

ECMO en el tratamiento de la miocarditis y en el shock séptico

S. Redondo Blázquez

Adjunta UCIP Hospital Universitario de Cruces. Coordinadora del Grupo de Cardiología de la SECIP.

La oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) es una técnica de soporte que sustituye de forma temporal la función pulmonar y/o cardiaca en pacientes con fracaso respiratorio y/o cardiaco potencialmente reversible, a la espera de su recuperación. Consiste en extraer sangre venosa del organismo, impulsarla mediante una bomba a través de un oxigenador y devolverla oxigenada y depurada de CO₂ al territorio venoso (ECMO VV, soporte respiratorio) o arterial (ECMO VA, soporte respiratorio y cardiaco).

Las indicaciones para la ECMO en niños han cambiado considerablemente en los últimos 30 años. La evolución de la tecnología y la experiencia clínica han permitido ampliar las patologías en las que la ECMO debería ser considerada como por ejemplo, en la miocarditis y el shock séptico⁽¹⁾.

MIOCARDITIS

Definición

La miocarditis es una inflamación aguda del miocardio generalmente causada por una infección viral, aunque también puede ser de causa autoinmune o secundaria a reacciones de hipersensibilidad y tóxicos. La miocarditis es una de las causas más importantes de muerte súbita en niños previamente sanos. Debe sospecharse en niños que debutan con fallo cardiaco sin cardiopatía estructural. La sintomatología puede ir desde insuficiencia cardiaca (disnea, taquicardia, hepatomegalia) hasta shock cardiogénico (miocarditis fulminante)⁽²⁾.

Tratamiento

No hay tratamiento específico para la miocarditis aguda. El manejo consiste en el tratamiento del shock cardiogénico con soporte inotrópico y de las arritmias⁽²⁾. Los niños con miocarditis fulminante pueden beneficiarse de la ECMO hasta la eventual recuperación del miocardio⁽²⁻⁴⁾.

Indicaciones ECMO

La ECMO estaría indicada en los pacientes con shock cardiogénico refractario al tratamiento inotrópico, que presentan:⁽⁵⁾

- Hipotensión < 2 SD para la edad
- PVC y/o PAI > 20 mmHg durante > 6 horas
- Bajo gasto cardíaco: IC < 2 L/min/m²
- SatvO₂ < 55%
- Acidosis metabólica persistente con pH < 7,15
- Lactato > 5 mmol/L (> 45 mg/dL) mantenido
- Ecocardiografía: FE < 30%
- Arritmias refractarias
- Inotropic Score > 50 durante 1 hora o > 45 durante 8 horas. IS = dopamina (µg/kg/min) + dobutamina (µg/kg/min) + 100 x adrenalina (µg/kg/min)
- Parada cardiaca

Manejo ECMO

Una vez instaurada la ECMO VA se inicia con flujo 100-150 ml/kg en neonatos y lactantes, 80 ml/kg/min en niños y 60 ml/kg/min en adultos. A flujo máximo la ECMO consigue manejar el 80% del gasto cardiaco total. Las tensiones arteriales medias óptimas son > 35-45 mmHg en neonatos, > 50-60 mmHg en lactantes y > 60-70 mmHg en niños⁽⁶⁾.

El objetivo del soporte con ECMO en estos pacientes es proporcionar una perfusión sistémica adecuada con normalización del pH y del lactato, SatvO₂ > 70%, y normalización de la función renal (diuresis y creatinina) y hepática (transaminasas)⁽⁷⁾.

Se disminuirá el soporte inotrópico para minimizar el consumo miocárdico de oxígeno y favorecer la recuperación de la función cardiaca. Se debe minimizar la postcarga del ventrículo izquierdo (VI) con vasodilatadores como el nitroprusiato⁽⁷⁾. Si el VI está distendido puede impedir la recuperación miocárdica por lo que en estos casos, se recomienda descomprimir el VI realizando una septostomía auricular o mediante la colocación de una cánula adicional en la aurícula izquierda (AI)⁽⁶⁻⁸⁾.

Las arritmias deben ser corregidas (antiarrítmicos, desfibrilación, sincronía AV con marcapasos) ya que pueden causar sobredistensión cardiaca (fibrilación ventricular) y daño miocárdico irreversible⁽⁶⁾.

Si no hay recuperación miocárdica tras soporte con ECMO durante 7-10 días, el paciente debe ser valorado como candidato para trasplante cardiaco o para la implantación de un dispositivo de asistencia ventricular de larga duración como puente a la recuperación o al trasplante cardiaco^(6,7).

Supervivencia

El soporte con ECMO en pacientes con miocarditis aguda está asociado a las tasas de supervivencia más altas de entre los niños con enfermedad cardiaca que precisan ECMO. La reversibilidad de la disfunción cardiaca junto al breve tiempo de recuperación hacen que el soporte con ECMO sea una estrategia adecuada para los pacientes que presentan shock cardiogénico tras miocarditis⁽⁹⁾.

El registro internacional de la Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) muestra que hasta Enero del 2017 se han registrado 88 neonatos y 443 niños con miocarditis que precisaron ECMO con una supervivencia al alta de 50% en los neonatos y de 71% en los niños⁽¹⁰⁾.

Estudios previos han mostrado resultados excelentes en niños con miocarditis aguda fulminante y shock cardiogénico soportados con ECMO. En un estudio retrospectivo multicéntrico Duncan et al reportaron 15 niños con miocarditis soportados con ECMO (12 niños) o asistencia ventricular (3 niños) con una supervivencia al alta del 80%, 5 de ellos con trasplante cardiaco⁽¹¹⁾. Utilizando el registro internacional de la ELSO desde 1995 hasta el 2006, Rajagopal y cols. reportaron 255 niños con miocarditis que precisaron ECMO con una supervivencia al alta del 61% (155 niños), 6 de ellos con trasplante cardiaco⁽¹²⁾. Utilizando el Pediatric Health Information System de Estados Unidos del 2006 al 2011, Ghelani et al reportaron que el 20% de los pacientes pediátricos hospitalizados por miocarditis (514 pacientes)

precisaron ECMO (97 pacientes) o asistencia ventricular (7 pacientes) con una supervivencia al alta del 76%, 62 pacientes (60%) con recuperación miocárdica y 17 pacientes (16%) con trasplante cardíaco⁽¹³⁾. En una serie de casos del Boston Children's Hospital del 1996 al 2008, Teele y cols. reportaron 20 niños con miocarditis aguda fulminante, 50% precisaron ECMO con una supervivencia al alta del 70% (7 niños), 1 de ellos con trasplante cardíaco⁽¹⁴⁾.

Estos registros demuestran la importancia del soporte con ECMO en el shock cardiogénico en pacientes con miocarditis aguda fulminante⁽⁴⁾. La utilización precoz de la ECMO previo a la afectación multiorgánica y/o la parada cardíaca es fundamental para obtener buenos resultados en estos pacientes con enfermedad potencialmente reversible⁽⁹⁾.

SHOCK SÉPTICO

Definición

Según la *Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3)*, de 2016, la sepsis se define como la disfunción orgánica causada por una respuesta anómala del huésped a la infección que supone una amenaza para la supervivencia, y el shock séptico como un subconjunto de la sepsis donde las anomalías circulatorias, celulares y metabólicas subyacentes son lo suficientemente importantes para aumentar sustancialmente la mortalidad⁽¹⁵⁾.

Tratamiento

Seguindo las guías pediátricas de la “*Surviving Sepsis Campaign*” de 2012, el tratamiento del shock séptico consiste en la resucitación inicial con oxigenoterapia, antibióticos y expansiones de volumen con cristaloides o coloides hasta 60 ml/kg. Si shock refractario a fluidoterapia iniciar catecolaminas. Si shock resistente a catecolaminas y sospecha de insuficiencia suprarrenal iniciar hidrocortisona. Si shock refractario valorar ECMO^(16,17).

En la Figura 1 se describe el algoritmo de manejo del soporte hemodinámico en el shock séptico pediátrico propuesto por la American College of Critical Care Medicine (ACCM)⁽¹⁶⁾.

Indicaciones ECMO

La ACCM recomienda que la ECMO debería ser considerada en el shock séptico refractario pediátrico⁽¹⁶⁾. El soporte con ECMO puede ser utilizado en niños con shock séptico refractario con SDRA, fallo cardíaco derecho, fallo cardíaco izquierdo, shock distributivo y shock mixto (cardiogénico y distributivo)⁽¹⁸⁾.

La ECMO estaría indicada si el paciente⁽¹⁸⁾:

- Recibe dosis de adrenalina > 1 µg/kg/min o su equivalente (Inotropic Score > 100).
- Ya ha recibido fluidoterapia agresiva y otras estrategias farmacológicas descritas en el algoritmo de manejo del soporte hemodinámico en el shock séptico pediátrico propuesto por la ACCM.
- Continuo deterioro clínico con empeoramiento de la hipotensión, elevación de lactato y disfunción multiorgánica rápidamente progresiva.

Canulación

El tipo de canulación es muy importante para el manejo de los pacientes con shock séptico en ECMO y debe ser individualizado según el estado hemodinámico y respiratorio del paciente^(18,19).

Los pacientes con fallo cardíaco derecho asociado a fallo respiratorio pueden ser soportados con ECMO VV en estadios iniciales del shock, ya que al disminuir la presión intratorácica y optimizar la oxigenación y la ventilación generalmente mejora el gasto cardíaco y la perfusión periférica sobre todo en neonatos. En estadios más avanzados del shock se recomienda canulación VA periférica o central⁽¹⁸⁾.

En los pacientes con fallo cardíaco izquierdo se recomienda canulación VA periférica o central. Si en ecocardiografías seriadas se objetiva distensión del VI, se recomienda aumentar el flujo de la ECMO y si no es efectivo, se recomienda realizar septostomía auricular en ECMO VA periférica o colocar una cánula adicional en AI en ECMO VA central. En los pacientes con shock distributivo y/o mixto se recomienda canulación VA central para conseguir flujos más altos⁽¹⁸⁾.

Manejo ECMO

En el shock séptico se requieren flujos iniciales muy altos (>150-300 ml/kg/min) para conseguir una perfusión sistémica adecuada con normalización del pH y lactato. Generalmente se pueden suspender los inotropos en pocas horas, aunque los vasoconstrictores pueden ser necesarios para mantener tensiones arteriales adecuadas para la edad del paciente sobre todo en pacientes con shock distributivo y vasoplegia^(18,20).

Al requerir flujos de ECMO tan altos para revertir el shock se recomienda canulación central y maximizar el tamaño de las cánulas para minimizar el riesgo de hemólisis^(18,20).

Se recomienda iniciar terapias de depuración extrarrenal en los pacientes con shock séptico soportados con ECMO que presentan insuficiencia renal grave y/o sobrecarga hídrica resistente a diuréticos⁽¹⁸⁾.

Muchos pacientes con shock séptico soportados con ECMO se recuperan rápidamente y pueden ser decanulados en 3-5 días. Los pacientes con SDRA asociado pueden necesitar conversión a ECMO VV tras la resolución del fallo hemodinámico⁽¹⁸⁾.

Supervivencia

El registro internacional de la ELSO muestra que hasta Enero del 2017 se han registrado 2915 neonatos con shock séptico que precisaron ECMO con una supervivencia al alta de 72% y 1756 niños con neumonía viral y 786 niños con neumonía bacteriana soportados con ECMO con una supervivencia al alta de 65% y 59% respectivamente⁽¹⁰⁾.

Aunque históricamente la ELSO reporta alta mortalidad y morbilidad en estos pacientes, actualmente hay varias series de casos con mejores pronósticos. El grupo que reporta más pacientes es el Royal Children's Hospital de Melbourne, donde en una serie de casos del 1988 al 2006, MacLaren et al reportaron 45 niños con shock séptico refractario soportados con ECMO, 34 con canulación periférica y 11 con canulación central, con una supervivencia al alta del 73% en los que tuvieron canulación central frente al 44% de los que tuvieron canulación periférica⁽²¹⁾. Posteriormente en otra serie de casos del 2000 al 2009, MacLaren et al reportaron 23 niños con shock séptico refractario que precisaron ECMO, todos ellos con canulación central con una supervivencia al alta del 74%⁽²²⁾.

Los pacientes sépticos oncológicos tienen peor pronóstico. Utilizando el registro internacional de la ELSO desde 1994 hasta el 2007, Gow et al reportaron 107 niños oncológicos que precisaron ECMO, 50 de ellos con shock séptico con una supervivencia al alta del 35%⁽²³⁾.

Actualmente la ECMO se recomienda en el shock séptico refractario pediátrico. Los efectos beneficiosos de la misma radican en que podría ser capaz de revertir el shock y frenar el avance del fallo multiorgánico sobre todo con canulación central. Quién sabe si en el futuro la ECMO podría instaurarse antes en el algoritmo de manejo del shock séptico con el objetivo de prevenir la disfunción multiorgánica⁽¹⁸⁾.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sivarajan VB, Almodovar MC, Rodefild MD, et al. Pediatric extracorporeal life support in specialized situations. *Pediatr Crit Care Med*. 2013; 14: S51-61.
2. Canter CE, Simpson K. Diagnosis and treatment of myocarditis in children in the current era. *Circulation* 2014; 129: 115-28.
3. Bohn D, Macrae D, Chang AC. Acute viral myocarditis: Mechanical circulatory support. *Pediatr Crit Care Med*. 2006; 7: S21-4.
4. Thiagarajan RR. Extracorporeal membrane oxygenation for cardiac indications in children. *Pediatr Crit Care Med*. 2016; 17: S155-9.
5. Sussman J. Management of the Pediatric ECMO patient. En: Short BL, Williams L, editores. *ECMO Specialist Training Manual*. Third Edition. ELSO; 2010. p. 135-44.
6. Ferroni R, Berger J, Schuette JJ. Management of the cardiac ECMO patient. En: Short BL, Williams L, editores. *ECMO Specialist Training Manual*. Third Edition. ELSO; 2010. p. 145-58.
7. Cooper DS, Hirsch JC, Jacobs JP. Pediatric cardiac extracorporeal life support. En: Annich GM, Lynch WR, MacLaren G, Wilson JM, Bartlett RH, editores. *ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care*. 4th Ed. ELSO; 2012. p. 293-308.

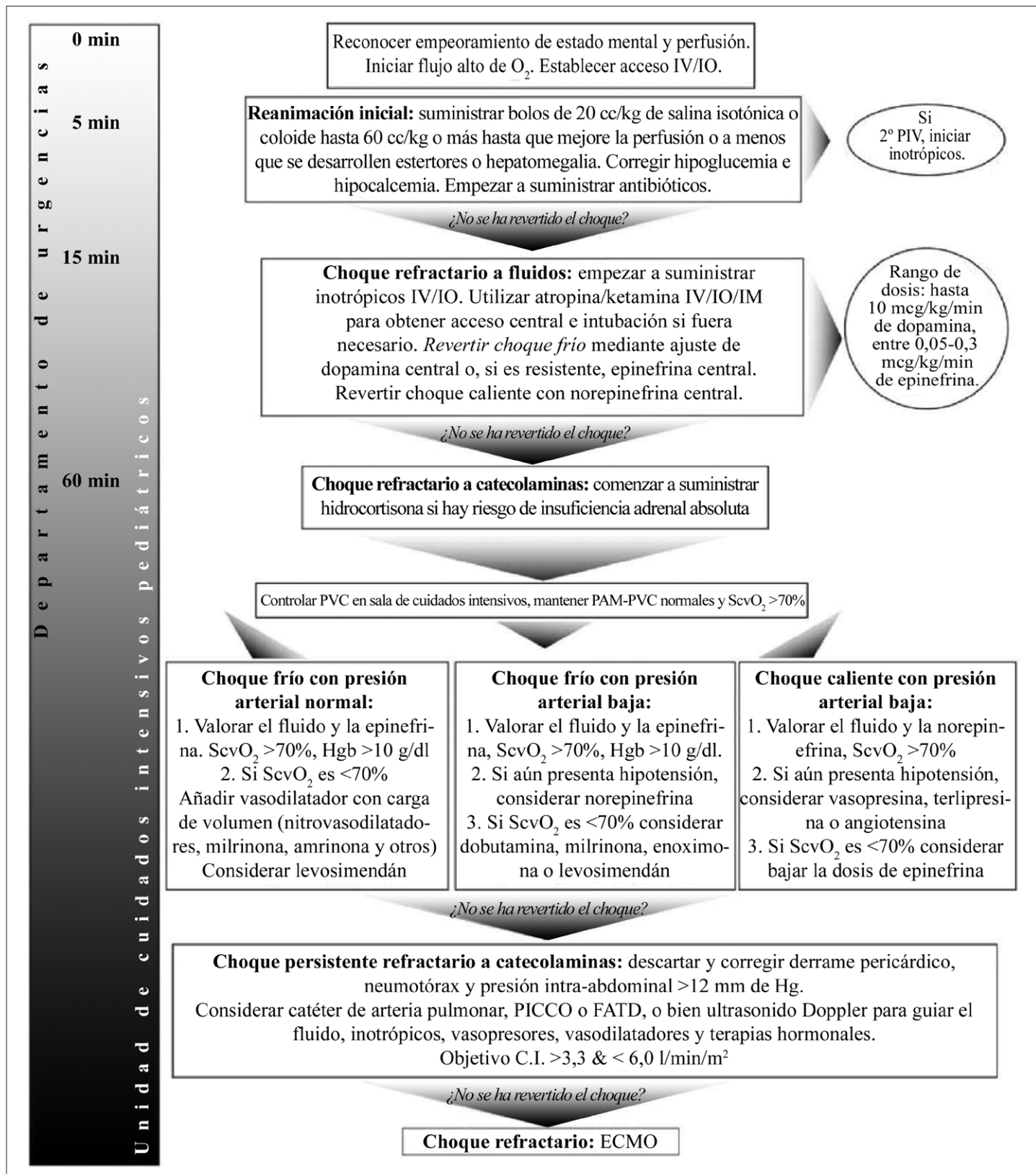


FIGURA 1. Algoritmo de manejo del soporte hemodinámico en el shock séptico pediátrico. (Reproducido de: Brierley J, Carcillo J, Choong K, et al. *Clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock: 2007 update from the American College of Critical Care Medicine. Crit Care Med.* 2009; 37: 666-88).

8. Eastaugh LJ, Thiagarajan RR, Darst JR, et al. Percutaneous left atrial decompression in patients supported with extracorporeal membrane oxygenation for cardiac disease. *Pediatr Crit Care Med.* 2015; 16: 59-65.

9. Brown KL, Ichord R, Marino BS, et al. Outcomes following extracorporeal membrane oxygenation in children with cardiac disease. *Pediatr Crit Care Med.* 2013; 14: S73-83.

10. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). ECLS registry report, International Summary. January 2017.
11. Duncan BW, Bohn DJ, Atz AM, et al. Mechanical circulatory support for the treatment of children with acute fulminant myocarditis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2001; 122: 440-8.
12. Rajagopal SK, Almond CS, Laussen PC, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for the support of infants, children and young adults with acute myocarditis: A review of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Crit Care Med.* 2010; 38: 382-7.
13. Ghelani SJ, Spaeder MC, Pastor W, et al. Demographics, trends and outcomes in pediatric acute myocarditis in the United States, 2006 to 2011. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2012; 5: 622-7.
14. Teele SA, Allan CK, Laussen PC, et al. Management and outcomes in pediatric patients presenting with acute fulminant myocarditis. *J Pediatr.* 2011; 158: 638-43.
15. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA.* 2016; 315: 801-10.
16. Dellinger RP, Levy MM, Rhodes A, et al. Surviving Sepsis Campaign: international guidelines for management of severe sepsis and septic shock: 2012. *Crit Care Med.* 2013; 41: 580-637.
17. Fitzgerald JC, Weiss SL, Kissoon N. 2016 Update for the Rogers' textbook of pediatric intensive care: recognition and initial management of shock. *Pediatr Crit Care Med.* 2016; 17: 1073-9.
18. MacLaren G, Butt W. Sepsis and ECMO. En: Annich GM, Lynch WR, MacLaren G, Wilson JM, Bartlett RH, editores. *ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care.* 4th Ed. ELSO; 2012. p. 397-410.
19. MacLaren G, Butt W. Extracorporeal membrane oxygenation and sepsis. *Crit Care Resusc.* 2007; 9: 76-80.
20. Horton S, d'Udekem Y, Shann F, et al. Extracorporeal membrane oxygenation via sternotomy for circulatory shock. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010; 139: e12-3.
21. MacLaren G, Butt W, Best D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for refractory septic shock in children: One institution's experience. *Pediatr Crit Care Med.* 2007; 8: 447-51.
22. MacLaren G, Butt W, Best D, et al. Central extracorporeal membrane oxygenation for refractory pediatric septic shock. *Pediatr Crit Care Med.* 2011; 12: 133-6.
23. Gow K, Heiss K, Wulkan M, et al. Extracorporeal life support for support of children with malignancy and respiratory or cardiac failure: The extracorporeal life support experience. *Crit Care Med.* 2009; 37: 1308-16.

ECMO en parada cardiaca refractaria

M.J. Santiago Lozano, A.C. Sánchez Galindo

UCIP Hospital Gregorio Marañón. Madrid

En esta comunicación queremos valorar el papel de la oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) en pacientes en parada cardiaca.

Los objetivos de esta presentación son:

- Establecer la definición de reanimación cardiopulmonar con ECMO.
- Valorar el pronóstico actual de la parada en pediatría
- Comentar las experiencias publicadas en ECMO-RCP
- Valorar las posibles indicaciones y contraindicaciones de la técnica.
- Definir el equipo de respuesta rápida
- Considerar los beneficios de la ECMO en los cuidados post-resucitación.

DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Hablamos de reanimación cardiopulmonar con ECMO (ECMO-RCP o E-RCP) para referirnos a la instauración de un sistema de circulación extracorpórea cuando las maniobras de resucitación convencionales han fallado o se producen episodios repetidos de parada cardiaca durante más de 20 minutos.

La instauración del soporte de ECMO cuya canulación se inicia en parada cardiaca es el concepto más aceptado de E-RCP. Quedan fuera de esta definición los pacientes con bajo gasto cardiaco tras una parada cardiaca que se asisten con ECMO en los cuales se ha producido la recuperación de la circulación espontánea antes de la instauración del ECMO.

Algunos autores consideran esta definición muy estricta ya que deja fuera muchos pacientes con parada cardiaca (por ejemplo, aquellos que presentan parada cardiaca durante la canulación de ECMO debido a un bajo gasto de instauración progresiva).

Dentro de una misma patología estos pacientes constituyen un grupo que debe analizarse separadamente y en muchas publicaciones incluyen dentro del concepto de E-RCP muchos pacientes que no cumplen estrictamente esta definición.

Si se diferencian claramente en los estudios las paradas producidas en el hospital (intrahospitalarias) de los pacientes que llegan al hospital asistidos con maniobras de RCP por una parada extrahospitalaria y se instaura el ECMO en el hospital. Incluso actualmente algunos países disponen de la infraestructura de equipos portátiles y personal entrenado para la instauración del ECMO fuera del hospital.

Actualmente el ECMO se está también utilizando, en determinadas circunstancias, para el mantenimiento del donante de órganos.

PRONÓSTICO ACTUAL DE LA PARADA CARDIACA EN PEDIATRÍA

En el estudio colaborativo iberoamericano publicado en el año 2014, se recogen los datos de 48 hospitales de 12 países sobre parada cardiaca intra-

hospitalaria. En este estudio se recogieron 250 paradas cardiacas pediátricas. Se obtuvo la recuperación de la circulación espontánea en el 69,1% de los casos pero la supervivencia de los pacientes fue solo del 40,4%. Estos datos, aunque evidencian una mejoría de la supervivencia comparados con los datos de 10 años antes, donde la supervivencia era solo del 25%, todavía nos dejan un amplio margen de mejora.

Además, en este estudio, aquellos pacientes que sobreviven, tienen en un 81,5% de los casos buen pronóstico neurológico.

Hay ya bastantes series desde que Del Nido (Boston) describiera su experiencia en los 90.

Este grupo de pacientes en parada se ha diferenciado en los análisis de supervivencia del ECMO siendo la supervivencia comparable a los pacientes que entran sin parada cardiaca. Queda confirmar si también es comparable el pronóstico neurológico.

La experiencia publicada más numerosa es la de Robert Barlett en Michigan. Publican su experiencia desde 1998 hasta el año 2010 con 2.000 pacientes incluyendo neonatos, pediátricos y adultos. En este periodo canularon en parada 129 pacientes. La media de duración de la asistencia fue de 5,8 días en niños y 3,2 adultos. La supervivencia global fue del 41%. En este grupo presentaron complicaciones neurológicas el 12% de los pacientes (con una supervivencia en ellos del 33%).

La organización ELSO (*Extracorporeal Life Support Organization*) es un grupo internacional de profesionales de la salud que se dedican al desarrollo y la evaluación del ECMO. En su registro diferencian los casos cuya indicación fue E-RCP. En su última publicación un 17% de los pacientes pediátricos registrados y un 14% de los adultos fueron soportados con ECMO por no conseguirse el retorno de la circulación espontánea durante la RCP.

PRONÓSTICO NEUROLÓGICO E-RCP

En este último registro de la ELSO publicado en 2016, se observa además una disminución del daño neurológico en los pacientes en parada, que empieza a ser comparable a otras indicaciones, probablemente en relación con la mejoría de la instauración rápida de la asistencia y el pronóstico sin secuelas se relaciona con una RCP de calidad durante el proceso.

Thiagarajan analizando el registro ELSO hasta el 2009 recogía los resultados neurológicos de los primeros 682 pacientes con un 22% daño neurológico. La mortalidad en este grupo de pacientes con daño neurológico era elevada, del 89%.

INDICACIONES

Las indicaciones más aceptadas actualmente son:

- Paradas presenciadas
- Tras dos/tres rondas de fármacos
- En pacientes con fisiología biventricular
- Situaciones con posibilidad de recuperación o, si no,
- Posibilidad de listar para trasplante

- Hipotemia profunda/intoxicación por fármacos
- Síndrome post-parada: shock cardiogénico/hipoxemia refractaria

Este método de asistencia da tiempo para que la enfermedad subyacente: sepsis, insuficiencia respiratoria, etc. que nos llevó a la parada se recupere/ se corrija.

Los pacientes con fisiología biventricular postcardiotomía, miocarditis, miocardiopatías, arritmias tienen una mayor evidencia en la indicación (Clase IIa, nivel B) que los pacientes con circulación pasiva pulmonar (derivaciones cavopulmonares) (Clase III, nivel B) que son situaciones en las que el masaje cardiaco es menos efectivo.

Es muy importante que se establezcan con anterioridad las indicaciones para los pacientes de alto riesgo ingresados en la UCIP. También en los pacientes antes de entrar en quirófano a realizar un procedimiento de riesgo. Y se debe pensar en el ECMO al realizar técnicas de alto riesgo de parada cardiaca en hemodinámica. Se debe evaluar la conveniencia de realizar la técnica en soporte de ECMO o con un equipo de ECMO preparado en la sala de hemodinámica.

Serían contraindicaciones las paradas muy prolongadas o cuando no se ha podido realizar una asistencia adecuada, por ejemplo, los pacientes con fisiología univentricular que presentan hipertensión pulmonar, si no podemos conseguir un flujo efectivo es como una parada no asistida.

Y ¿qué consideramos una parada muy prolongada?

En los estudios actuales sobre la parada cardiaca se insiste en que el factor pronóstico más importante es la calidad de la RCP por encima de la duración de la parada. En una publicación de Del Nido en Boston en 2010 donde hablan sobre la instauración del equipo de respuesta rápida a la parada, consiguen disminuir la duración de la RCP pero no mejoran el pronóstico. Presentan un aumento de casos que precisaron ERC por fallo de las maniobras de reanimación convencionales.

LOS EQUIPOS DE RESPUESTA RÁPIDA Y EL EQUIPO DE E-RCP.

Este concepto incluye que todos los recursos humanos estén de presencia física en el hospital. Un intensivista, un cirujano y un enfermero con capacitación en ECMO o un perfusionista. Un equipo multidisciplinar con capacidad de revisar todo lo sucedido tras cada actuación.

Esta configuración permite la capacidad para activarlo desde el inicio de la parada, incluso antes, si se realiza una revisión previa de los pacientes de alto riesgo de parada del hospital.

Se cuente con los recursos materiales para instaurarlo de forma rápida incluyendo un carro de canulación y un equipo con circuito lo más móvil posible.

Algunos centros tienen siempre purgados un circuito pediátrico y otro de adulto. Hay muchas dudas sobre cuánto tiempo puede mantenerse purgado sin que sea colonizado por agentes infecciosos y que mantenga la funcionalidad. Los pocos estudios al respecto dicen que los circuitos se mantienen estériles y mantienen la funcionalidad con un pequeño descenso en la capacidad de intercambio de oxígeno durante 1 mes.

Se precisa un tiempo de unos 15-20 minutos, dependiendo de la técnica, para canular un paciente, que es aproximadamente el mismo tiempo que se necesita para purgar el circuito convencional. Incluso actualmente se han diseñado circuitos de purgado rápido que se llenan en tres minutos evitando la necesidad de tener preparado un circuito.

Uno de los problemas más importantes es la organización del equipo durante la canulación. Conseguir el equilibrio entre unas buenas compresiones torácicas y permitir la instauración rápida del ECMO que oxigene al paciente lo antes posible.

En esta situación, cuando la cardiotomía es reciente (y más si el tórax está abierto) la canulación central con masaje cardiaco directo es lo más utilizado. En niños pequeños se utilizan los vasos del cuello y en adultos y niños mayores una canulación femoro-femoral (arteria y vena femorales) interfiere menos con las maniobras de reanimación.

La mayor parte de los centros instauran un ECMO venoarterial en esta situación pero si la causa primaria de la parada es la hipoxemia el paciente podría recuperarse tras instaurar una buena oxigenación coronaria y podría funcionar un ECMO venovenoso (que tiene menos complicaciones a largo plazo).

CUIDADOS TRAS LA RESUCITACIÓN: EL ECMO COMO PLATAFORMA DE RECUPERACIÓN MULTIORGÁNICA

Aunque la isquemia haya producido daños, estos pueden ser reparables si conseguimos unas buenas condiciones durante la reperfusión. Es muy importante la adecuación de la asistencia a las necesidades del paciente.

Además de que el ECMO resucite, también puede servirnos como plataforma de recuperación multiorgánica en pacientes con bajo gasto tras la parada.

El ECMO nos permite:

- El mantenimiento estable de la temperatura o hipotermia: 34-35°C durante 24-48 horas.
- Realizar una ventilación protectora
- Evitar hiperoxia
- Evitar la hiperventilación
- Realizar un drenaje precoz de la aurícula izquierda en situaciones del shock cardiogénico

MANEJO CARDIOVASCULAR EN ECMO POSTPARADA

Estos pacientes precisan un flujo de sangre elevado hasta la recuperación del aturdimiento miocárdico tras la parada. Una referencia inicial es la asistencia al 80% del gasto cardiaco estimado del paciente de 3 litros/m². En ECMO perdemos las referencias de algunos parámetros macrohemodinámicos. La PVC está artefactada por la retirada de sangre de la aurícula derecha por la cánula venosa o de extracción del sistema de ECMO.

Si el paciente está en parada la onda de la tensión arterial no será pulsátil e inicialmente solo tendremos como referencia la tensión arterial media.

La adecuación de la asistencia la mediremos inicialmente por la recuperación de la saturación venosa de oxígeno, que muchos circuitos traen incorporada, por encima del 70% y la recuperación de los índices de perfusión de la oximetría regional (INVOS).

La mayoría de los pacientes recuperan la diuresis con una asistencia adecuada en las primeras horas.

Se mide también el índice de extracción de oxígeno y el aclaramiento del láctico. Cuando el flujo de ECMO es efectivo el aclaramiento de láctico es muy rápido.

Tras la estabilización de la asistencia se puede valorar retirar los inotrópicos del paciente.

Cuando el paciente se mantiene sin pulsatilidad cardiaca tras 24-48 horas de asistencia, en nuestra experiencia, dosis bajas de adrenalina en perfusión (0,05-0,1 µg/kg/minuto) pueden obtener esta recuperación.

MANEJO RESPIRATORIO

La ventilación protectora pulmonar debe instaurarse en los primeros minutos tras el inicio de ECMO. La ventilación del paciente puede controlarse mediante el flujo de aire barredor de la membrana con el objetivo de mantener una pCO₂ nunca por debajo de 45 mmHg para favorecer el flujo cerebral normal. La oxigenación se maneja mediante el flujo de sangre, la hemoglobina y la FiO₂ de la membrana, evitando la hiperoxia, con objetivos de sat en torno al 94-96% en el paciente y controlando la oxigenación en los gases arteriales del paciente.

El hematocrito debe mantenerse por encima del 30% en los primeros días de ECMO.

Especial cuidado debe tenerse con los parámetros de coagulación y la anticoagulación que precisa el sistema. Las coagulopatías y trombopenias tras la parada cardiaca deben tratarse enérgicamente con plasma fresco congelado y plaquetas para evitar el sangrado. El flujo elevado de sangre que precisan los pacientes los primeros días hasta la recuperación cardiaca permite disminuir la heparina hasta el límite inferior con objetivos de anti-Xa de 0,35-0,45.

HEMOFILTRACIÓN EN ECMO

Los pacientes que presentan daño renal por la hipoxia e hipoperfusión pueden precisar técnica de depuración extrarrenal.

Los estudios de los últimos años que relacionan el balance positivo o la imposibilidad para retornar al paciente a su peso previo, con mal pronóstico han extendido el uso de la técnica de hemofiltración para tratar la

hipervolemia aunque el paciente no presente elevación de los parámetros de daño renal.

Hasta el 70% de los pacientes en nuestro registro lo han precisado.

Existe la posibilidad de integrar el hemofiltro dentro del sistema de ECMO, sin necesidad de una vía venosa adicional.

ECMO EN PARADA CARDIACA EXTRAHOSPITALARIA

Actualmente los datos disponibles son de adultos. Con una gran variedad de sistemas de implantación y resultados muy variables.

Los circuitos portátiles actuales son solo para adultos.

ECMO PARA MANTENIMIENTO DEL DONANTE.

Existen cuatro métodos de preservación y extracción de órganos. De menor a mayor complejidad tenemos:

- Técnica de extracción de órganos super rápida, sin ninguna medida de preservación previa.
- Canulación de arteria y vena femorales, premortem o postmortem, con perfusión fría in situ a través de cánula arterial estándar
- Canulación de arteria y vena femorales premortem, y perfusión fría in situ a través de un catéter de doble balón y triple luz
- Canulación premortem y preservación con oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO).

Cada centro seleccionará el método a aplicar teniendo en cuenta su experiencia y entorno institucional.

CONCLUSIONES

Existe indicación de asistencia en ECMO en pacientes con parada cardiaca mayor de 10 minutos (tres rondas de fármacos).

El desarrollo de los equipos de respuesta rápida es fundamental para la asistencia óptima a la parada cardiaca.

El ECMO permite la estabilización de los pacientes y puede ayudar en la optimización de los cuidados tras la parada cardiaca.

BIBLIOGRAFÍA

- Brown KL, Dalton HJ. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: ECPR. En: Annich GM, Lynch WR, MacLaren G, et al, editors. ECMO. Extracorporeal cardiopulmonary support in critical care. 4th edition. Ann Arbor (MI): Extracorporeal Life Support Organization; 2012. p. 363-70.
- Del Castillo J, López-Herce J, Cañadas S, et al; Iberoamerican Pediatric Cardiac Arrest Study Network RIBEPICI. Cardiac arrest and resuscitation in the pediatric intensive care unit: a prospective multicenter multinational study. *Resuscitation*. 2014; 85: 1380-6.
- Lopez-Herce J, Del Castillo J, Carrillo A. Cardiac arrest prognostic factors in children. *Resuscitation*. 2014; 85: e35.
- López-Herce J, García C, Domínguez P, et al; Spanish Study Group of Cardiopulmonary Arrest in Children. Characteristics and outcome of cardiorespiratory arrest in children. *Resuscitation*. 2004; 63: 311-20.
- Duncan BW, Ibrahim AE, Hraska V, et al. Use of rapid-deployment extracorporeal membrane oxygenation for the resuscitation of pediatric patients with heart disease after cardiac arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998; 116: 305-11.
- Gray BW, Haft JW, Hirsch JC, et al. Extracorporeal life support: experience with 2,000 patients. *ASAIO J*. 2015; 61: 2-7.
- Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, et al; ELSO member centers. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J*. 2017; 63: 60-6.

- Richardson AS, Schmidt M, Bailey M, et al. ECMO Cardio-Pulmonary Resuscitation (ECPR), trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years. *Resuscitation*. 2017; 112: 34-40.
- Barrett CS. Neurological injury after extracorporeal membrane oxygenation use to aid pediatric cardiopulmonary resuscitation. *Pediatr Crit Care Med*. 2009; 10: 445-51.
- Sivarajan VB. Duration of resuscitation prior to rescue extracorporeal membrane oxygenation impacts outcome in children with heart disease. *Intensive Care Med*. 2011; 37: 853-60.
- Karimova A. A wet-primed extracorporeal membrane oxygenation circuit with hollow-fiber membrane oxygenator maintains adequate function for use during cardiopulmonary resuscitation after 2 weeks on standby. *Crit Care Med*. 2005; 33: 1572-6.
- Walczak R, Lawson DS, Kaemmer D, et al. Evaluation of a preprimed microporous hollow-fiber membrane for rapid response neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion*. 2005; 20: 269-75.
- Menegazzi JJ, Salcido DD, Housler GJ, et al. Feasibility of initiating extracorporeal life support during mechanical chest compression CPR: A porcine pilot study. *Resuscitation*. 2012; 83: 13033.
- Massetti M, Gaudino M, De Paulis S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation I Castillo J, Carrillo A. Cardiac arrest prognostic factors in children. *Resuscitation*. 2014; 85: e35.
- López-Herce J, García C, Domínguez P, et al; Spanish Study Group of Cardiopulmonary Arrest in Children. Characteristics and outcome of cardiorespiratory arrest in children. *Resuscitation*. 2004; 63: 311-20.
- Duncan BW, Ibrahim AE, Hraska V, et al. Use of rapid-deployment extracorporeal membrane oxygenation for the resuscitation of pediatric patients with heart disease after cardiac arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998; 116: 305-11.
- Gray BW, Haft JW, Hirsch JC, et al. Extracorporeal life support: experience with 2,000 patients. *ASAIO J*. 2015; 61: 2-7.
- Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, et al; ELSO member centers. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J*. 2017; 63: 60-6.
- Richardson AS, Schmidt M, Bailey M, et al. ECMO Cardio-Pulmonary Resuscitation (ECPR), trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years. *Resuscitation*. 2017; 112: 34-40.
- Barrett CS. Neurological injury after extracorporeal membrane oxygenation use to aid pediatric cardiopulmonary resuscitation. *Pediatr Crit Care Med*. 2009; 10: 445-51.
- Sivarajan VB. Duration of resuscitation prior to rescue extracorporeal membrane oxygenation impacts outcome in children with heart disease. *Intensive Care Med*. 2011; 37: 853-60.
- Karimova A. A wet-primed extracorporeal membrane oxygenation circuit with hollow-fiber membrane oxygenator maintains adequate function for use during cardiopulmonary resuscitation after 2 weeks on standby. *Crit Care Med*. 2005; 33: 1572-6.
- Walczak R, Lawson DS, Kaemmer D, et al. Evaluation of a preprimed microporous hollow-fiber membrane for rapid response neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion*. 2005; 20: 269-75.
- Menegazzi JJ, Salcido DD, Housler GJ, et al. Feasibility of initiating extracorporeal life support during mechanical chest compression CPR: A porcine pilot study. *Resuscitation*. 2012; 83: 13033.
- Massetti M, Gaudino M, De Paulis S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for resuscitation and cardiac arrest management. *Heart Fail Clin*. 2014; 10(1 Suppl): S85-93.

Transporte en ECMO

S. Belda Hofheinz¹, J.M. Aguilar², M. Babiano¹, S. Macip¹, M. García Maellas², E. Elorz², I. Tajuelo¹, A. Ferreiro², E. García²

¹UCIP, ²Instituto Pediátrico del Corazón. Hospital Universitario 12 de Octubre. Madrid.

INTRODUCCIÓN

La oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) es un dispositivo diseñado para suplir extracorpóreamente las funciones de corazón y pulmón. Se trata de una terapia de soporte más que de tratamiento, ya que permite el reposo de los órganos afectados supliendo de modo artificial sus funciones hasta su curación natural o por la terapia convencional. Este procedimiento incluye extraer la sangre del paciente, pasarla por una bomba que la propulsa, manteniendo así la presión arterial y supliendo la función cardíaca, y posteriormente por un oxigenador, que permite el intercambio gaseoso de esa sangre emulando la función pulmonar, para devolverla de nuevo oxigenada, tras lavar el carbónico y calentada a la temperatura que se precise, al paciente⁽¹⁾.

La ECMO se considera una técnica de rescate en situaciones de previsible alta mortalidad, cuando las demás opciones terapéuticas han fracasado y presuponiendo que la situación sea reversible. Se emplea tanto en neonatos, como en niños y adultos con fracaso grave pero potencialmente reversible del corazón y/o de los pulmones.

Es curioso que la definición de los criterios de ECMO apenas ha cambiado desde que Robert Bartlett, el primero en usar la técnica en 1976 en una neonata que sobrevivió, publicara su primera serie de 28 casos, en los que ya había 2 transportes.

Es fundamental la valoración individualizada por un equipo experimentado de cada caso, para establecer la indicación y descartar las contraindicaciones (Tabla 1).

La técnica no está disponible en todos los centros, ya que exige una especialización y una experiencia importantes. De hecho, varios artículos revisan la importancia del volumen de pacientes tratados con ECMO y los resultados, habiéndose descrito una mayor mortalidad en los centros con ECMO pediátrica para patología cardíaca y menos de 15 casos/año, mientras otro estudio sitúa el límite de menor mortalidad en 20-22 o más casos anuales de ECMO pediátrica y neonatal y una tercera publicación ratifica estos datos para la población adulta con el límite en más de 30 casos anuales, aunque no demuestra significación estadística para las poblaciones pediátrica y neonatal⁽²⁻⁴⁾.

Nuestro centro lleva realizando ECMO desde 1999 habiendo hecho en estos casi 18 años más de 130 tratamientos y desde julio del año 2009 hemos utilizado bombas centrífugas de última generación en más de 100 pacientes, con una supervivencia de alrededor del 65% a la decanulación y aproximadamente del 60% al alta de la UCIP, lo que demuestra nuestra experiencia en este campo con una supervivencia similar a las series publicadas.

Aunque no cabe duda de que la opción ideal es trasladar al paciente que pueda necesitar ECMO, antes de que su condición sea tan grave que haga imposible el traslado convencional; a veces el estado del paciente hace que el riesgo de este tipo de traslados sea elevadísimo, imposibilitándolo, ya que

TABLA 1. Contraindicaciones de la ECMO.

Contraindicaciones absolutas
<ul style="list-style-type: none"> • Malformaciones letales • Daño neurológico grave irreversible • Hemorragia intracraneal grave (°III o IV en RN)
Contraindicaciones relativas
<ul style="list-style-type: none"> • Peso recién nacido < 2 kg • Fracaso multiorgánico irreversible • Ventilación mecánica con FiO₂ 100% de más de 14 días • Edad gestacional < 34 semanas • Enfermedad avanzada de pobre pronóstico

provocaría su fallecimiento con una altísima probabilidad. Varios estudios muestran la mayor mortalidad de estos pacientes^(5,6), que se denomina como mortalidad “escondida” o “*hidden mortality*”, ya que en el primer estudio, un 40% de los pacientes estaban tan graves que morían por el traslado convencional, y otros datos muestran alrededor de un 11% de pacientes fallecidos antes de dejar hospital referencia.

Existen por lo tanto niños y neonatos subsidiarios de esta técnica, en los que el tratamiento convencional se ha optimizado sin éxito, que fallecen por encontrarse en un centro que no dispone de ECMO al estar tan graves que su movilización es imposible. Es por lo tanto fundamental hacer llegar el tratamiento óptimo por igual en toda nuestra geografía, para cumplir el objetivo de salud para todos y justicia distributiva.

Las dos posibilidades que existen, para evitar estas muertes y poder ofrecer a todos los pacientes el mejor tratamiento independientemente del sitio en el que se encuentren, son las siguientes:

1. Que la técnica de oxigenación por membrana extracorpórea esté disponible en toda la geografía española. Esto no parece ni posible ni útil, ya que está sobradamente demostrado en la literatura, que hace falta una especialización importante y un equipo multidisciplinar entrenado y versado en la técnica y sus complicaciones para ofrecer una asistencia de calidad y con garantías⁽²⁻⁴⁾. Además, se trataría de un escaso número de casos por centro, lo que hace muy difícil adquirir suficiente destreza. Es fundamental que existan equipos especializados multidisciplinarios que realicen este tipo de tratamientos de forma eficaz y segura.
2. Que un equipo especializado y entrenado se desplace a ofrecer la técnica al hospital en el que se encuentre el paciente y, en colaboración con los equipos de dicho hospital, se canule y asista al paciente con la ECMO y se realice, una vez asegurada la técnica y estabilizado el paciente, su traslado a un centro versado en dicha técnica.

TABLA 2. Principales publicaciones sobre transporte en ECMO.

Autor	Centro	Nº pacientes	Pacientes	Supervivencia
Heullitt 1995	ACH EEUU	13	RN	9/13 (70%)
Rossaint 1997	Virkow-Klinik Alemania	8	Adultos	6/8 (75%)
Linden 2001	Karolinska Suecia	29	RN, Ped, Adultos	21/29 (72%)
Wilson 2002	WHMC EEUU	42	RN, Ped	25/42 (60%)
Foley 2002	U Michigan EEUU	100	Ped, Adultos	66/100 (66%)
Huang 2006	U Nacional Taiwan	31	Adultos	10/31 (32%)
Wagner 2008	Rikshospitalet Noruega	21	Mixtos	16/24 (67%)
Coppola 2008	WHMC EEUU	68	RN, Ped	44/68 (65%)
Clement 2010	ACH EEUU	104	Mixtos	74/104 (71%)
Bryner 2014	U Michigan EEUU	221 propios y Revisión de 643	RN, Ped, Adultos	Propios: 135/221 (62%) Revisión: 61%
Biscotti 2015	CUMC EEUU	100	Adultos	63/100 (63%)
Vaja 2015	Glenfield Hospital, Leicester Reino Unido	102	Adultos	86/102 (84%)
Broman 2015	Karolinska Suecia	322 (40 ya canulados)	RN, Ped, Adultos	Efectos secundarios en 27,3% paciente, 5,3% equipo
Ericsson 2017	Karolinska Suecia	536	RN, Ped, Adultos	206 efectos adversos en 163 transportes, en 34 transportes ocurren dos o más efectos adversos

RN: recién nacidos, Ped: pacientes pediátricos.

En la mayoría de países desarrollados se ha optado por esta segunda opción de una forma más o menos organizada.

Al tratarse de pacientes extremadamente inestables, que requieren unos recursos especiales, se precisan equipos altamente entrenados tanto en técnicas de reanimación avanzada, como en ECMO. En muchas referencias bibliográficas se establece la necesidad de que los equipos de transporte en ECMO sean en el fondo una extensión de los centros de referencia para esta técnica. Así, las series americanas con mayor número de casos son fundamentalmente de 5 centros: Willford Hall Medical Center (WHMC), que realiza transporte militar, el University of Michigan Medical Center (UMMC), el Arkansas Children's Hospital (ACH), el Columbia University Medical Center (CUMC) de Nueva York y el Hanuola Ecmo Program (HEP) para el transporte entre las islas de Hawaii (los cuatro primeros con series publicadas de más de 100 pacientes). En Europa existen centros con programas organizados, siendo

TABLA 3. Características de los vehículos (de las guías de la ELSO⁽²¹⁾).

	Ambulancia	Helicóptero	Avión
Espacio	Suficiente (4-6 personas)	Más limitado (3-5)	Variable (> 4)
Ruido	Relativamente poco	Muy ruidoso	Ruidoso
Distancia de empleo	Hasta 400 km	Hasta 650 km	Cualquier distancia
Limitación de peso	Ilimitado	Limitado (dependiente de distancia y condiciones metereológicas)	Variable
Carga y aseguramiento del equipo	Relativamente fácil	Relativamente fácil	Variable
Coste	++	+++	++++

los que más experiencia han publicado el Karolinska University Hospital de Estocolmo, Suecia (KUH), el Glenfield Hospital de Leicester en el reino Unido, (ambos con más de cien transportes, el sueco con una serie de 845 transportes), el Landstuhl Medical Center de Ramstein (militar) y el Universitätskrankenhaus de Regensburg, Alemania (LMC), pero existiendo amplia experiencia internacional publicada sobre este tema^(6,8-14).

Las principales publicaciones al respecto están recogidas en la Tabla 2⁽⁶⁻¹⁹⁾.

El transporte en ECMO puede ser primario, cuando se trata de canular al paciente en su hospital de procedencia, estabilizarlo y posteriormente trasladarlo al hospital de referencia en ECMO, o secundario, cuando ha sido ya canulado en su hospital y precisa ser trasladado posteriormente (por ejemplo, para recibir un trasplante). Obviamente los equipos con capacidad para realizar los transportes primarios más complejos, también pueden llevar a cabo los secundarios. Todo el proceso se puede dividir en tres fases, transporte del personal versado en ECMO junto al material necesario al hospital del paciente, que incluye la valoración y decisión sobre la elegibilidad del mismo como candidato a ECMO. La segunda fase consiste en la valoración in situ del enfermo, su canulación y posterior estabilización en ECMO y la tercera parte es el transporte de vuelta al hospital de procedencia o a otro de referencia del equipo especializado en ECMO y del paciente.

Con respecto a los vehículos empleados, las tres opciones fundamentales son la ambulancia, el helicóptero o el avión. Las condiciones metereológicas, la distancia a recorrer y la disponibilidad son las variables que determinan la decisión entre uno u otro, teniendo en cuenta que el traslado en avión precisa también de una ambulancia previa hasta y posterior desde el aeropuerto. La carga eléctrica debe ser, en cualquier caso, suficiente para conectar todos los dispositivos necesarios.

La Tabla 3 recoge las principales características de los diferentes vehículos disponibles.

Con respecto al equipamiento, habitualmente será similar al usado en cualquier paciente canulado en ECMO, siguiendo la premisa de ser lo más autosuficientes posible. En los transportes aéreos, cada componente de manera individual, así como el equipo ensamblado deben estar aprobados para su uso en vuelo, estando comprobada la ausencia de interferencias electromagnéticas con los controles de vuelo, además de soportar las vibraciones y las fuerzas de aceleración y deceleración. Aunque se han empleado tanto bombas de rodillo como centrífugas, se prefieren estas últimas por su funcionalidad y seguridad, además de su circuito más corto.

Muchos centros emplean su propia camilla de transporte customizada, para poder asegurar al paciente y el equipo. Existe una camilla comercial que se puede ver en la web de la ELSO (www.elseo.org). En cualquier caso, la experiencia del equipo es fundamental para el proceso de meter y sacar al paciente del vehículo.

Cada centro conforma el equipo que realiza el transporte con una composición diferente, según su forma de trabajar, variando habitualmente entre un mínimo de 4 personas hasta equipos mucho mayores, sobre todo en los transportes militares de larga distancia.

Las condiciones meteorológicas pueden ser también factores determinantes, sobre todo en ambientes de temperaturas frías, en las que los pacientes pueden quedarse hipotérmicos en minutos y congelarse las líneas de infusión.

Hay escasas publicaciones que hablen de los efectos secundarios y las complicaciones de los transportes. Bryner en su serie de 221 transportes⁽¹⁵⁾, describe la aparición de efectos adversos con los siguientes porcentajes: falta de material 10%, complicación eléctrica 18%, complicación en el manejo del paciente 4%, retraso importante en el transporte 4%, alteración en el circuito 9%, flujo de ECMO inadecuado 9% y muerte del paciente en una ocasión (0,5%).

En el artículo de Ericsson⁽¹⁹⁾, se categorizan los efectos adversos en 4 categorías de riesgo por tres autores diferentes, siendo la categoría 1 la de alto riesgo de muerte o morbilidad si no se atiende en segundos, la 2 la que precisa atención en minutos, la 3 una categoría de riesgo intermedia, que precisa atención y resolución de la complicación, pero que no pone en riesgo la vida del paciente y la 4 la de bajo riesgo, que no cumple criterios de las demás. Dentro de los efectos adversos relacionados con el paciente, que son los más frecuentes (65%) se incluyen la extubación, la infrasedación, el sangrado, el aturdimiento miocárdico, la inestabilidad hemodinámica, el llenado de líquido del pulmón (“*flooding*” al programar la ventilación mecánica con parámetros de reposos y pasar trasudado plasmático del intersticio a los alvéolos), las alteraciones electrolíticas o de la glucosa, la hipo- o hipertermia, el flujo inadecuado, la isquemia de miembros, la recirculación, el problema de cánulas, la pérdida de vías o de volumen corriente y las alteraciones del ritmo cardiaco.

Entre las complicaciones del equipo y técnicas (30%), pueden aparecer la entrada de aire en el circuito, el malfuncionamiento del calentador, el respirador, de los monitores, las bombas de infusión o del gasómetro, la escasez de gases como oxígeno o aire medicinal, la coagulación de cánulas, circuito o oxigenador y la falta de electricidad.

Con respecto a los errores del personal (5,8%), existen fallos de comunicación, olvidos de componentes del equipo, falta de staff o error en el aseguramiento del equipo.

En el apartado de transporte y vehículos (12,6%), se recogen retrasos y alteraciones en la logística de los vuelos, ambulancias equivocadas o retrasadas, accidentes de tráfico, malfunción de la energía de la ambulancia, además de los efectos adversos derivados del entorno (1,9%) como la congelación de las líneas de infusión o la necesidad de recargar batería en ambientes de baja temperatura.

En los transportes en ambulancia, la duración de los mismos no aumentó la incidencia de efectos adversos, mientras en los vuelos, en los que la tasa de complicaciones es mayor, la duración de más de 3 horas incrementaba el riesgo de complicaciones significativamente.

Los efectos adversos de riesgo 1 eran fundamentalmente debidos a alteraciones del equipo y técnicas, siendo los derivados del paciente en su mayoría catalogados como de riesgo 2 y 3. Cabe destacar que 2/3 de las complicaciones eran muy importantes (categorías de riesgo 1 y 2).

En todas las series publicadas con más de 1.400 transportes realizados, solo se recogen 2 muertes en traslado⁽²⁰⁾, estando ambos pacientes canulados en ECMO venovenosa con desarrollo posterior de un fallo cardiaco inesperado.

La aparición frecuente de complicaciones serias hace imprescindible que los equipos que realizan este tipo de traslados estén altamente cualificados, no solo en el manejo, la tecnología, fisiología y canulación en ECMO, sino también en medicina de emergencia, transporte y cuidados intensivos. Se destaca también la importancia de poder formar a los técnicos de ambulancia y personal de vuelo. Para mejorar la seguridad es muy importante que todo el personal que realiza el transporte esté entrenado tanto en el manejo de la ECMO como del paciente, pudiendo intervenir en los componentes del circuito cualquier miembro del equipo. Las listas de comprobación también mejoran sustancialmente los errores de material, así como el entrenamiento con simulación.

La mayoría de los efectos adversos del paciente están relacionados con su enfermedad y se resuelven como en las guardias en cuidados intensivos aunque en un espacio reducido y con recursos limitados. Por ello es fundamental la estabilización del paciente antes de comenzar el transporte.

No hay estudios sobre el número mínimo necesario de transportes en ECMO para disminuir tanto los efectos secundarios como la morbilidad y que estos sean seguros, pero en consonancia con los artículos que catalogan los centros de alto volumen de pacientes en ECMO (entre 20 y 30 casos al año) con un menor riesgo de mortalidad, parece claro que deben ser pocos centros con un alto volumen de pacientes los que los lleven a cabo. Eso corroboraría el modelo de centralización de los tratamientos en ECMO que existe en Reino Unido, Australia e Italia. Lo que no excluye que centros menores puedan iniciar una ECMO de rescate en los pacientes, que posteriormente serían trasladados, como se realiza, por ejemplo, en algunos centros menos experimentados de Finlandia. Además, es fundamental conseguir el traslado convencional precoz de aquellos pacientes que puedan ser subsidiarios de ECMO.

EXPERIENCIA PROPIA Y PUNTOS DE MEJORA:

En nuestra unidad hemos realizado 10 canulaciones en ECMO en hospitales que carecían de esta técnica, con sus posteriores transportes para tratamiento en nuestra Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos (UCIP) y que están recogidos en la Tabla 4.

No se ha producido ninguna complicación grave durante los mismos y todos los pacientes han llegado estables y sin incidencias importantes a la UCIP de nuestro hospital. Todos ellos eran pacientes con fracaso pulmonar con síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), aunque todos recibían también tratamiento hemodinámico con drogas inotropas por diferentes grados de afectación circulatoria y cardiaca.

El primero se realizó en enero de 2012 y el último en septiembre de 2016. Se ha acudido a los hospitales de Salamanca, Universitario de Burgos (en tres ocasiones), Niño Jesús de Madrid (en dos ocasiones), General de León, Virgen de las Nieves de Granada, Río Hortega de Valladolid y San Rafael de Madrid. De los 10 casos, los 3 primeros están curados sin secuelas (una lactante con SDRA secundario a virus respiratorio sincitial (VRS) en paciente inmunodeprimida por quimioterapia de su leucemia linfoblástica aguda, un niño de un mes con síndrome de aspiración meconial con neumotórax y fuga aérea refractaria y un niño de 2 años con SDRA y shock tóxico estreptocócico, con neumonía nectrotizante y fuga aérea derechas), la 4ª falleció al decanular (se trataba de una tos ferina maligna que se canuló de extrema emergencia en parada cardiaca, realizando nuestro equipo en su hospital de referencia ECMO-RCP (reanimación cardiopulmonar con ECMO), dado que la parada era refractaria a las medidas habituales, permaneciendo posteriormente 18 días en ECMO y falleciendo por disfunción cardiaca con hipertensión pulmonar secundaria a calcificación generalizada de su miocardio y pulmones, probablemente secundaria al momento de la parada). El 5º falleció a los 4 días de salir de ECMO por fracaso pulmonar por SDRA en contexto de infección vírica refractario tras 4 semanas de asistencia, el 6º (una lactante con SDRA por bronquiolitis y fuga aérea) ha sobrevivido al alta y está en seguimiento neurológico por una hemorragia cerebral parenquimatosa y subdural frontal derecha, con muy buena evolución. El 7º falleció tras retirar la ECMO por fallo multiorgánico irreversible mantenido y lesión neurológica significativa (lactante con tos ferina maligna y fallo multiorgánico con una parada reanimada previamente en su hospital). En este caso acudimos de emergencia, por la extrema gravedad, con un tiempo de respuesta entre el primer contacto y la salida de nuestro hospital de solo 2 horas. El 8º falleció por un cuadro de hipertensión pulmonar refractaria con fracaso ventricular derecho irreversible por cierre del ductus arterioso intraútero por ingesta de ibuprofeno y cocaína de la madre durante el embarazo, complicado con fracaso multiorgánico y edema cerebral. El 9º ha sobrevivido a la decanulación y al alta y se encuentra en su domicilio asintomático. El 10º es un neonato de 4 días de edad que nace con una hernia diafragmática congénita derecha sin diagnóstico prenatal, con hipoxemia refractaria y fracaso cardiocirculatorio pese a tratamiento convencional máximo (ventilación de alta frecuencia, óxido nítrico, drogas inotropas) con desaturación muy grave desde el nacimiento, que desarrolla

TABLA 4. Transportes en ECMO Hospital 12 de Octubre.

Hospital Emisor	Universitario de Salamanca	Universitario de Burgos	Niño Jesús de Madrid	Universitario de Burgos	Complejo Asistencial Universitario de León	Virgen de las Nieves de Granada	Niño Jesús de Madrid	Universitario de Burgos	Río Hortega Valladolid	San Rafael Madrid
Fecha	11/01/2012	06/09/2014	16/02/2015	22/06/2015	15/01/2016	22/01/2016	10/02/2016	16/05/2016	19/07/2016	16/09/2016
Edad	20 meses	29 días	28 meses	16 días	37 días	2 meses 3 semanas	28 días	3 días	2 días	4 días
Patología	SDRA por VRS en inmunodepresión por tratamiento de LLA	Síndrome de aspiración meconial, fuga aérea refractaria	SDRA con fuga aérea refractaria en síndrome de shock tóxico estreptocócico	Tos ferina maligna, FMO, PCR	SDRA por Tos ferina Metaneumo- y Bocavirus, PCR reanimada Vafo, NO previa	SDRA por VRS con fuga aérea refractaria, PCR reanimada	Tos ferina maligna, FMO, PCR reanimada	HTPP grave, fuga aérea, cierre DA precoz	Síndrome de aspiración meconial, HTPP, Vafo, NO	HDC sin diagnóstico prenatal, HTPP
Tiempo hasta salida	48 horas	24 horas	18 horas	4 horas	8 horas	8 horas	2 horas	4 horas	2 horas	1,5 h + espera de
Incidenias en Hospital Emisor	Desaturación grave a la manipulación (al despronar)	Flujo en límite bajo	--	Parada cardiopulmonar respiratoria: ECMO-RCP	Flujo ECMO Mal funcionamiento de la consola Vafo	Flujo ECMO escaso: traslado en ECMO y Vafo	--	Problema de espacio en ascensor, desconexión de línea arterial	Cánula venosa progresada, recolocación	--
Incidenias durante el transporte	Escasa capacidad eléctrica, funcionamiento reiterado de los dispositivos a batería	--	--	Carga insuficiente de la uvi móvil, aumenta tiempo de espera y enfriamiento	Vafo, con Respirador de Hospital Emisor	--	--	Fuga de la conexión de oxígeno de ECMO	Escasa capacidad eléctrica, funcionamiento reiterado de los dispositivos a batería, mal funcionamiento de consola sin medir flujo	Carga inadecuada de la UCI móvil, imposibilitando la carga del calentador con hipotermia de 32°C. Retraso del vehículo de 1 hora
Intervenciones a la llegada	--	Recolocación de cánulas	Revisión por sangrado de cánulas	--	Recolocación de cánulas	--	--	--	Recolocación de cánulas	Hipotermia
Procedencia Uvi móvil	Salamanca	Logroño	Madrid	Logroño	León	Granada	Madrid	Madrid	Segovia (Valladolid)	Madrid
Tiempo espera recogida equipo	18 horas (acordada hora de salida)	12 horas (acordada hora de salida)	2 horas	2 horas, nos recoge vehículo de Madrid dada la gravedad	6 horas	5 horas	1 hora	2 horas	2 horas	2,5 horas (1 hora tras estar preparados)
Supervivencia decanulación de ECMO	Sí	Sí	Sí	No	4 días	Sí	No	No	Sí	No
Supervivencia al alta	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí	--
Secuelas	No	No	No	--	--	Hemorragia parenquimatosa y subdural frontal derecha, buena evolución	--	--	--	--
Días en ECMO	20	24	9	18	28	28	9	18	5	4

SDRA: Síndrome de estrés respiratorio agudo; VRS: virus respiratorio sincitial; LLA: leucemia linfoblástica aguda; PCR: parada cardiorrespiratoria; Vafo: ventilación de alta frecuencia oscilatoria; NO: Óxido nítrico; FMO: fracaso multiorgánico; ECMO-RCP: reanimación cardiopulmonar con ECMO.

una vez en ECMO una coagulopatía intravascular diseminada grave con coagulación y cambio del circuito de Ecmo y encefalopatía hipóxico isquémica y necrosis de miembros izquierdos y zonas parcheadas de tórax y escroto, por lo que se retira el soporte a los 8 días de vida.

En todos ellos nos hemos trasladado 1 o 2 intensivistas pediátricos, (en ocasiones con 1 o 2 residentes de pediatría de 4º año especializados en UCIP), 1 o 2 cirujanos cardiacos, 1 o 2 perfusionistas y 1 o 2 enfermeros de UCIP con experiencia en ECMO. Hemos tenido 3 llamadas de pacientes rechazados como candidatos por su condición previa, una paciente oncológica con LMA (leucemia mieloide aguda) y trasplante alogénico de médula ósea, con enfermedad injerto contra huésped (EICH) cutáneo, digestivo y pulmonar, fracaso renal y SDRA de Salamanca, un neonato con SDRA y sospecha posteriormente confirmada genéticamente de déficit de surfactante del Hospital Clínico de Valladolid y un neonato nacido en Zamora y trasladado a Salamanca con sospecha intraútero de Síndrome de Potter con anhidramnios que nace por cesárea urgente por prolapso de cordón y pérdida de bienestar fetal a las 34+5 semanas, presenta hipoxemia con VAfo, neumotórax bilateral e hipotensión arterial pese a apoyo inotrópico y vasopresor en ascenso, con hemorragia intraventricular grado 2. Se realiza sesión multidisciplinar con cirugía cardiaca, Ucip y neonatología y, dado el pobre pronóstico renal, la hemorragia intraventricular y la alta probabilidad de hipoplasia pulmonar, se decide declinar como candidato.

Además, ha habido alguna llamada de pacientes que después han mejorado en su evolución, no cumpliendo por tanto criterios de ECMO.

En las canulaciones de emergencia el tiempo de respuesta (desde el aviso hasta que salimos del hospital) fue solo de 4 y 2 horas, dada la extrema gravedad de los pacientes. Esto es particularmente reseñable al no existir aún un programa organizado para el transporte en ECMO. En dos casos de Burgos nos han transportado vehículos del 061 de Madrid a otra comunidad autónoma, mientras la uci móvil viajó desde Logroño a la vez a Burgos en el primero de ellos. El menor tiempo de respuesta se consiguió en el 10º (1,5 horas), aunque hubo un posterior retraso de una hora de espera de la uci móvil.

A este respecto cabe reseñar que el mayor consumo de tiempo de preparación ocurre al ser los vehículos que recogen al personal y el material de la comunidad de origen del paciente. En los casos derivados del Hospital de Burgos se daba además la circunstancia de que los pacientes eran de Logroño, lo que retrasaba aún más los tiempos de respuesta.

Los tiempos de respuesta desde la aceptación del paciente como candidato a ECMO hasta la salida del hospital han variado entre 48 horas (en la primera ocasión) y 2 horas, siempre en concordancia con la urgencia del paciente.

En cualquier caso, es de capital importancia disponer de unos vehículos en Madrid que pudiesen ser alertados de forma emergente, ya que esto puede ser fundamental para el pronóstico del paciente, como reflejan perfectamente los casos de tos ferina.

En este tiempo hemos desarrollado también mejoras en el material disponible, por ejemplo, en las botellas de aire (ahora disponemos de dos medianas, mucho más aptas para el transporte), pero sigue habiendo existiendo necesidades a cubrir.

Uno de los problemas generales es la ausencia de adaptadores a las diferentes conexiones de gases de pared existentes en todo el territorio nacional. Esto es un problema sobre todo en los traslados a más distancia, donde el suministro de gases puede ser dificultoso, al poder llevar solo un cargamento limitado de bombonas y carecer la mayoría de ambulancias de aire medicinal suficiente.

En este sentido es también una limitación la carga eléctrica, ya que, aunque tratamos de disminuir al mínimo las infusiones de medicación y necesidades de aparatos que consuman energía, hemos constatado que se precisa que la uci móvil llegue en carga completa cuando vamos a transportar al paciente, dado que es la única forma de que sea posible enchufar a la red eléctrica todos los dispositivos. En este sentido hemos tenido problemas en tres ocasiones (aunque subsanables en todas), con interrupciones en el suministro eléctrico con episodios de funcionamiento a batería durante el primer, noveno y décimo transporte (en el penúltimo causando un mal funcionamiento del sensor de flujo de la ECMO y en el último impidiendo enchufar adecuadamente el calentador, con hipotermia de 32°C) y no pu-

diéndose enchufar el calentador de la ECMO en el 4º hasta que se completó la carga de la ambulancia in situ (en esta ocasión no nos habíamos podido comunicarnos previamente con el técnico, dado que nosotros viajamos desde Madrid y ellos desde Logroño a Burgos), lo que ocasionó una mayor espera y un enfriamiento importante de la paciente (sin repercusiones graves). Por todas estas posibles complicaciones, sería mucho más práctico disponer de un vehículo de las mismas características siempre y que partiese desde Madrid, evitando retrasos.

Además, sería deseable tener una camilla especial con dos baldas, una para el paciente (la de encima, para que estuviese accesible) y otra para asegurar todos los dispositivos. De momento, hemos tenido la suerte de que los pacientes eran de pequeño tamaño, pudiendo ubicar lo más importante en la propia camilla, pero esto puede ser un punto de problemas en pacientes mayores. Hay muchos centros internacionales que disponen de una camilla customizada acoplable a los raíles de su uci móvil y helicóptero.

Otro punto importante es el tipo de vehículo empleado. Además de ser muy deseable que el equipo conociese la uci móvil antes de iniciar el transporte (lo ideal, de hecho, sería que fuese siempre el mismo tipo de vehículo y que pudiésemos establecer que material del que posee dicha uci móvil es innecesario para este tipo de traslados, haciendo sitio para el material que sí debemos transportar, lo mismo que conocer la capacidad eléctrica y el amperaje), los trayectos largos constituyen otro punto de conflicto. De momento, los hemos realizado por vía terrestre, dada la complejidad organizativa que supone en nuestro país, con la transferencia sanitaria a las autonomías, conseguir un medio aéreo. Pero otros equipos de transporte internacionales establecen la mayor seguridad en distancias largas (por ejemplo, el equipo de Arkansas define como largas aquellas > 300-350 km) de emplear un helicóptero, o incluso, un avión, asegurando así la suficiente disponibilidad de gases etc. en el traslado. Las alturas de vuelo habituales tanto para helicópteros como para aviones, son bien toleradas por los pacientes con los dispositivos de ECMO habituales, estando los que empleamos nosotros comprobados para dicho uso.

En todos los casos hemos mantenido una comunicación fluida con el hospital de origen, informándoles de la evolución del paciente, enviándoles los informes al alta y siendo el grado de satisfacción del centro emisor muy alto. Si ha sido posible, el paciente ha sido derivado para finalizar la hospitalización en su centro de origen o, si no, para el posterior seguimiento.

Consideramos necesario implementar los medios de los que disponemos para ofrecer este servicio, tanto materiales, como de personal, para minimizar los tiempos de respuesta y garantizar los niveles óptimos de seguridad para el paciente, buscando la excelencia. En todo caso el transporte e ECMO en nuestro país es ya una realidad, que debe ser ofrecida a todos los pacientes de centros sin experiencia en ECMO que la precisen.

BIBLIOGRAFÍA

1. Belda Hofheinz S, Casanueva Mateos L. Avances en terapéutica: Oxigenación por Membrana Extracorpórea. *An Pediatr Contin.* 2012; 10: 50-35.
2. Karamlou T, Vafaeezadeh M, Parrish AM, et al. Increased extracorporeal membrane oxygenation center case volume is associated with improved extracorporeal membrane oxygenation survival among pediatric patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013; 145: 470-5.
3. Freeman CL, Bennett TD, Casper TC, et al. Pediatric and neonatal extracorporeal membrane oxygenation: does center volume impact mortality? *Crit Care Med.* 2014; 42: 512-9.
4. Barbaro RP, Odetella FO, Kidwell KM, et al. Association of hospital-level volume of extracorporeal membrane oxygenation cases and mortality. *Am J Respir Crit Care Med.* 2015; 191: 894-901.
5. Boedy RF, Howell CG, Kanto WP Jr. Hidden mortality rate associated with ECMO. *J Pediatr.* 1990; 117: 462-4.
6. Foley DS, Prankoff T, Younger JG, et al. A review of 100 patients transported on Extracorporeal Life Support. *ASAIO J.* 2002; 48: 612-9.
7. Heulitt MJ, Taylor BJ, Faulkner SC, et al. Inter-hospital transport of neonatal patients on extracorporeal membrane oxygenation: mobile-ECMO. *Pediatrics.* 1995; 95: 562-6.
8. Roissant R, Pappert D, Gerlach H, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for transport of hypoxaemic patients with severe ARDS. *Br J Anaesth.* 1997; 78: 241-6.

9. Linden V, Oalmer K, Rienhard J, et al. Inter-hospital transportation of patients with severe acute respiratory failure on extracorporeal membrane oxygenation—national and international experience. *Intensive Care Med.* 2001; 27: 1643-8.
10. Wilson BJ Jr, Heiman HS, Butler TJ, et al. A 16-year neonatal/pediatric extracorporeal membrane oxygenation transport experience. *Pediatrics.* 2002; 109: 189-93.
11. Huang SC, Chen YS, Chi NH, et al. Out-of-center extracorporeal membrane oxygenation for adult cardiogenic shock patients. *Artif Organs.* 2006; 30: 24-8.
12. Wagner K, Sangolt GK, Risnes I, et al. Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion.* 2008; 23: 101-6.
13. Coppola CP, Tyree M, Larry K, et al. A 22-year experience in global transport extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr Surg.* 2008; 43: 46-52; discussion 52.
14. Clement KC, Fiser RT, Fiser WP, et al. Single-institution experience with inter-hospital extra-corporeal membrane oxygenation transport: A descriptive study. *Pediatr Crit Care Med.* 2010; 11: 509-13.
15. Bryner B, Cooley E, Copenhaver W, et al. Two Decades' Experience with inter-facility Transport on Extracorporeal membrane Oxygenation. *Ann Thorac Surg.* 2014; 98: 1363-70.
16. Biscotti M, Agerstrand C, Abrams D, et al. One Hundred Transports on Extracorporeal Support to an Extracorporeal Membrane Oxygenation Center. *Ann Thorac Surg.* 2015; 100: 34-40.
17. Vaja R, Chauhan I, Joshi V, et al. Five-year experience with mobile adult extracorporeal membrane oxygenation in a tertiary referral center. *J Crit Care.* 2015; 30: 1195-6.
18. Broman LM, Holzgraefe B, Palmer K, et al. The Stockholm experience: interhospital transports on extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care.* 2015; 19: 278.
19. Ericsson A, Frenckner B, Broman LM. Adverse events during inter-hospital transports on extracorporeal membrane oxygenation. *Prehospital Emergency Care.* 2017; Early Online 1-8.
20. Broman LM, Frenckner B. Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Front Pediatr.* 2016; 4: 63.
21. ELSO Guidelines for ECMO Transport. Ann Arbor: ELSO; 2015. Disponible en: <http://www.else.org/Resources/Guidelines.aspx>.

ECMO venovenosa

S. Segura Matute

Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Sant Joan de Déu. Barcelona

INTRODUCCIÓN

La oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) es una técnica de soporte circulatorio y/o respiratorio que tiene como objetivos asegurar un flujo sanguíneo adecuado para suplir las necesidades del metabolismo celular en pacientes con un gasto cardíaco inadecuado (ECMO venoarterial) y/o asegurar una adecuada oxigenación y lavado de CO₂ en pacientes con disfunción pulmonar (ECMO venovenosa o venoarterial), previniendo al mismo tiempo las complicaciones relacionadas con otras terapias.

A continuación se describen las características especiales de la ECMO venovenosa (VV) en comparación con la ECMO venoarterial (VA), haciendo especial hincapié en las diferencias en cuanto a tipo de canulación y manejo del soporte extracorpóreo.

BREVE RECUERDO HISTÓRICO

En 1953 se utilizó por primera vez una máquina de circulación extracorpórea para cerrar quirúrgicamente una comunicación interauricular en un paciente de 18 años. Durante los años posteriores se introdujeron cambios en las bombas y los oxigenadores buscando ofrecer soporte extracorpóreo fuera de quirófano y durante tiempos más prolongados. De este modo, Hill reporta en el año 1972 el primer paciente sometido a ECMO con éxito: un joven de 24 años politraumatizado con síndrome de distrés respiratorio agudo que se mantuvo en ECMO VA durante 75 horas. Casi al mismo tiempo, Bartlett introdujo la ECMO en el mundo de la pediatría, soportando ese mismo año a un niño de 2 años con transposición de grandes arterias tras la realización de una intervención de Mustard. Poco después, en el año 1975, el mismo Bartlett lleva a cabo el primer caso de ECMO neonatal en una niña con síndrome de aspiración meconial e hipertensión pulmonar, a la que llamaron Esperanza.

FUNDAMENTOS DE LA ECMO VENOVENOSA

En la ECMO VV se extrae sangre a través de una cánula colocada en una vena (generalmente la vena yugular derecha o una vena femoral). Esta sangre se impulsa mediante una bomba a través de una membrana que hace la función de pulmón, para ser devuelta nuevamente al torrente venoso a través de la misma cánula o de una segunda cánula colocada en otra vena.

1. Canulación

La ECMO VV puede realizarse a través de diferentes tipos de cánulas:

- Una cánula venosa de una luz, que se conecta a ambos extremos del circuito extracorpóreo (lado venoso y lado arterial). Se precisa de un clamp que de manera alternante ocluya el lado venoso o el arterial del circuito, lo que condiciona que por la luz única de la cánula se extraiga sangre (cuando se ocluye el lado arterial) o se infuya sangre (cuando se ocluye el lado venoso). Su principal problema es la recirculación de sangre

por el circuito extracorpóreo (lo que produce un aumento anormal de la SvO₂ y una disminución de la SatHb del paciente). En la actualidad, y desde la aparición de las nuevas cánulas venovenosas de doble luz, este sistema está en desuso.

- Dos cánulas venosas de una única luz. En general se extrae la sangre por una cánula que, insertada a través de una vena femoral, llega hasta la vena cava inferior (VCI). Esto generalmente sólo es posible en niños que pesan más de 10-15 Kg. La sangre oxigenada se devuelve a aurícula derecha (AD) a través de otra cánula insertada habitualmente a través de la vena yugular derecha. Si no se consigue un flujo adecuado a través de la cánula situada en VCI, se puede invertir el flujo (extraer la sangre a través de la cánula situada en AD e infundirla a través de la cánula situada en VCI), aunque existe más riesgo de recirculación.
- Una cánula venovenosa de doble luz. En los últimos años se han desarrollado nuevas cánulas de doble luz que permiten utilizar una única cánula insertada a través de la vena yugular derecha, y que minimiza el problema de la recirculación. Estas cánulas disponen de agujeros distales (deben quedar orientados en VCI) y proximales (deben quedar en la unión VCS-AD) conectados a la luz por la que se extrae la sangre que, una vez oxigenada en la membrana, se devuelve a través de la otra luz de la cánula, cuyo orificio debe quedar en AD orientado hacia la válvula tricúspide. Estas cánulas pueden colocarse mediante la técnica quirúrgica habitual o mediante técnica percutánea tipo Seldinger. El éxito de la ECMO VV con este tipo de cánulas depende en gran medida de la correcta colocación/orientación de la misma, que debe realizarse guiada por ecocardiografía. Una de las principales complicaciones descritas (y la más grave) es la perforación de la AD en el momento de la inserción de la cánula.

2. Manejo del circuito

Los cuidados del circuito y el manejo de la anticoagulación son los mismos que para la ECMO VA.

3. Manejo del paciente

La SvO₂ y la SatHb del paciente van a depender del flujo de sangre alcanzado (asumiendo siempre una capacidad oxigenadora de la membrana adecuada al flujo de sangre) y del porcentaje de recirculación de sangre. En general, y teniendo en cuenta que debemos dejar el pulmón en reposo con unos parámetros ventilatorios mínimos, nuestro objetivo será mantener una SatHb sobre 85-90% y una SvO₂ de 65-70%. Para ello suele ser necesario mantener un hematocrito superior al de los pacientes en ECMO VA (sobre 45%).

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

En general, se considera que la ECMO VV está indicada en todo fallo respiratorio agudo potencialmente reversible (excepto puente a trasplante

TABLA 1. Contraindicaciones para el inicio del soporte ECMO.

Contraindicaciones absolutas	Contraindicaciones relativas
<ol style="list-style-type: none"> Alteraciones cromosómicas o genéticas graves (se excluye la trisomía 21). Alteración neurológica que condicione incapacidad grave. AVC, traumatismo cerebral y cirugía cerebral reciente (por el riesgo de hemorragia intracraneal). Hemorragia severa de cualquier localización que comprometa la vida (excluida la hemorragia pulmonar y en el postoperatorio inmediato de cirugía cardíaca). Coagulopatía grave incontrolable con el uso de heparina. Pesos límites (<2 kg y >140 kg). Prematuridad <34 semanas de gestación. Pacientes con enfermedad metabólica u oncológica que condicione mal pronóstico. PCR en curso, a menos que exista un programa de ECPR con criterios establecidos para la selección de pacientes y personal entrenado para el inicio rápido de la ECMO. 	<ol style="list-style-type: none"> VMI agresiva (Peep > 15 cmH₂O, MAP > 25 cmH₂O, Pip > 45 cmH₂O) prolongada (> 10-15 días). Enfermedad pulmonar crónica grave, excepto puente a trasplante pulmonar o DBP con bronquiolitis. Neoplasia (a valorar con equipo médico habitual y familia). Disfunción orgánica grave y crónica (pulmonar, renal y hepática). Insuficiencia cardíaca crónica (excepto puente al trasplante o a asistencia ventricular). Los casos de shock séptico refractario deben individualizarse, aunque en la edad pediátrica en general sí que tienen indicación de ECMO. Disfunción multiorgánica avanzada (cuando no sea atribuible exclusivamente al fallo cardiorrespiratorio). Para ECMO VV son contraindicación el fallo cardíaco grave e HTP grave (PAPm > 50 mmHg) que no se considere reversible mejorando la oxigenación. Para ECMO VA son contraindicación la presencia de insuficiencia aórtica grave y disección de aorta.

AVC: accidente vascular cerebral; PCR: parada cardiorrespiratoria; ECPR: Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation; VMI: ventilación mecánica invasiva; DBP: displasia broncopulmonar.

pulmonar) pero con una mortalidad esperada elevada (> 80%) a pesar de optimizar la terapia convencional, incluyendo:

- Ventilación con volúmenes tidales bajos (4 ml/kg) y presiones meseta < 35 mmHg (ventilación de protección pulmonar).
- PEEP óptima.
- Maniobras de reclutamiento.
- Posición en prono.
- Ventilación de alta frecuencia (cuando se considere necesario o como alternativa al manejo anterior).
- Óxido nítrico inhalado (en la actualidad muy discutido en el síndrome de distrés respiratorio agudo; hay grupos que lo utilizan en aquellos casos en que se plantea la posibilidad de iniciar la ECMO y se ha podido rescatar a algunos pacientes).

Se consideran marcadores de gravedad del fallo respiratorio y, por tanto, indicación de ECMO los siguientes criterios:

- Clásicamente utilizados en neonatología y pediatría:
 - Diferencia alveolo-arterial de oxígeno (AaDO₂) > 610 en neonatos y > 470 en niños durante > 8 horas.
 - Índice de oxigenación (IO) > 40 durante >6 horas.
 - Hipercarbia con pH < 7,20 de manera persistente a pesar de “parámetros ventilatorios elevados”, como presión meseta > 35 cmH₂O.
- Utilizados en adultos:
 - Complianza < 0,5 ml/cmH₂O.
 - Shuntintrapulmonar > 30-50% con FiO₂ >0,6.
 - Score Murray (ensayo CESAR) > 3.
 - PaO₂/FiO₂ < 100.

La Tabla 1 resume las contraindicaciones, tanto absolutas como relativas, para la instauración de una ECMO. A destacar que, además de las contraindicaciones generales, en el fallo respiratorio se considera contraindicación para la elección del soporte venovenoso el fallo cardíaco grave y la hipertensión pulmonar grave (PAPm > 50 mmHg) que no se considere reversible mejorando la oxigenación y disminuyendo los parámetros ventilatorios.

¿POR QUÉ ECMO VENOVENOSA EN VEZ DE VENOARTERIAL?

Existen varios factores que van a favor de la elección del soporte venovenoso frente al venoarterial en todo paciente en el que se pretenda mejorar la oxigenación y la ventilación, siempre y cuando no exista ninguna de las contraindicaciones anteriormente mencionadas:

- Menor riesgo de accidente vascular cerebral (AVC), por diferentes motivos:

- La ubicación de la cánula arterial en la carótida produce una obstrucción del flujo sanguíneo al hemisferio cerebral ipsilateral, que suele quedar compensado por el flujo sanguíneo que llega a través del polígono de Willis desde la arteria carótida contralateral. Podrían existir, entre otras, variantes anatómicas del polígono de Willis que impidan dicha compensación y provoquen isquemia cerebral del mismo lado de la canulación.

- Mientras se procede a la canulación se mantiene la arteria carótida clampada en un momento en el que, si hay inestabilidad hemodinámica, puede existir una perfusión cerebral deficiente que hace que la compensación a través del polígono de Willis no sea óptima, aumentando el riesgo de isquemia cerebral ipsilateral en el lado de la canulación.

- La ligadura de la vena yugular interna, tanto en la ECMO VV como en VA, produce un aumento de la presión venosa cerebral que puede aumentar el riesgo de infarto venoso. Es por ello que algunos centros han desarrollado técnicas de drenaje venoso a través de un catéter colocado en la vena yugular interna más allá de la ligadura. Paradójicamente esta técnica se ha demostrado más útil en pacientes en ECMO VA que en aquellos que están en ECMO VV. Tras el inicio del soporte VA se produce un aumento “súbito” de la circulación sistémica, siendo el lecho capilar cerebral uno de los primeros en recibir este flujo sanguíneo anormalmente aumentado, exacerbando potencialmente la hipertensión postcapilar en ausencia de drenaje.

- Por último, el contacto de la sangre con un material extraño, como es el circuito extracorpóreo, puede favorecer la formación de fibrina y trombos a pesar del tratamiento anticoagulante con heparina. Cualquier trombo que se forme en el lado arterial del circuito puede desprenderse e indirectamente al torrente sanguíneo arterial pudiendo producir un embolismo cerebral.

- Mejor oxigenación pulmonar. En los pacientes en ECMO VV la sangre en la aurícula derecha está más oxigenada, puesto que es la mezcla de la sangre que llega del retorno venoso junto con la sangre que llega oxigenada del circuito. El paso de esta sangre “oxigenada” por el pulmón puede mejorar una posible hipertensión pulmonar. Es más, no es extraño que en algunos pacientes adultos en ECMO VA que no pueden ser destetados por hipertensión pulmonar, se coloque una cánula desde el lado arterial del circuito y a través de la vena yugular hasta la aurícula derecha (ECMO veno-arterio-venosa) para incrementar la oxigenación de la sangre que pasa por el pulmón y mejorar así la clínica de hipertensión pulmonar.

3. En ECMO VA se extrae sangre de la aurícula derecha que se devuelve a la aorta, sin pasar por el ventrículo izquierdo. Esta disminución de la precarga del ventrículo izquierdo se asocia con disfunción miocárdica (aturdimiento miocárdico) tras la entrada en ECMO VA, que suele recuperarse en 2-3 días. Este fenómeno no se ve en la ECMO VV, ya que la sangre que se extrae de la aurícula derecha se devuelve nuevamente al torrente venoso central, con lo que no se altera la precarga del corazón.
4. Otra causa de aturdimiento miocárdico es el flujo sanguíneo coronario. Modelos experimentales han demostrado que el flujo sanguíneo coronario de los pacientes en ECMO VA proviene preferentemente del ventrículo izquierdo, más que del flujo retrógrado que desde la cánula arterial va hacia la aorta ascendente. La sangre que hay en el ventrículo izquierdo en un paciente en ECMO VA se oxigena exclusivamente en el pulmón y depende de la capacidad oxigenadora de éste. Un flujo sanguíneo coronario con sangre desoxigenada se ha asociado a aturdimiento miocárdico. Además de todo lo anteriormente comentado, la ECMO VV suele ser bien tolerada aunque el paciente lleve cierto grado de soporte inotrópico/vasoactivo (excepto en casos de fallo miocárdico o shock séptico refractario fuera del período neonatal, en los que la ECMO VA sería la modalidad de elección). Como contrapartida, la ECMO VV no resulta técnicamente posible en la actualidad en neonatos por debajo de los 2,5 Kg de peso en los que no cabe la cánula venosa de doble luz de menor tamaño (13F) y no es posible colocar una segunda cánula venosa en la vena femoral.

RETOS DE LA ECMO VV

Posición en decúbito prono

Existen estudios que defienden que añadir la terapia de posición en prono al soporte ECMO puede ayudar a optimizar el reclutamiento alveolar y disminuir el daño pulmonar inducido por la ventilación mecánica. Las guías de la ELSO para el Fallo Respiratorio del Adulto recomiendan considerar añadir la terapia de posición en prono a los pacientes en ECMO si existe consolidación predominantemente de los campos pulmonares posteriores, al mismo tiempo que aconsejan mantener la máxima precaución para evitar cualquier complicación, en especial el desplazamiento de las cánulas. Se precisan más estudios a este respecto, en especial en pediatría.

Extubación en el paciente en ECMO

Existe cada vez mayor evidencia a favor de la extubación de pacientes con fallo respiratorio en ECMO VV, sobre todo en aquéllos en los que la ECMO se prevé prolongada, como en los casos de puente a trasplante pulmonar. La extubación de estos pacientes permitiría evitar algunos efectos secundarios frecuentes, como los relacionados con la sedación, intubación y ventilación mecánica prolongadas. Aún así, la complejidad de las interacciones entre el pulmón-corazón y la circulación extracorpórea, así como las dificultades relacionadas con la monitorización y el manejo del paciente despierto en ECMO (sobre todo el paciente pediátrico) hacen de la extubación en ECMO un desafío para el personal de las unidades de críticos.

PRONÓSTICO

La supervivencia de los pacientes sometidos a ECMO VV es, en general, mayor que la de aquéllos pacientes sometidos a ECMO VA, independientemente del grupo de edad, ya que la mayoría de las ECMO VV se instauran por patología pulmonar, más frecuentemente reversible, y en pacientes hemodinámicamente estables (menos graves que aquéllos con inestabilidad hemodinámica marcada).

La ELSO (*ExtracorporealLifeSupportOrganization*) recoge, hasta enero de 2017, un total de 86.287 ECMO, de las cuales 26.813 se han realizado en adultos, 20.831 en pacientes pediátricos y 38.643 en neonatos. De todas las ECMO iniciadas por causa respiratoria, un 45% han sido VV (84% en adultos, 47% en pacientes pediátricos y 28% en neonatos).

En el Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona, un hospital de tercer nivel en el que existe un programa de ECMO desde el año 2001, un total de 158 pacientes han sido canulados para ECMO, de los cuales 48 (un 30,4%) lo han sido para ECMO VV (15 pacientes pediátricos y 33 neonatos). Ocho de estos pacientes (un 16,6%) tuvieron que reconvertirse a ECMO VA (6 de los 15 pacientes pediátricos y 2 de los 33 neonatos).

COMENTARIOS

La ECMO VV puede proporcionar una oxigenación y ventilación adecuadas en aquellos pacientes pediátricos y neonatales en los que han fracasado las medidas de soporte convencional. Debería ser la técnica de elección en aquellos casos en los que se pretende mejorar la oxigenación/ventilación y existe estabilidad hemodinámica (aun admitiendo cierto soporte inotrópico o vasoactivo), ya que evita las complicaciones asociadas a la canulación arterial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abrams D, Bacchetta M, Brodie D. Recirculation in venovenous extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J.* 2015; 61: 115-21.
2. Culbreth RE, Goodfellow LT. Complications of prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure: a systematic review. *Respir Care.* 2016; 61: 249-54.
3. Keckler SJ, Laituri CA, Ostlie DJ, et al. A review of VV and VA ECMO in neonates and children. *Eur J Pediatr Surg.* 2010; 20: 1-4.
4. Langer T, Santini A, Bottino N, et al. "Awake" extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): pathophysiology, technical considerations and clinical pioneering. *Crit Care.* 2016; 20: 150-60.
5. Pettignano R, Fortenberry JD, Heard ML, et al. Primary use of venovenous approach for extracorporeal membrane oxygenation in pediatric acute respiratory failure. *Pediatr Crit Care Med.* 2003; 4: 291-8.
6. Sussman J. Management of the Pediatric ECMO Patient. En: Short BL, Williams L, editors. *ECMO Specialist Training Manual.* Third Edition. Michigan: ELSO; 2010. p. 135-44.
7. Xie A, Yan TD, Forrest P. Recirculation in venovenous extracorporeal membrane oxygenation. *J Crit Care.* 2016; 36: 107-110.