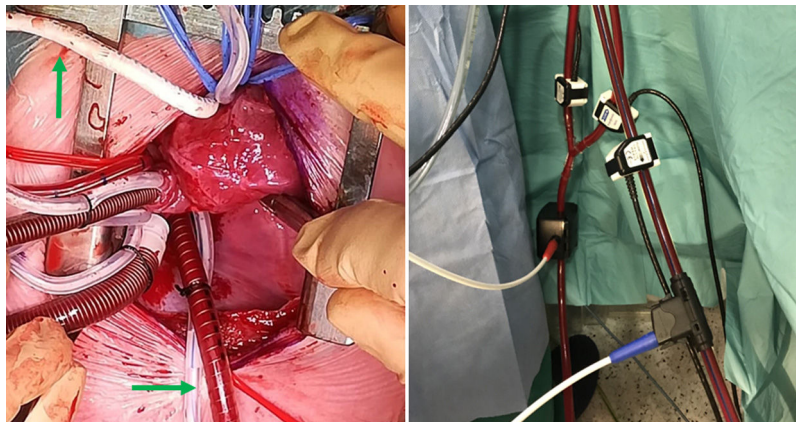


Figura 3. A: Imagen de campo mostrando canulación selectiva de la arteria innominada a través de PTFE (flecha vertical) y aorta descendente (flecha horizontal) junto a vena cava inferior. B: Medidores de flujo en drenaje venoso (manguito azul) y ambas ramas de la línea de retorno arterial (en rojo).

Utilizamos una estrategia similar a la de interrupción de arco aórtico para la canulación de aorta descendente en el TBP. El retorno arterial de la CEC se divide en 2 cánulas, dispuestas en «Y». La primera se conecta a la arteria innominada, como se describe en el párrafo anterior. La segunda (fig. 2) irá alojada en la aorta descendente (a diferencia de la interrupción de arco, donde se dirige a la arteria pulmonar). Para ello, una vez en CEC y con el corazón descargado, separamos la cara diafragmática y accedemos al pericardio posterior. En la línea media lo abrimos longitudinalmente y disecamos con bisturí eléctrico el ligamento pulmonar inferior y linfáticos adyacentes. La aorta descendente es fácilmente accesible¹², rodeada con un *vessel-loop* y canulada previa bolsa de tabaco (estrecha y alargada). Habitualmente utilizamos cánulas de punta biselada del calibre n.º 6 (Stockert®, Muenchen, Alemania). Previ-

amente, el perfusionista instala medidores (*flow-meter*) en ambas ramas de la línea arterial (fig. 3), pudiendo retomar flujos de CEC totales (3 l/min/m²).

Se obtuvo la aprobación ética institucional para la modificación y la indicación, así como el consentimiento informado de los padres. Dado el número de pacientes y la baja incidencia de complicaciones, consideramos que el análisis estadístico no aporta ninguna información.

Resultados

Para la serie completa se registraron los siguientes tiempos (tabla 1): CEC de 155 minutos (rango 63-353), isquemia miocárdica de 34 minutos (0-160), perfusión cerebral selectiva de 35,8 minutos

Tabla 2
Datos de pacientes con perfusión cerebral, miocárdica y somática (*total body perfusion*)

N.º	Diagnóstico	Edad (días/meses)	Peso (kg)	Cirugía	CEC (min)	Isquemia coronaria (minutos)	Perfusión cerebral (minutos)	Perfusión somática (minutos)
1	Coartación	11 meses	10,5	Ampliación arco	135	0	50	75
2	Coartación, DSVD	4 días	3,2	Ampliación arco, cierre CIV (transpulmonar)	190	40	35	35
3	Coartación, CIV	3 meses	4,1	Avance arco, cierre CIV	110	18	24	24
4	Coartación	3 años	15	Ampliación arco	131	0	52	63
5	Hipoplasia izquierda	4 días	3,7	Norwood sano	187	55	35	90
6	Coartación, CIA OS	5 días	4	Avance arco, cierre CIA	123	44*	15	15
7	Coartación	4 días	3,8	Avance arco	135	0	24	24
8	Interrupción arco, TGA	3 días	2,6	Ampliación arco, switch paliativo	225	55	45	62
9	Coartación	4 días	3	Avance arco	92	0	29	55
10	Coartación	5 días	3	Ampliación arco	125	0	57	95
11	Taussig-Bing	4 días	3,7	Ampliación arco, switch, cierre CIV	213	78	42	49
12	Coartación	3 días	2,8	Avance arco	63	0	17	35
13	Coartación, CIA OS	9 días	3	Avance arco, cierre CIA	127	17	32	69
14	Coartación	4 días	4	Avance arco	81	0	18	43

CEC: circulación extracorpórea. CIA OS: comunicación interauricular *ostium secundum*; CIV: comunicación interventricular. DSVD: doble salida de ventrículo derecho; TGA: transposición de grandes arterias.

* Reversión de perfusión coronaria a cardioplejía por cambios en ECG (acodamiento en la cánula de la raíz aórtica).

Nota: coartación se refiere a coartación más hipoplasia de arco aórtico.

Tabla 3
Cirugía intracardiaca asociada a reparación del arco aórtico (grupo «c» en la tabla 1)

Defectos intracardiacos asociados (c)	N.º (39)
Comunicación interventricular (CIV)	15
Switch arterial	9
Simple	1
Más CIV	1
Taussig-Bing	4
Switch paliativo	3
Comunicación interauricular tipo <i>ostium secundum</i> (CIA)	6
Cor triatriatum	3
Comisurotomía aórtica	2
Comprehensive (Norwood + Glenn)	2
Canal parcial (<i>ostium primum</i>)	1
Yasui (Norwood + Rastelli)	1

(18-60). La duración media de TBP fue de 52 minutos (15-95) en los 14 pacientes con canulación adicional de aorta descendente (tabla 2). Detallado por grupos:

- Norwood-sano (9 neonatos): medias de edad y peso de 3 días (1-5) y 3,7 kg (2,7-4), respectivamente. Duración media de CEC de 165 minutos (93-312), isquemia miocárdica de 52 minutos (42-62) y perfusión cerebral selectiva de 27 minutos (18-36). En el último caso se introdujo la TBP, con una duración de 90 minutos.
- Cirugía de arco «aislado» en 20 casos, 12 neonatos y 8 niños mayores de un mes. Media de edad de 63 días (4 días-11 meses) y de peso 4,2 kg (2,1-10,5). La duración media de CEC fue 125 minutos (63-292), isquemia miocárdica de 0 minutos y perfusión cerebral selectiva de 38 minutos (17-60). En 6 casos se introdujo la TBP, con 55 minutos (24-95) de duración.
- Cirugía de arco más procedimientos intracardiacos en 39 casos, 7 de ellos mayores de un mes. La media de edad fue de 51 días (3 días-3 meses) y de peso 3,5 kg (2,1-6,8). La duración media de CEC fue 165 minutos (102-312), isquemia miocárdica de 39 minutos (5-160) y perfusión cerebral selectiva de 39 minutos (15-51). En 7 casos se introdujo la TBP, con 49 minutos (15-90) de duración.

Los procedimientos asociados en el grupo «c» fueron (tabla 3):

- Cierre de comunicación interventricular (CIV) en 15 niños (incluyendo 2 casos con interrupción de arco tipo B).

- Switch arterial en 9 ocasiones: simple (1), con CIV (1), Taussig-Bing (4) y switch paliativo (3).
- Comunicación interauricular (CIA) en 6 pacientes.
- Cor triatriatum en 3 niños.
- Comisurotomía valvular aórtica en 2 casos.
- Comprehensive II repair (Norwood más Glenn) en 2 niños.
- Canal parcial (*ostium primum*) en un paciente.
- Yasui (Norwood más Rastelli) en un caso.

Los niveles de lactato al finalizar el procedimiento fueron de 5,4 mmol/l (2,5-7,3). Procedimos a cierre diferido del tórax en todos los casos de Norwood, así como en 2 pacientes del grupo «b» y 3 casos del grupo «c». No se detectaron complicaciones neurológicas ni renales.

El seguimiento ha sido completo, con una media de 52 meses (rango 2-78). Cinco pacientes fallecieron: 2 Norwood (grupo a), un paciente con afectación aislada del arco días después por arritmias ventriculares (grupo b), además de una interrupción de arco y un Taussig-Bing (grupo c). Tres pacientes precisaron angioplastia por reoartación en los primeros 6 meses tras la cirugía (todos ellos presentaron gradientes < 20 mm Hg al alta de la corrección quirúrgica).

Discusión

La elección de paro circulatorio (en hipotermia profunda) o PCA para corregir la hipoplasia del arco en un neonato sigue siendo motivo de debate en la actualidad. Ambas estrategias presentan defensores y detractores^{13,14}. Como en otros ámbitos, buenos resultados con técnicas clásicas disuaden del cambio, mientras que las novedades acompañadas de éxito invitan a evolucionar en las estrategias.

En la literatura encontramos evidencia de la seguridad en la PCA^{1,2,4,5,15-17} durante la cirugía de arco, garantizando flujo a ambos hemisferios cerebrales. No es preciso descender a 18 °C, sino que la hipotermia moderada (25-28 °C) es suficiente protección^{7,18,19}. Gracias a la circulación colateral, la perfusión somática está garantizada²⁰, aunque no todos los autores lo suscriben²¹, y otros sugieren una TBP como protección definitiva¹¹. Debemos recordar que la corrección de una coartación aislada por toracotomía izquierda se realiza en normotermia sin CEC, con

apenas morbilidad cuando la isquemia es menor de 20 minutos (incluso puede aplicarse la CEC por toracotomía lateral²²).

Una perfusión cerebral y miocárdica simultánea, conectando el *luer-lock* de la cánula arterial y la raíz aórtica mediante una línea en «Y» resulta sencillo y fácil de monitorizar. El descenso de temperatura se acompaña de una bradicardia progresiva. Cualquier cambio en el ECG basal debe alertar sobre acodamientos en la línea y/o cánula de raíz (como nos ocurrió en el paciente n.º 6 [tabla 2]). Ante la duda, simplemente modificando las llaves de la línea en «Y» facilitamos el paso de cardioplejía (en lugar de sangre) a través de la cánula de la raíz aórtica (fig. 1). De hecho, este es el protocolo tras la reparación del arco y previo a la corrección intracardiaca.

Ante la heterogeneidad de procedimientos dividimos nuestra cohorte de pacientes en 3 grupos. Previsiblemente, la duración de CEC resultó menor en el grupo «b», donde solo se realizó cirugía de arco y sin isquemia coronaria (procedimiento *beating-heart* genuino). En el grupo «c» los tiempos de CEC resultaron más prolongados debido a la reparación intracardiaca, pero la duración de PCA fue pareja, demostrando que la fase de reparación del arco es similar independientemente del resto del procedimiento (tabla 1). Sin embargo, el grupo «a» (Norwood) presenta datos diferentes, debido a que solo la zona distal del arco es reparada a corazón latiendo (por tales motivos se diferenció del grupo «c»).

En relación con el grupo «b» se puede especular acerca de la indicación de intervenir el arco (más coartación) a través de una toracotomía izquierda o esternotomía media²³. Durante la recogida de datos para el presente estudio 51 pacientes fueron intervenidos por vía lateral, frente a 20 (grupo b) por línea media con CEC. Los resultados fueron buenos en ambos grupos, mostrando una indicación correcta. Gracias a la experiencia acumulada, de ahora en adelante no dudaremos en abordar los casos límite por esternotomía y CEC con PCA.

A medida que los autores nos familiarizamos con la técnica y estrategia de PCA, procedimientos más complejos fueron acometidos. De esta forma, en el grupo «c» se incluyen cardiopatías «simples» tales como CIA e CIV o *cor triatriatum* y «complejas» como *switch* arterial (y otras variantes), Norwood más Glenn (*comprehensive procedure*) o Norwood más Rastelli (técnica de Yasui). En definitiva, una vez cómodos con la PCA, la reparación del arco a corazón latiendo resulta similar independientemente de la enfermedad intracardiaca subyacente (como lo atestiguan los tiempos de PCA en las tablas). Incluso reintervenciones fuera del periodo neonatal tras procedimientos híbridos anteriores²⁴ (*stent* dual más *banding* bilateral) han sido acometidas con dicha estrategia.

La innovación más reciente en nuestro grupo consiste en el TBP. Mediante la canulación de la aorta descendente se consigue una perfusión completa, dejando tan solo el arco aórtico sin circulación (fig. 2). A través de la disposición en «Y» de la línea arterial una rama perfunde el territorio superior (cerebro y miocardio) y la otra el inferior (fig. 3). Realmente, se trata de una variante de la CEC en interrupción de arco, ya conocida por cirujanos de cardiopatía congénita. NIRS similares en ambos territorios aseguran una correcta perfusión. En aras de la simplicidad, con un único rodillo y medidores de flujo en ambas ramas²⁵ garantizamos el flujo cerebral (50 ml/kg/min) y modificamos el sistémico controlando las resistencias periféricas. Otros grupos utilizan rodillos independientes¹¹ para flujos equivalentes en las 2 ramas arteriales, o cánulas del mismo calibre²⁶ y rodillo único buscando idéntico objetivo.

Continuando un trabajo previo en otro centro²⁷, nuestro grupo publicó un estudio con los 50 primeros pacientes del presente artículo²⁸. Las conclusiones fueron que la estrategia de perfusión cerebral y miocárdica durante la cirugía de arco aórtico es fácil de aplicar, monitorizar y reconvertir a cardioplejía convencional. Los tiempos de isquemia coronaria se reducen en casos complejos, siendo de cero en cirugía de arco aislado. Presentando más

pacientes abundamos en las mismas conclusiones. Incorporando la estrategia TBP añadimos un sesgo en la observación y análisis de los datos. Consideramos que la heterogeneidad y número de casos no son suficientes para establecer comparaciones entre grupos con y sin TBP en términos de «protección» o daño somático (lactato intra y postoperatorio²⁵, necesidad de diálisis, etc.), planteado como reto para futuros estudios.

Conclusiones

La experiencia acumulada con esta serie de 68 pacientes, mayoritariamente neonatos, nos permite concluir que la perfusión cerebral y miocárdica selectiva en cirugía de arco con hipotermia moderada es factible y fácil de reconvertir a cardioplejía convencional. Consecuentemente, la isquemia miocárdica puede reducirse notablemente e incluso ser de cero minutos en los casos de cirugía de arco aislada. El montaje de las líneas es reproducible y sin excesivos cambios para anesthesiólogos, cirujanos y perfusionistas. No hemos registrado más complicaciones en nuestros pacientes, comparándolo con otras estrategias. Procedimientos novedosos, como la TBP pueden contribuir a mejorar la morbilidad en este grupo de pacientes.

Los autores declaran que no presentan conflicto de intereses ni han percibido financiación para la realización del presente estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Newburger JW, Jonas RA, Wernovsky G, Wypij D, Hickey PR, Kuban KC, et al. A comparison of the perioperative neurologic effects of hypothermic circulatory arrest versus low-flow cardiopulmonary bypass in infant heart surgery. *N Engl J Med*. 1993;329:1057-64.
2. Bellinger DC, Wypij D, Kuban KC, Rappaport LA, Hickey PR, Wernovsky G, et al. Developmental and neurological status of children at 4 years of age after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *Circulation*. 1999;100:526-32.
3. Asou T, Kado H, Imoto Y, Shiokawa Y, Tominaga R, Kawachi Y, et al. Selective cerebral perfusion technique during aortic arch repair in neonates. *Ann Thorac Surg*. 1996;61:1546-82.
4. Di Eusano M, Wesselink RM, Morshuis WJ, Dossche KM, Schepens MA. Deep hypothermic circulatory arrest and antegrade selective cerebral perfusion during ascending aorta-hemiarch replacement: a retrospective comparative study. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;125:849-54.
5. Goldberg CS, Bove EL, Devaney EJ, Mollen E, Schwartz E, Indall TS, et al. A randomized clinical trial of regional cerebral perfusion versus deep hypothermic circulatory arrest: Outcomes for infants with functional single ventricle. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;133:880-7.
6. Algra SO, Jansen NJ, van der Tweel I, Schouten AN, Groenendaal F, Toet M, et al. Neurological injury after neonatal cardiac surgery: A randomized, controlled trial of 2 perfusion techniques. *Circulation*. 2014;129:224-33.
7. Salazar JD, Coleman R, Griffith S, McNeil J, Young H, Calhoun J, et al. Brain preservation with selective cerebral perfusion for operations requiring circulatory arrest: protection at 25 degrees C is similar to 18 degrees C with shorter operating times. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;36:524-31.
8. Andropoulos DB, Stayer SA, McKenzie ED, Fraser CD. Regional low-flow perfusion provides comparable blood flow and oxygenation to both cerebral hemispheres during neonatal aortic arch reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;126:1712-7.
9. Ruffer A, Tischer P, Münch F, Purbojo A, Toka O, Rascher W, et al. Comparable cerebral blood flow in both hemispheres during regional cerebral perfusion in infant aortic arch surgery. *Ann Thorac Surg*. 2017;103:178-85.
10. Sano S, Mee RB. Isolated myocardial perfusion during arch repair. *Ann Thorac Surg*. 1990;49:970-2.
11. Cesnjevar RA, Purbojo A, Münch F, Jüngert J, Ruffer A. Goal-directed-perfusion in neonatal aortic arch surgery. *Transl Pediatr*. 2016;5:134-41.
12. Kreuzer M, Sames-Dolzer E, Benedikt P, Mair R, Mair R. Double-arterial cannulation during aortic arch reconstruction in pediatric patients. Disponible en: <https://MMCTS.org/tutorial/1160>.
13. Hanley FL. Religion, politics, deep hypothermic circulatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2005;130:1236.
14. Ohye RG, Goldberg CS, Donohue J, Hirsch JC, Gaies M, Jacobs ML, et al. Michigan Congenital Heart Outcomes Research and Discovery Investigators. The quest to optimize neurodevelopmental outcomes in neonatal arch reconstruction: The

- perfusion techniques we use and why we believe in them. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2009;137:803–6.
15. Fraser CD Jr, Andropoulos DB. Principles of antegrade cerebral perfusion during arch reconstruction in newborns/infants. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu.* 2008;11:61–8.
 16. Salazar JD, Coleman RD, Griffith S, McNeil JD, Steigelman M, Young H, et al. Selective cerebral perfusion: Real-time evidence of brain oxygen and energy metabolism preservation. *Ann Thorac Surg.* 2009;88:162–9.
 17. Dodge-Khatami J, Gottschalk U, Eulenburg C, Wendt U, Schnegg C, Rebel M, et al. Prognostic value of perioperative near-infrared spectroscopy during neonatal and infant congenital heart surgery for adverse in-hospital clinical events. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2012;3:221–8.
 18. Oppido G, Pace Napoleone C, Turci S, Davies B, Frascaroli G, Martin-Suarez S, et al. Moderately hypothermic cardiopulmonary bypass and low-flow antegrade selective cerebral perfusion for neonatal aortic arch surgery. *Ann Thorac Surg.* 2006;82:2233–9.
 19. Gupta B, Dodge-Khatami A, Tucker J, Taylor MB, Maposa D, Urencio M, et al. Antegrade cerebral perfusion at 25 °C for arch reconstruction in newborns and children preserves perioperative cerebral oxygenation and serum creatinine. *Transl Pediatr.* 2016;5:114–24.
 20. Pigula FA, Gandhi SK, Siewers RD, Davis PJ, Webber SA, Nemoto EM. Regional low-flow perfusion provides somatic circulatory support during neonatal aortic arch surgery. *Ann Thorac Surg.* 2001;72:401–6.
 21. Roerick O, Seitz T, Mauser-Weber P, Palmaers T, Weyand M, Cesnjevar R. Low-flow perfusion via the innominate artery during aortic arch operations provides only limited somatic circulatory support. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2006;29:517–24.
 22. González-López MT, Gil-Jaurena JM, Zamorano JA, Hidalgo I, Pita A, Pérez-Caballero R. Empleo de bypass parcial izquierdo para corrección de coartación de aorta: ¿cuándo, cómo y por qué? *Cir Cardiovasc.* 2017;24:176–80.
 23. Polo L, Aroca A, Deiros L, Bret M, Labrandero C, González A, et al. Coartación aórtica ± hipoplasia del arco en neonatos y lactantes ¿abordaje por esternotomía o toracotomía? Una decisión compleja. *Cir Cardiov.* 2015;22:67–73.
 24. Gil-Jaurena JM, Pérez-Caballero R, Pita A, Pardo C, Zunzunegui JL, Ballesteros F. Cirugía sobre stents. Nuevos retos en cardiopatías congénitas. *Rev Esp Cardiol.* 2020;73:857–9.
 25. Zamorano JA, Pérez R, Hidalgo I, Gil-Jaurena JM. «Total body perfusion»: un paso más en la cirugía de arco infantil. *Rev Esp Perfusión.* 2018;65:21–7.
 26. Tulzer A, Mair R, Kreuzer M, Tulzer G. Outcome of aortic arch reconstruction in infants with coarctation: Importance of operative approach. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;152:1506–13.
 27. Cid R, Gil-Jaurena JM, Peláez G, Ruiz M, Cabrera A, Castillo R, et al. Cirugía de arco a corazón latiendo. ¡Let it beat! *Perfusión. AEP.* 2012;53:30–3.
 28. Gil-Jaurena JM, González-López MT, Pita A, Pérez-Caballero R, Herviás M, Blanco D. Beating-heart aortic arch surgery in neonates and infants. *Interact CardioVasc Thorac Surg.* 2018;27:586–90.