



ORIGINAL

Complicaciones neurológicas en el postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca: todavía un largo camino por recorrer

A. Avila-Alvarez^{a,*}, I. Gonzalez-Rivera^b, A. Ferrer-Barba^b, F. Portela-Torron^c, E. Gonzalez-Garcia^b, J.L. Fernandez-Trisac^a y C. Ramil-Fraga^b

^a Unidad de Neonatología, Servicio de Pediatría, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña, A Coruña, España

^b Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, Servicio de Pediatría, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña, A Coruña, España

^c Unidad de Cardiopatías Congénitas, Servicio de Pediatría, Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña, A Coruña, España

Recibido el 10 de mayo de 2011; aceptado el 21 de julio de 2011

Disponible en Internet el 4 de noviembre de 2011

PALABRAS CLAVE

Cardiopatías congénitas;
Complicaciones;
Sistema nervioso

Resumen

Introducción: Existe una creciente preocupación por las complicaciones neurológicas asociadas a las cardiopatías congénitas y a la cirugía cardíaca infantil.

Material y métodos: Estudio observacional retrospectivo de casos y controles de las cirugías cardíacas infantiles y su postoperatorio en cuidados intensivos durante un período de 10 años. Se seleccionaron dos controles por cada caso, ajustados por el mismo grado de complejidad quirúrgica.

Resultados: Se estudiaron 900 cirugías. Se detectaron 38 complicaciones neurológicas (4,2%), de las cuales 21 (55,3%) implicaban al sistema nervioso periférico y 17 (44,7%) al sistema nervioso central. Las complicaciones del sistema nervioso central (1,9% del total) fueron 8 convulsiones, 4 accidentes cerebrovasculares, 4 encefalopatías hipóxico-isquémicas y un déficit neurológico reversible. Un 35,3% mostró afectación al alta y un 17,6% falleció. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de circulación extracorpórea ($p=0,009$), el tiempo de isquemia ($p=0,12$), los días de estancia en cuidados intensivos ($p=0,001$), días de ventilación mecánica ($p=0,004$) y días de soporte inotrópico ($p=0,001$).

Conclusiones: La incidencia de complicaciones neurológicas en nuestra serie es similar a la descrita previamente. Las convulsiones son la manifestación clínica más común. Las complicaciones del sistema nervioso central se asocian con un aumento de la morbilidad, una mayor estancia hospitalaria y un mayor consumo de recursos. Es necesario establecer medidas en el pre y post-operatorio, así como durante la cirugía, encaminadas a su prevención y diagnóstico precoz.

© 2011 Asociación Española de Pediatría. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: alexavila81@hotmail.com (A. Avila-Alvarez).

KEYWORDS

Complications;
Congenital heart
disease;
Nervous system

Acute neurological complications after pediatric cardiac surgery: still a long way to go**Abstract**

Introduction: There has been an increasing concern over the neurological complications associated with congenital heart disease and cardiac surgery.

Material and methods: We performed a retrospective, case-control, observational review of the postoperative period in the intensive care unit of patients undergoing cardiac surgery over the past 10 years. We selected 2 control patients for each case, matched for surgical complexity. *Results:* A total of 900 patients were reviewed. We found 38 neurological complications (4.2%), of which 21 (55.3%) were in the peripheral nervous system and 17 (44.7%) in the central nervous system. The complications involving the central nervous system (1.9% of total) consisted of 8 seizures, 4 cerebrovascular accidents, 4 hypoxic-ischemic encephalopathy events, and 1 reversible neurological deficit. At the time of discharge, 35.3% were symptomatic and 17.6% had died. Patients with neurological complications had a longer bypass time ($P=.009$), longer aortic cross time ($P=.012$), longer hospitalization in intensive care ($P=.001$), longer duration of mechanical ventilation ($P=.004$) and an increased number of days under inotropic support ($P=.001$).

Conclusions: Our incidence of neurological complications after cardiac surgery is similar to that previously described. Clinical seizures are the most common complication. Central nervous system complications are associated with a higher morbidity and hospitalization time. Units caring for patients with congenital heart disease must implement neurological monitoring during and after cardiac surgery to prevent and to detect these complications earlier.

© 2011 Asociación Española de Pediatría. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Los avances en el campo de la cardiología infantil, la cirugía cardíaca (CC) y los cuidados postoperatorios han provocado una mayor supervivencia de los pacientes con malformaciones congénitas del corazón. Al mismo tiempo, existe una creciente preocupación por la morbilidad asociada a las cardiopatías o a las intervenciones que sobre ellas se realizan. La corrección quirúrgica de una cardiopatía y su periodo post-operatorio constituyen un momento de especial riesgo para el desarrollo de complicaciones en otros órganos y sistemas. Entre ellas, las complicaciones neurológicas son una importante causa de morbimortalidad¹⁻³.

La incidencia de complicaciones neurológicas en CC es distinta en niños y en adultos. También sus características clínicas, su etiopatogenia y sus factores de riesgo son diferentes de las observadas en pacientes adultos, en los que los accidentes isquémicos y la disfunción cognitiva son las complicaciones más frecuentes, y la edad el factor de riesgo más importante^{4,5}. En edad pediátrica, los estudios son más escasos, siendo las convulsiones el evento neurológico más común^{2,3,6}.

Múltiples factores perioperatorios o intraoperatorios han sido relacionados con un peor pronóstico neurológico a corto y a largo plazo. Su mejor conocimiento, su monitorización y su modificación son la base de las estrategias neuroprotectoras durante la CC.

Objetivo

Llevamos a cabo un estudio con el objetivo de describir la incidencia y las características clínicas en nuestro medio de las complicaciones neurológicas en el postoperatorio

inmediato de CC y definir los factores de riesgo intraoperatorios y su relación con el consumo de recursos hospitalarios.

Pacientes y métodos

Realizamos un estudio observacional retrospectivo de las CC en edad pediátrica (0-15 años) y su post-operatorio en cuidados intensivos, en un hospital de tercer nivel durante un periodo de 10 años (2000-2010).

Hemos definido complicación neurológica como aquella que resulta de un daño en el cerebro, la médula espinal o los nervios periféricos. Para definir cada una de ellas hemos utilizado la lista de complicaciones neurológicas asociadas a cardiopatías congénitas, que ha sido consensuada entre diferentes sociedades internacionales y que ha sido publicada en el año 2008⁷. Hemos entendido como complicación en el post-operatorio inmediato, aquella que se produce durante la estancia en cuidados intensivos tras la intervención.

En nuestro hospital, todos los pacientes son examinados neurológicamente antes a la cirugía por un pediatra general y/o neonatólogo. En los que mantienen la fontanela abierta (neonatos y lactantes pequeños), se realiza además una ultrasonografía cerebral.

Salvo algún caso aislado de cirugía de arco en niños mayores en el que se empleó protección cerebral selectiva anterógrada, la cirugía neonatal que implica abordaje de esta zona (Norwood, interrupción arco aórtico, coartación de aorta...) se ha realizado con hipotermia a 18-20 °C y parada circulatoria. La cirugía tipo *switch* arterial se ha realizado con hipotermia moderada entre 20-26 °C y flujo adecuado a cada caso, sin parada circulatoria significativa. En todos los casos se asoció enfriamiento superficial con mantas y hielo en la cabeza. Durante la circulación

Tabla 1 Complicaciones neurológicas aparecidas en los 900 pacientes estudiados

<i>Sistema nervioso periférico</i>		
Parálisis/paresia diafragmática	10	4 Glenn 2 Conductos VD-AP 4 otros
Síndrome de Horner	9	8 cirugía de arco aórtico 1 cierre de CIA y DAP
Parálisis/paresia cuerda vocal	2	1 Norwood 1 cierre de CIA (canalización yugular)
<i>Sistema nervioso central</i>		
Convulsiones	8	
Accidente cerebro-vascular	4	
Encefalopatía hipóxico-isquémica	4	
Déficit neurológico reversible	1	

AP: arteria pulmonar; CIA: comunicación interauricular; DAP: ductus arterioso persistente; VD: ventrículo derecho.

extracorpórea (CEC) se utilizó la estrategia de manejo del equilibrio ácido-base denominada *alfa-stat*, sin agregar CO₂ y con una alcalosis respiratoria inducida por hipotermia⁴.

Todos los pacientes operados fueron trasladados a una unidad de cuidados intensivos pediátrica o neonatal (UCI). El alta de cuidados intensivos se decidió de forma consensuada entre los intensivistas, los cardiólogos infantiles y los cirujanos cardiacos una vez alcanzados los criterios generales de estabilidad cardiorrespiratoria.

Para la realización del análisis descriptivo, se revisaron las historias clínicas y los informes operatorios de todas las CC. Se analizaron la incidencia, las características clínicas, tipo de intervención quirúrgica, tiempo de CEC y tiempo de isquemia. En el periodo post-operatorio se analizaron los días de ventilación mecánica, días de soporte inotrópico, días de sedación y días de estancia en la UCI.

Para analizar los factores asociados a las complicaciones del sistema nervioso central (SNC), se realizó un estudio de casos y controles. Se seleccionó a 2 controles por cada caso, ajustados por el mismo grado de complejidad quirúrgica, según el Aristotle Score, que ha sido publicado en el año 2004 y que está basado en tres factores: el riesgo potencial de mortalidad, el riesgo potencial de morbilidad y la dificultad técnica a priori⁸. Se seleccionó la cirugía inmediatamente anterior en el tiempo y la inmediatamente posterior, del mismo grado de complejidad.

Para la comparación de variables cuantitativas entre casos y controles se utilizó la prueba de Mann-Whitney. Para la comparación de variables cualitativas se utilizaron las pruebas de la chi al cuadrado y exacta de Fisher, además del cálculo de la *odds ratio* y su intervalo de confianza del 95%. Se utilizó un modelo de regresión logística, tomando como variable dependiente el ser un caso o un control y como variables independientes cada uno de los tiempos analizados.

Se utilizó el programa informático SPSS 15.0 para Windows.

Resultados

Se analizaron un total de 900 CC, correspondientes al periodo 2000-2010, de las cuales 205 eran en pacientes

neonatos (menos de un mes de vida). Se observaron complicaciones neurológicas en 38 pacientes (4,2%), de las cuales 21 (55,3%) implicaban al sistema nervioso periférico (SNP) y 17 (44,7%) al SNC. En las complicaciones del SNP se evidenciaron 10 paresias/parálisis diafragmáticas, 9 síndromes de Horner y 2 paresias de cuerdas vocales. Estas complicaciones aparecieron tras intervenciones quirúrgicas que implicaban la zona anatómica afectada, como se refleja en la [tabla 1](#).

Diecisiete pacientes (1,9% del total de las CC, 17/900) presentaron complicaciones a nivel del SNC, con un predominio de las convulsiones sobre los accidentes cerebrovasculares y la encefalopatía hipóxico-isquémica ([tabla 1](#)). La incidencia en el subgrupo de pacientes de menos de un mes de vida fue igual a la observada en la muestra total (1,9%, 4/205). Solo 2 de las 17 cirugías se realizaron sin CEC. Uno de los pacientes presentaba una enfermedad neurológica previamente diagnosticada. Se trataba de un canal aurículo-ventricular completo sobre el que se realizó un cerclaje pulmonar y que presentaba afectación neurológica previa a la cirugía por una depresión perinatal que requirió maniobras de reanimación. Ninguno de los pacientes había sido diagnosticado de un síndrome polimorfomático en el momento de la cirugía. Para el estudio de estas complicaciones, además de la exploración clínica, se realizaron un electroencefalograma y una prueba de imagen en 12 pacientes, 6 de ellos tomografía computerizada (TC) y 6 ecografía cerebral transfontanelar. En el resto (5 pacientes), solo se realizó prueba de imagen: 3 TC y 2 ecografías. Un 35,3% (6/17) mostró afectación al alta de cuidados intensivos y un 17,6% (3/17) falleció.

Para el estudio de los factores asociados a las complicaciones del SNC se seleccionó a 2 controles por cada caso, ajustados por el mismo grado de complejidad quirúrgica. En la [tabla 2](#) se reflejan las características basales de ambos grupos y las diferencias encontradas. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de CEC ([fig. 1](#)), tiempo de isquemia, los días de estancia en la UCI ([fig. 2](#)), días de ventilación mecánica y días de soporte inotrópico. Se realizó parada circulatoria en hipotermia profunda en 3 pacientes del grupo de casos y en 3 pacientes del grupo control, si bien el reducido número de pacientes impide alcanzar la significación estadística se observa

Tabla 2 Características basales, tiempos quirúrgicos y tiempos postoperatorios de los pacientes con afectación del SNC y del grupo control

	Casos	Controles	p
N.º	17	34	
Edad (mediana, meses)	6,3	3,1	0,460
Sexo (niños)	11 (64,7%)	16 (47,1%)	0,234
NEONATOS	5 (29,4%)	11 (32,4%)	0,831
CEC	15 (88,2%)	26 (76,5%)	0,912
Tiempo CEC (media, min)	147,8	96,1	0,009
Tiempo Isquemia (media, min)	84,8	45,1	0,012
Hipotermia <18 °C y PC	3 (20%)	3 (9,4%)	0,367
Días UCI (media, días)	27,2	9,3	0,001
Días VM (media, días)	8,9	2,9	0,004
Días inotrópicos (media, días)	10,7	4,0	0,001

CEC: circulación extracorpórea; min: minutos; PC: parada circulatoria; UCI: cuidados intensivos; VM: ventilación mecánica.

una tendencia a asociarse con la presencia de complicación neurológica (20% frente a 9,4%).

Se utilizó un modelo de regresión logística, tomando como variable dependiente ser un caso o un control, y como variables independientes cada uno de los tiempos quirúrgicos. Se obtuvo una *odds ratio* para cada cambio de medida (en este caso, cada minuto) de 1.008 (1.002-1.026) para el tiempo de CEC y de 1.023 (1.005-1.041) para el tiempo de isquemia. La [figura 3](#) expresa gráficamente esta relación al representar los tiempos quirúrgicos tanto de casos como de controles, y su teórica probabilidad de padecer una complicación neurológica.

Discusión

La disminución de la mortalidad perioperatoria de los pacientes con cardiopatías congénitas ha ido acompañada de una creciente preocupación por la morbilidad asociada a las mismas.

Dentro de las complicaciones neurológicas se establecen dos grupos bien diferenciados, con una base etiopatogénica y unas características clínicas muy distintas: las complicaciones del SNP, mayoritariamente de origen traumático, y las complicaciones del SNC, cuya etiología es multifactorial y muchas veces incierta.

La mayoría de los trabajos que estudian estas complicaciones son series de pacientes adultos. En este escenario, el infarto y la disfunción cognitiva son las complicaciones más frecuentemente descritas^{1,4,5}. La incidencia publicada es muy variable, probablemente influida por los diferentes criterios para definir una u otra complicación y por el carácter retrospectivo o prospectivo de los estudios, oscilando entre un 6 y 16%^{4,9,10}. A pesar de ello, los factores de riesgo preoperatorios están bastante bien definidos para los pacientes adultos¹, siendo comunes para la enfermedad aterosclerótica: hipertensión, diabetes, edad avanzada, antecedente de evento isquémico, etc.

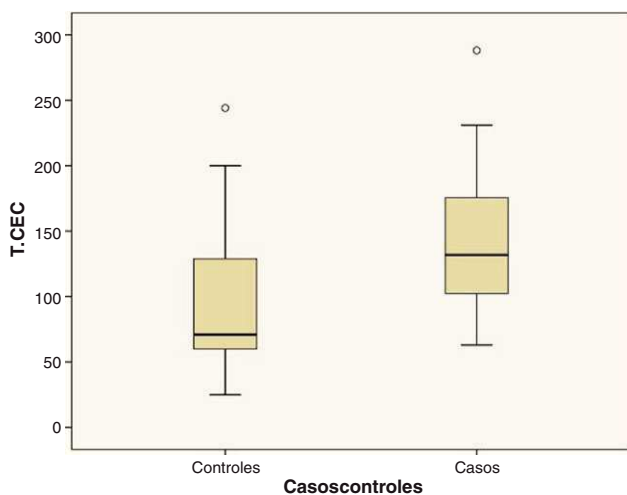


Figura 1 Diagrama de cajas, en el que se representa la mediana y el rango intercuartílico (Q1-Q3) del tiempo de CEC expresado en minutos.

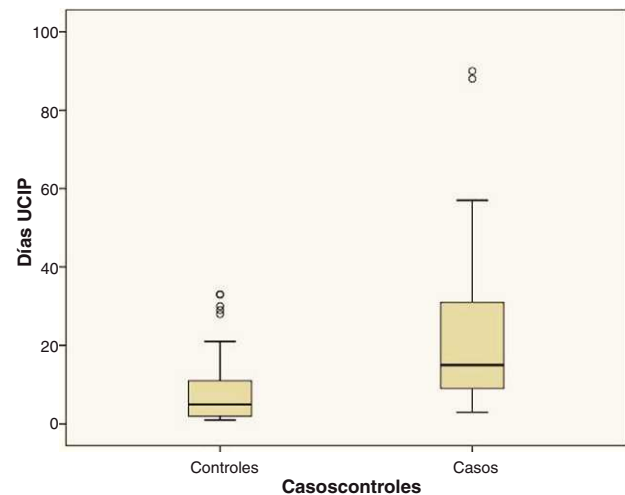


Figura 2 Diagrama de cajas, en el que se representa la mediana y el rango intercuartílico (Q1-Q3) de la estancia en UCI expresada en días.

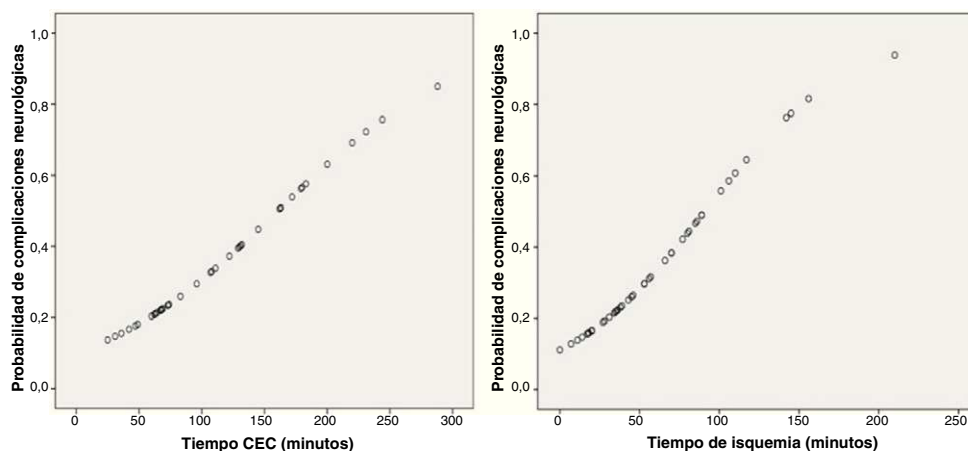


Figura 3 Representación gráfica de la *odds ratio* para el tiempo de CEC y tiempo de isquemia. En el eje de abscisas figura el tiempo en minutos y en el eje de ordenadas la probabilidad teórica de presentar una complicación neurológica según la *odds ratio* obtenida en el modelo de regresión logística. Para ejemplificarlo, se han representado los tiempos reales de los casos y controles.

En población pediátrica, los estudios son mucho más escasos y con muchas diferencias entre ellos en cuanto a definición de las complicaciones, el tiempo de seguimiento y la metodología empleada. Aquellos estudios que se limitan al periodo postoperatorio inmediato describen una incidencia entre un 3 y un 20%^{2,3,10}, pero existen otros que amplían el seguimiento durante más años, o que incluyen otras evaluaciones, como las neuroconductuales o cognitivas, que muestran una incidencia entre un 20 y un 80%^{3,4,11,12}. Algunos estudios excluyen las complicaciones del SNP, que han sido estimadas en torno a un 10-15%^{1,2}.

Nosotros hemos observado una incidencia global de 4,2% (38/900) y una incidencia de complicaciones del SNC del 1,9% (17/900). Estos resultados son concordantes con los publicados en el 2002 por Menache et al., en una serie de 706 pacientes en el *Children's Hospital* de Boston².

Por su importante valor pronóstico, su interesante fisiopatología y la posibilidad de establecer medidas preventivas o de diagnóstico precoz, hemos estudiado más profundamente las complicaciones del SNC.

El vínculo entre el corazón y el cerebro va mucho más allá de la intervención quirúrgica y los eventos agudos que en ella se puedan producir. Se sabe que el neonato cardiópata presenta más frecuentemente malformaciones cerebrales, que su cerebro es más inmaduro y su perímetro craneal menor y que frecuentemente presenta anomalías en la exploración neurológica y ecográfica previa a la cirugía^{6,13,14}. Además, diversas cardiopatías congénitas pueden afectar a la hemodinámica y al metabolismo cerebral, independientemente de la corrección quirúrgica.

Aun así, sabemos que la intervención quirúrgica sobre una cardiopatía congénita constituye un momento de especial riesgo de lesión neurológica, lo que nos ha llevado a intentar buscar aspectos de la cirugía que puedan estar en relación con el desarrollo de complicaciones neurológicas. Durante la cirugía, el insulto sobre el SNC se produce fundamentalmente por los fenómenos de isquemia-reperusión y los eventos embólicos⁵.

En nuestra serie, el tiempo de CEC y el tiempo de isquemia se asociaron de forma significativa con una mayor

probabilidad de complicaciones neurológicas a nivel del SNC. Esto ya había sido sugerido previamente en otros estudios, tanto en niños como en adultos^{4,6,14,15}. Creemos necesario destacar que el tiempo de CEC puede verse prolongado por múltiples razones que, a su vez, pueden contribuir por sí mismas al daño cerebral. La primera es la complejidad de la propia cirugía. Por esta razón, nosotros hemos seleccionado los controles ajustados según el grado de complejidad, para lo cual utilizamos el Aristotle Score⁸. Ahora bien, si la cirugía a priori no era más compleja, ¿qué puede haber llevado a una mayor duración de la CEC? Por supuesto, un cirujano especialmente lento o «meticuloso» puede prolongar el tiempo de CEC, pero en nuestra serie el mismo equipo quirúrgico ha intervenido a casos y controles y los tiempos medios de la muestra total no son más largos que los observados en otras series. Las causas habituales de prolongación del tiempo de CEC y/o de isquemia son las complicaciones intraoperatorias, los problemas técnicos y la dificultad para el «destete» de la bomba. El diseño retrospectivo del estudio no nos permite extraer datos de eventos intraoperatorios más sutiles que no han sido reflejados en el informe posquirúrgico.

En nuestro estudio, hemos observado una asociación con una mayor estancia hospitalaria y más días de soporte inotrópico y ventilación mecánica, concordante con lo observado por Fallon et al. en población pediátrica⁶. Parece lógico pensar que la presencia de una complicación, como las del SNC, que frecuentemente requiere la realización de nuevas pruebas complementarias o la instauración de nuevos tratamientos, esté asociada con una mayor estancia en UCI y un mayor consumo de recursos. Sin embargo, a la hora de analizar los datos, resulta difícil discernir entre la influencia del daño neurológico en sí mismo y aquellos eventos intraoperatorios que pueden causar daño neurológico y prolongar la estancia en UCI de forma independiente.

A pesar de los indudables avances que se han conseguido en este campo desde el inicio de la CC infantil, las complicaciones a nivel del SNC siguen siendo un importante problema por resolver en el manejo de las cardiopatías congénitas. En nuestra opinión, los equipos encargados de tratar estos

pacientes debemos hacernos dos preguntas clave: ¿podemos prevenir el daño cerebral?, ¿podemos diagnosticarlo precozmente?

¿Podemos prevenir el daño cerebral?

Se sabe que los episodios de hipotensión sistémica pueden provocar caídas en el flujo cerebral. Ahora bien, durante la CC la perfusión cerebral no depende solo de «presión y flujo», sino que otros factores están implicados y su adecuado manejo puede mejorar la tolerancia de las células cerebrales a la isquemia: estrategia de equilibrio ácido-base (*ph-stat* o *alfa-stat*), profundidad anestésica, hematocrito, temperatura y oxigenación.

En los últimos años, el uso de la hipotermia moderada en el tratamiento de la encefalopatía hipóxico-isquémica neonatal y en el manejo de la taquicardia ectópica de la unión ha introducido sistemas de enfriamiento en las unidades de intensivos pediátricos y neonatales¹⁶⁻¹⁸, lo que facilitaría su implantación en otras circunstancias, como el postoperatorio de CC, si la evidencia lo ampara.

¿Podemos diagnosticar precozmente el daño cerebral?

No existe una prueba de oro para el diagnóstico de daño neurológico. La exploración clínica detallada y la neuroimagen son las herramientas diagnósticas fundamentales, pero muchas veces fracasan en el intento de un diagnóstico precoz en el postoperatorio, ya que la necesidad de administrar medicación sedante con frecuencia modifica o impide la realización de una completa anamnesis a nivel del sistema nervioso. La TC craneal es útil para detectar hemorragias e infartos isquémicos de grandes vasos, pero suele ser normal en las primeras horas tras un evento isquémico menor. La resonancia magnética proporciona una mayor sensibilidad en esta situación, si bien su aplicabilidad es limitada en el postoperatorio inmediato¹⁰.

Además de la exploración clínica y las técnicas de imagen, disponemos de otros sistemas de monitorización neurológica que pueden ser aplicados durante la cirugía y en el post-operatorio: la medición de la actividad eléctrica cerebral con electroencefalograma convencional o con los actuales sistemas de electroencefalograma integrado por amplitud (aEEG), más sencillos en su aplicación e interpretación^{19,20}; la estimación del flujo sanguíneo cerebral mediante ecografía-Doppler²¹; la medición de la saturación regional de oxígeno y las estimaciones que de ella podemos extraer mediante espectroscopia cercana al infrarrojo (NIRS)^{3,21-23}, y diversos marcadores bioquímicos, desde la acidosis metabólica y la elevación del lactato, hasta la enolasa neuronal específica, la *brain-specific creatine phosphokinase* (CK-BB) y la proteína S-100β^{3,24}.

Limitaciones

Hay diversas limitaciones en nuestro estudio. El diseño retrospectivo hace que solo podamos detectar problemas lo suficientemente obvios para ser documentados y registrados. No podemos estimar la incidencia de complicaciones

más sutiles como las neuroconductuales, que frecuentemente no son diagnosticadas en el postoperatorio inmediato y que requerirían de un diseño prospectivo. En los informes quirúrgicos y de alta de UCI no siempre queda registrado si durante la cirugía hubo eventos de baja perfusión o hipotensión, ni los valores de saturación regional cerebral de oxígeno, por lo que esto no ha podido ser estudiado. Nuestro estudio se limitó a las complicaciones agudas en el postoperatorio inmediato, de manera que la relación de estos eventos agudos con el posterior desarrollo neurológico y psicomotor no ha sido evaluada.

La incidencia de complicaciones neurológicas ha mejorado desde el inicio de la CC, pero aún necesitamos profundizar en su conocimiento. Reconocer las complicaciones agudas es importante de cara a la identificación de pacientes de riesgo y a la aplicación de medidas neuroprotectoras. El mayor conocimiento de la fisiopatología del daño cerebral en la CC puede servir también como un modelo para entender otros insultos cerebrales, como la encefalopatía hipóxico-isquémica perinatal o el daño cerebral asociado a la prematuridad. Dada su baja incidencia, se necesitan estudios con un amplio número de pacientes para evaluar la eficacia de cualquier estrategia neuroprotectora, idealmente multicéntricos, prospectivos y aleatorizados.

Financiación

El Dr. Alejandro Ávila ha sido becado por la Fundación María José Jove de A Coruña y por la Sociedad de Pediatría de Galicia para un proyecto de práctica clínica en un centro extranjero.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Gotessman RF, McKhann GM, Hogue CW. Neurological complications of cardiac surgery. *Semin Neurol.* 2008;28:703-15.
2. Menache CC, Du Plessis AJ, Wessel DL, Jonas RA, Newburger JW. Current incidence of acute neurologic complications after open-heart operations in children. *Ann Thorac Surg.* 2002;73:1752-8.
3. Wernovsky G, Shillingford AJ, Gaynor JW. Central nervous system outcomes in children with complex congenital heart disease. *Curr Opin Cardiol.* 2005;20:94-9.
4. Arrowsmith JE, Grocott HP, Reves JG, Newman MF. Central nervous system complications of cardiac surgery. *Br J Anaesth.* 2000;84:378-93.
5. Hogue CW, Palin CA, Arrowsmith JE. Cardiopulmonary bypass management and neurologic outcomes: an evidence-based appraisal of current practices. *Anesth Analg.* 2006;103:21-37.
6. Fallon P, Aparício JM, Elliott MJ, Kirkham FJ. Incidence of neurological complications of surgery for congenital heart disease. *Arch Dis Child.* 1995;72:418-22.
7. Bird GL, Jeffries HE, Licht DJ, Wernovsky G, Weinberg PM, Pizzarro C, et al. Neurological complications associated with the treatment of patients with congenital cardiac disease: consensus definitions from the Multi-Societal Database Committee for Pediatric and Congenital Heart Disease. *Cardiol Young.* 2008;18 Suppl 2:234-9.

8. Lacour-Gayet F, Clarke D, Jacobs J, Comas J, Daebritz S, Daenen W, et al. The Aristotle score: a complexity-adjusted method to evaluate surgical results. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2004;25:911-24.
9. Zabala JA. Neurological complications of cardiac surgery. *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:1003-6.
10. Pérez-Vela JL, Ramos-González A, López-Almodóvar LF, Renes-Carreño E, Escribá-Bárcena A, Rubio-Regidor M, et al. Neurologic complications in the immediate postoperative period after cardiac surgery. Role of brain magnetic resonance imaging. *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:1014-21.
11. Taylor KM. Brain damage during cardiac surgery. *Curr Opin Cardiol.* 1986;1:697-701.
12. Shillingford AJ, Wernovsky G. Academic performance and behavioral difficulties after neonatal and infant heart surgery. *Pediatr Clin N Am.* 2004;51:1625-39.
13. Kirkham FJ. Recognition and prevention of neurological complications in pediatric cardiac surgery. *Pediatr Cardiol.* 1998;19:331-45.
14. Clancy RR. Neuroprotection in infant heart surgery. *Clin Perinatol.* 2008;35:809-21.
15. McKhann GM, Goldsborough MA, Borowicz LM. Predictors of stroke risk in coronary artery bypass patients. *Ann Thorac Surg.* 1997;63:516-21.
16. Mutch WA, Ryner LN, Kozlowski P. Cerebral hypoxia during cardiopulmonary bypass: a magnetic resonance imaging study. *Ann Thorac Surg.* 1997;64:695-701.
17. Azzopardi DV, Strohm B, Edwards AD, Dyet L, Halliday HL, Juszczak E, et al., for the TOBY Study Group. Moderate hypothermia to treat perinatal asphyxial encephalopathy. *N Engl J Med.* 2009;361:1349-58.
18. Mosquera-Pérez I, Rueda-Núñez F, Medrano-López C, Portela-Torrón F, Zavanella-Botta C, Castro-Beiras A. Management by hypothermia of junctional ectopic tachycardia after pediatric heart surgery. *Rev Esp Cardiol.* 2003;56:510-4.
19. Toet MC, Flinterman A, Van de Laar I, De Vries JW, Bennik GB, Uiterwaal CS, et al. Cerebral oxygen saturation and electrical brain activity before, during, and up to 36 hours after arterial switch procedure in neonates without pre-existing brain damage: its relationship to neurodevelopmental outcome. *Exp Brain Res.* 2005;165:343-50.
20. Toet MC, Van Rooij LG, De Vries LS. The use of amplitude integrated electroencephalography for assessing neonatal neurologic injury. *Clin Perinatol.* 2008;35:665-78.
21. Austin EH, Edmonds HL, Auden SM, Seremet V, Niznik G, Sehic A, et al. Benefit of neurophysiologic monitoring for pediatric cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1997;114:707-15.
22. Kussman BD, Wypij D, DiNardo JA, Newburger JW, Mayer JE, Del Nido PJ, et al. Cerebral oximetry during infant cardiac surgery: evaluation and relationship to early postoperative outcome. *Anesth Analg.* 2009;108:1122-31.
23. Andropoulos DB, Stayer SA, Diaz LK, Ramamoorthy C. Neurological monitoring for congenital heart surgery. *Anesth Analg.* 2004;99:1365-75.
24. Trittenwein G, Nardi A, Pansi H, Golej J, Burda G, Hermon M, et al. Early postoperative prediction of cerebral damage after pediatric cardiac surgery. *Ann Thorac Surg.* 2003;76:576-80.