

OXIGENACIÓN POR MEMBRANA EXTRACORPÓREA (ECMO).

*Manuel Sánchez Luna , Juan Vázquez Estévez, Dorotea Blanco Bravo
Begoña Arias Novas, Sylvia Caballero Martín, Maria Luisa Serrano Madrid
Maria Luisa Franco Fernández , Belén Bernardo, Vicente Pérez Sheriff
Rubén Greco Martínez, Enrique Maroto
Departamento de Pediatría
Hospital General Universitario "Gregorio Marañón".*

INTRODUCCIÓN

La oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) es una técnica de reciente aplicación en España. Su uso, está indicado en aquellas situaciones en las que existe insuficiencia respiratoria grave o insuficiencia cardiorrespiratoria con falta de respuesta a los tratamientos convencionales. Sus indicaciones han evolucionado en los últimos años, desde finales de la década de los 70 cuando su aplicación era básicamente las formas intratables de insuficiencia respiratoria, hasta la actualidad en que se entiende como una alternativa terapéutica a las formas de tratamiento convencionales cuando estas no son suficientes o pueden incidir negativamente en el pronóstico del niño.

Habiendo sido un tratamiento cuestionado por los riesgos que entrañan la canulación vascular, la anticoagulación y el riesgo de accidentes relacionados con una técnica tan compleja, actualmente existe suficiente evidencia que demuestra como en situaciones de gravedad en las que la respuesta al tratamiento convencional es insuficiente o ineficaz la ECMO obtiene frente a este mejor supervivencia sin incrementar las secuelas. Además, en aquellas situaciones en las el fallo de la bomba cardiaca o la presencia de insuficiencia cardiaca refractaria al tratamiento médico, la ECMO es entonces la única alternativa terapéutica.

Componentes del sistema.

Se basa en el empleo de un circuito de tubos en el que se intercala un oxigenador de membrana de silicona, una bomba que impulsa la sangre y un sistema de calentamiento de la sangre. El circuito toma la sangre del paciente a través de un catéter o cánula venosa situada en la aurícula derecha, normalmente desde la vena yugular interna derecha y la inyecta, una vez oxigenada, a la aorta habitualmente desde la arteria carótida del mismo lado.

El diámetro de los tubos del circuito y la longitud y diámetro interno de las cánulas varían según el fabricante y el tamaño del paciente.

Los oxigenadores más empleados son los de membrana siliconada enrollada sobre sí misma y a través de la cual circula la sangre y el gas en sentido contrario. La relación de flujos entre ambos delimita el lavado de CO₂. La superficie del oxigenador depende del flujo total necesario para mantener el gasto cardiaco y este a su vez de la superficie corporal de cada caso.

Las bombas que impulsan la sangre son en general de rodillos, oclusivas y no oclusivas. Pueden ser también centrífugas, eligiendo cada centro el tipo de bomba según la experiencia con cada una de ellas.

Los sistemas de ECMO pueden dividirse en veno-arteriales y veno-venosos. En los primeros se realiza un cortocircuito o "by-pass" cardiopulmonar completo, tomándose la sangre desde el territorio venoso sistémico y devolviéndola una vez oxigenada al territorio arterial. Los sistemas veno-venosos se diferencian de los veno-arteriales en que devuelven la sangre una vez oxigenada, de nuevo a la circulación venosa. La sangre una vez oxigenada se mezcla con la procedente del retorno venoso del paciente, normalmente en la misma aurícula derecha. Estos sistemas veno-venosos pueden funcionar mediante el empleo de dos cánulas o de una sola. Esta cánula única puede ser de dos luces siendo una de ellas para la salida de sangre y la otra para la entrada, o de luz única, en este caso el sistema alternativamente toma sangre y la devuelve al paciente mediante la disposición de un sistema de clampaje alternativo. A esta última modalidad se la conoce como ECMO veno-venoso con flujo tidal y cánula única. Descrito inicialmente por Kolobow en los Estados Unidos en 1984 y modificado posteriormente por JY Chevalier en Francia el cual lo denominó AREC (Assistance Respiratoire Extracorporelle) para diferenciarlo del resto de sistemas de ECMO veno-venoso con flujo continuo.

ECMO veno-arterial	ECMO veno-venoso
Cánula arterial y cánula venosa	Flujo continuo: Cánula única doble, 2 Cánulas
	Flujo tidal , cánula única (AREC).

Tabla I.- Tipos de ECMO.

SELECCION VENO-VENOSO vs. VENO-ARTERIAL

La mayor limitación del empleo de ECMO veno-arterial es la necesidad de canulación de la arteria carótida y sus complicaciones. El empleo de una vía única venosa evita estas complicaciones motivo este por el que cada vez son más los pacientes tratados exclusivamente con sistemas veno-venosos. En la Tabla II se resumen las ventajas y desventajas del ECMO veno-venoso frente al veno-arterial.

Ventajas del ECMO vv frente al sistema va:	Desventajas:
Se evita la canulación y ligadura de carótida.	No soporte hemodinámico
Menor tiempo de canulación.	El transporte de oxígeno depende fundamentalmente del gasto cardiaco del propio paciente
Se mantiene flujo pulsátil arterial.	Menor PaO ₂ .
Se evitan los riesgos de la hiperoxia.	Recirculación a flujo alto.
Se perfunden coronarias y los pulmones con sangre oxigenada.	Fluctuación de la PVC y Presión arterial, posible compromiso del retorno venoso sistémico
Menor riesgo de embolismo arterial.	
Menor riesgo de "stun" miocárdico.	

Tabla II.- *Ventajas y desventajas del ECMO veno-venoso frente al veno-arterial.*

Se exponen en las Figuras 1 y 2 el circuito de ECMO veno-arterial y veno-venoso empleados en la Unidad de ECMO del Hospital "Gregorio Marañón".

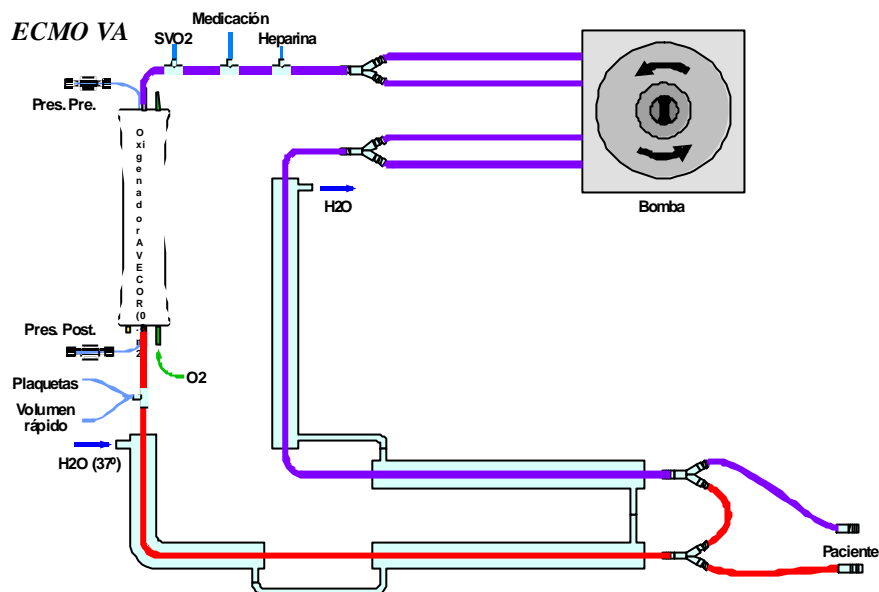


Figura 1. Circuito de ECMO veno-arterial.

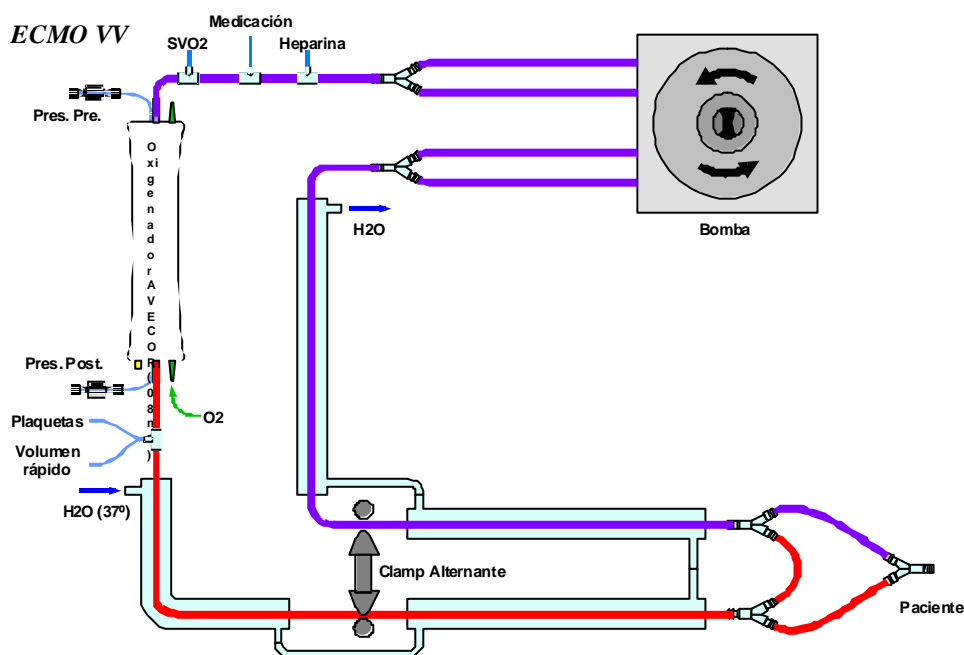


Figura 2. Circuito de ECMO veno-venoso con flujo tidal y cánula única.

Indicaciones de ECMO

Es precisamente la patología neonatal y más concretamente los cuadros que cursan con síndrome de hipertensión pulmonar persistente del recién nacido, los que por su elevada mortalidad, su irregular respuesta al tratamiento médico convencional, son más susceptibles de ser tratados con ECMO. Si la imposibilidad de oxigenar a estos pequeños es el común

denominador de estos cuadros, la ECMO asegura un suficiente transporte de oxígeno y oxigenación y a su vez esto hace en muchas ocasiones que el proceso revierta.

Hoy sabemos que más del 80% de los pacientes neonatales tratados con ECMO por problemas respiratorios graves han sobrevivido y han podido ser dados de alta hospitalaria. Bien es cierto que la supervivencia de los pacientes que precisan ECMO depende en gran medida de la patología respiratoria y del estado del paciente en el momento de iniciarse el tratamiento con ECMO. Así, los cuadros de insuficiencia respiratoria graves secundaria a aspiración de meconio son los que presentan un mejor pronóstico con una supervivencia del 98% para algunos centros y sin embargo los casos de hernia diafragmática congénita presentan una supervivencia que oscila entre el 50 y el 70 % de los que precisan ECMO.

En los últimos años, y probablemente debido al empleo de técnicas de corrección más agresivas en cardiopatías congénitas de forma más precoz y la generalización de estas para la mayoría de las cardiopatías se han incrementado las indicaciones de ECMO por fallo cardiaco. Aunque en la mayoría de las ocasiones la indicación suele ser la imposibilidad de destete del paciente de la CEC, la ECMO tiene un sitio en la estabilización prequirúrgica de cardiopatías que debutan en shock cardiogénico o en hipoxemia severa y en las cuales la realización de una corrección quirúrgica debe de esperar a la mejoría de las constantes del paciente

En algunas ocasiones va a ser durante el postoperatorio inmediato en el que por lesiones residuales o fallo ventricular va a ser necesario el empleo de ECMO. Estas nuevas indicaciones de ECMO tienen en general peor pronóstico que las respiratorias, siendo la supervivencia cercana al 40 %, pero no podemos olvidar que son situaciones que en ausencia de ECMO serían incompatibles con la vida.

El tratamiento con ECMO ha contado siempre con defensores y detractores, sin embargo como el estudio colaborativo británico demostró en 1996, el tratamiento con ECMO reduce la mortalidad en el grupo de pacientes con insuficiencia respiratoria severa (Índice de Oxigenación $\dot{V}O_2$ 40) frente al tratamiento convencional. Aún más, el seguimiento de estos pacientes que fueron aleatorizados a recibir ECMO o tratamiento convencional en el estudio colaborativo del Reino Unido ha demostrado como no existen diferencias entre el grupo tratado con ECMO frente al tratado de forma convencional. Sin embargo es evidente que en aquellos pacientes con cuadros severos de hipoxemia por síndromes de aspiración meconial, hipertensión pulmonar persistente del recién nacido y sepsis / bronconeumonía, el empleo de ventilación mecánica de alta frecuencia, Óxido Nítrico inhalado y surfactante exógeno han supuesto un descenso en el empleo de ECMO. Todavía aún alrededor del 30% de los

pacientes que son tratados con estos tratamientos siguen requiriendo finalmente ECMO, siendo la situación clínica en la que se conecta al paciente a ECMO en ocasiones de mayor deterioro.

Experiencia de la Unidad de ECMO del Servicio de Neonatología del Hospital General Universitario "Gregorio Marañón".

PACIENTES Y MÉTODOS

Desde Octubre 1997 hasta la actualidad se han tratado 43 pacientes con ECMO.

En 16 casos, la patología que hizo necesario el empleo de ECMO fue de origen respiratorio (ECMO-r) y en 27 casos de origen cardiaco (ECMO-c).

En todos los casos se ha empleado una bomba no oclusiva con reservorio de elevada distensibilidad adaptado a los rodillos de la bomba y que por esta distensibilidad autorregula el flujo según la volemia, pre y poscarga a igualdad de vueltas del rotor (06 GN Hospal, Collin-Cardio, Arcueil, Francia). El circuito empleado dispone de doble sistema de circulación para calentamiento de la sangre con un volumen de purgado sin la membrana de 150 ml (AREC Nouveau Ne, TK 0077, Tuyaux Chauffants, Francia). Se han empleado oxigenadores de membrana apropiados al peso del paciente (AVECOR Cardiovascular Inc. Minneapolis USA). La medición del flujo se ha realizado mediante sensor ultrasonográfico de alta precisión (Transonic Systems Inc. T 110, Ithaca , New York, USA). Se mantuvo la medición de CO₂ y O₂ a la salida de la membrana de oxigenación mediante capnografía de flujo continuo.

En 15/43 pacientes se ha realizado ECMO veno-venoso empleándose un sistema de flujo tidal, según técnica descrita por Chevalier et al (AREC) con cánula única de 12 french (AREC Cánula, M 108, Jostra ®, Alemania) introduciéndola 6 centímetros mediante incisión supraclavicular para colocar la punta de la misma en aurícula derecha desde la vena yugular interna derecha, intercalándose un sistema de clampaje alternativo de las ramas del circuito arterial y venoso (IFC 05, AK 10 System, Gambro Instrumenta AB, Lund, Sweden). En los 28 casos restantes de ECMO se ha empleado ECMO veno-arterial y en dos casos el ECMO veno-arterial se transformó en AREC como paso previo a la decanulación. La canulación empleada ha sido en la mayoría de los casos mixta (intra y extratorácica), de arteria carótida desde el cuello (bien izquierda o derecha) y de aurícula derecha con la misma cánula de la circulación extracorpórea .

En todos los casos se realizó monitorización intra-arterial en tiempo real mediante catéter de fibra óptica (Paratrend 7 fl, Diametrics Medical Inc. Minnesota , USA) colocado en

la arteria femoral. Se monitorizaron la temperatura central intra-arterial y vesical de manera continua.

En todos los pacientes se realizaron estudios de función pulmonar y medición del espacio muerto fisiológico mediante análisis del CO₂ espirado pulmonar, en espiración única, según técnica descrita por Arnold y col. empleándose la estación de análisis VenTrak (VenTrak®, Novametrix, Wallingfor, USA).

La monitorización cerebral se realizó mediante ecografía cerebral junto con estudios de flujo cerebral y electroencefalografía. En todos los casos se intentó mantener el nivel de conciencia suficiente como para permitir una adecuada exploración neurológica como mejor forma de monitorización cerebral, manteniéndose suficiente analgesia y sedación y sin emplear bloqueantes neuromusculares.

La indicación de ECMO fue en todos los casos por alguno de los siguientes criterios:

- 1- Índice de Oxigenación (IO) postductal > 40 en 3 de 5 muestras sanguíneas tomadas con al menos 30 minutos de diferencia pero menos de 60 minutos entre ellas. (Cálculo del índice de oxigenación donde PMA es la presión media en la vía aérea, $IO = PMA \times FiO_2 \times 100 / PaO_2$ postductal.).
- 2- (Diferencia alveolo-arterial de oxígeno) AaDO₂ \geq 610 durante 8 horas (80% de mortalidad) ó \geq 600 durante 12 horas (100 % de mortalidad)
- 3- Descompensación aguda y refractaria respiratoria (PaO₂ < 40 mmHg) durante dos horas sin respuesta al tratamiento convencional máximo.
- 4- Disfunción ventricular con shock cardiogénico refractario al tratamiento médico.

RESULTADOS

El diagnóstico y la evolución de los pacientes tratados con ECMO por patología no cardíaca (ECMO-r) se expresa en la Tabla III.

Diagnóstico	Nº de pacientes	Tipo de ECMO	Decanulación por mejoría	Alta hospitalaria
SAM	4	ECMO vv	4/4	4/4
HDC	5	3/5 ECMO vv 2/5 ECMO va	4/5	2/5
BN/Sepsis	5	2/5 ECMO vv 3/5 ECMOva	3/5	2/5
SHPPNi	1	ECMO vv	0/1	0/1

Aire ectópico	1	ECMO vv	1/1	1/1
Total	16	8/16 ECMO vv 8/16 ECMO va	12/16	9/16

Tabla III.- Diagnóstico y evolución de los pacientes tratados con ECMO por patología no cardíaca.

El diagnóstico y la evolución de los pacientes tratados con ECMO por patología de origen cardíaco (ECMO-c) se expresa en la Tabla IV.

Total	Tipo ECMO	Decanulación por mejoría	Alta hospitalaria
25	ECMO vv 3/25 ECMO va 22/25	15/25 (60 %)	9 / 25 (36 %)

Tabla IV.- Diagnóstico y evolución de los pacientes tratados con ECMO por patología cardíaca.

Aún con la mejoría de las técnicas de ventilación mecánica como es el empleo de ventilación mecánica oscilatoria de alta frecuencia y la administración de óxido nítrico inhalado, en ocasiones es preciso realizar soporte extracorporeo respiratorio o cardiorrespiratorio para dar tiempo a que situaciones críticas pero reversibles mejoren. Es evidente que sigue existiendo un grupo de recién nacidos que afectados de cuadros severos de hipertensión pulmonar persistente del recién nacido, no van a responder a los tratamientos convencionales, pudiéndose beneficiar del empleo de ECMO.

En nuestro país no existían unidades de ECMO hasta 1997, aún cuando su necesidad había sido reseñada por diferentes autores. En la mayoría de las situaciones de fallo respiratorio o cardiorrespiratorio el tratamiento convencional va a ser eficaz, sin embargo, aún es posible rescatar a un número importante de recién nacidos en los cuales este tratamiento convencional puede ser insuficiente.

Desde su comienzo, nuestra unidad trabaja tanto con ECMO veno-arterial como con ECMO veno-venoso, siendo las características de cada situación y la patología del paciente la que condiciona el empleo de un sistema u otro. En los casos de ECMO veno-venoso el flujo medio ha sido de 101 ml/k/min. y se han empleado relaciones de ventilación perfusión próximas a 2-4:1. Se ha mantenido una mínima asistencia respiratoria en ventilación de alta frecuencia con parámetros que son insuficientes para mantener la ventilación pero que sí lo son para mantener una oxigenación pulmonar suficiente empleando FiO₂ medias del 30 %. El

objetivo es mantener el pulmón aireado y suficientemente expandido para prevenir fenómenos de fuga vascular relacionados con ECMO y además emplear la oxigenación del pulmón del paciente para incrementar la saturación de oxígeno. Los sistemas veno-venosos tienen el inconveniente de mantener saturaciones de oxígeno arteriales más bajas que los sistemas veno-arteriales, al ser la oxigenación arterial el resultado de la mezcla de la sangre venosa sistémica más la sangre oxigenada procedente del circuito de circulación extracorpórea. Cuando el pulmón es capaz de contribuir en alguna medida a la oxigenación, el mantenimiento de la difusión molecular de oxígeno estando el pulmón en apnea permite mantener mejor oxigenación y lavar el CO₂ mediante la membrana extracorpórea. Las ventajas del ECMO vv frente al ECMO va, cuando es posible su empleo, son por lo tanto evidentes al ser una de las indicaciones más frecuentes de ECMO las situaciones de hipertensión pulmonar persistente del recién nacido, en los que la perfusión de sangre oxigenada al pulmón puede mejorar el cuadro. La perfusión coronaria con sangre más oxigenada puede ser también una explicación para la mejoría hemodinámica de estos pacientes en ECMO veno-venoso. Todo esto hace que cada vez más frecuente el empleo de ECMO vv.

Para el soporte veno-arterial se empleó el mismo circuito con bomba no oclusiva. La zona del cuerpo de la bomba de alta distensibilidad ejerce a la vez la función de reservorio de sangre y el empleo de una bomba no oclusiva hace que el sistema sea sencillo y seguro. A un número constante de vueltas del rotor de la bomba, el flujo depende de la pre y poscarga del circuito, lo que hace a este sistema diferente en su manejo de los clásicos oclusivos. En el grupo de pacientes de ECMO cardíaco, la recuperación de la curva de presión arterial invasiva, la posibilidad de descender el flujo de la bomba manteniéndose la saturación venosa mixta constante y la mejoría ecocardiográfica de la contractilidad miocárdica han sido los factores que han establecido mejor la recuperación de la función ventricular. En general, aquellos pacientes que han evolucionado bien, han presentado mejoría de estos parámetros en las primeras 48 horas de ECMO. Aquellos que al 4º día de ECMO no habían mejorado en estos parámetros o no se les ha podido retirar la ECMO o han fallecido, este hecho es evidente también para otros autores. Es evidente que cada vez son más los pacientes que se benefician del empleo de sistemas de soporte cardiovascular por fallo ventricular tras cirugía cardiovascular, siendo el ECMO uno de los más empleados en la población pediátrica y fundamentalmente neonatal. Sigue siendo complicado sin embargo conocer cuáles son los factores pronóstico que van a seleccionar aquellos pacientes que evolucionarán bien con ECMO.

La extremada gravedad de los pacientes tratados hace inicialmente complejo establecer los resultados de nuestros primeros casos. Tanto el grupo de pacientes en que se

indicó ECMO por patología respiratoria como el grupo de ECMO cardiaco han sido pacientes en los que se indicó ECMO en situación crítica. Este hecho influye en las complicaciones que pueden aparecer y en el pronóstico final de los mismos.

El hecho de no haber podido disponer hasta la actualidad de unidades de ECMO en nuestro medio hace que aún sea difícil decidir el momento de trasladar a los pacientes para que puedan ser tratados, sobre todo en los casos de ECMO respiratorio neonatal en los que la posible respuesta al tratamiento convencional se enfrenta al riesgo evidente de un traslado de un paciente crítico. Sin embargo el retraso en el inicio de ECMO puede condicionar un mayor riesgo para el paciente y reducir las posibilidades de recuperación de la patología de base con mayor de aparición de secuelas.

REFERENCIAS

Chevalier JY, Durandy Y, Batisse A, Mathe JC, Costil J. Preliminary report: Extracorporeal lung support for neonatal acute respiratory failure. *Lancet* 1990; 335:1364-66.

Durandy Y, Chevalier JY, Lecompte Y. Single-cannula venovenous bypass for respiratory membrane lung support. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990;99:404-9.

Chevalier JY, Couprie C, Larroquet M, Renolleau S, Durandy Y, Costil J. Venovenous single lumen cannula extracorporeal lung support in neonates. A five year experience. *Asaio J* 1993;39:M654-8.

Chevalier JY. Extracorporeal respiratory assistance for pediatric acute respiratory failure. *Crit Care Med* 1993;21:S382-3.

UK Collaborative ECMO Trial Group. UK collaborative randomised trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *Lancet* 1996;348:75-82.

Valls i Soler A, López Herrera MC, López de Heredia y Goya J, Román L, Echevarría, B. Fernández-Ruanova. Oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) neonatal. I. ¿Es realmente necesaria en nuestro país?. *An Esp Pediatr* 1997;46:261-265.

The collaborative UK ECMO trial : follow-up to 1 year of age. *Pediatrics* 1998;101: E1.

Sánchez Luna M, Vázquez J, Blanco D, et al. Asistencia respiratoria extracorpórea (AREC): Primeras experiencias en España. *Cir Pediatr* 1999;12:113-118.

Sánchez Luna M, Vázquez J, Blanco D, et al. AREC/ECMO en España. En : Zabanela C y Quiroga E (eds). *Asistencia integral al niño con cardiopatía*. 1999. p. 81-85.

Sánchez Luna M. Asistencia respiratoria extracorpórea. En : Raspall F, Demestre X (eds). *Tópicos en neonatología*. EASO . Barcelona. 1998. p 163-181.

ECMO Registry of the Extracorporeal Life Support Organization, Ann Arbor, Michigan, January 2000.

Nakamura T, Takata M, Arai M, Nakagawa S, Miyasaka K. The effect of left-to-right shunting on coronary oxygenation during extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr Surg* 1999;34:981-85.

De la Cruz TV, Stewart DL, Winston SJ, Weatherman KS, Phelps JL, Mendoza JC. Risk factors for intracranial in the extracorporeal membrane oxygenation patient. *J Perinatol* 1997;17:18-23.

Hintz SR, Suttner DM, Sheehan AM, Rhine WD, Van Meurs KP. Decreased use of neonatal Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) : how new treatment modalities have affected ECMO utilization. *Pediatrics* 2000;106:1339-1343.

Claude N. Assistance respiratoire extracorporelle chez le nouveau-né: une expérience de dix ans. Thèse pour le doctorat en médecine. Faculté de médecine Necker-Enfants Malades. Académie de Paris Université René Descartes. 14 de Octubre 1997.

Collective experience from the extracorporeal life support organization. Complications of neonatal extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994;107:838-49.

Metha U, Laks H, Sadeghi A, Marelli D, Odim J, Alejos J, Kim M, Atkinson J, Bui KM. Extracorporeal Membrane Oxygenation for cardiac support in pediatrics patients. *Am Surg* 2000;66:879-886.

Bauer KH, Kewitz G, Karaca S, Versmold H. Do we need new indications for ECMO in neonates pretreated with high frequency ventilation and/or inhaled nitric oxide?. *Intensive Care Med* 2000;26:1489-95.

Roy BJ, Rycus P, Conrad SA, Clark RH. Changing demographics of neonatal extracorporeal membrane oxygenation patients reported to the extracorporeal life support organization (ELSO) registry. *Pediatrics* 2000;106:1334-8.

Sánchez Luna, J. Vázquez Estévez, D. Blanco et al. Oxigenación por membrana extracorpórea, ECMO. Experiencia de los primeros 22 casos. *An Esp Pediatr* 1999;51:677-683.