

Oxigenación con membrana extracorpórea

Extracorporeal membrane oxygenation

Rafael Lima Linares¹, Manuel Alberto Guerrero Gutiérrez², Vázquez Peralta³, Arturo Pérez Nieto⁴, Rubén Orlando⁵, Eder Iván Zamarrón-López⁶, Raúl Soriano Orozoco⁷, Marco Antonio Montes de Oca Sandoval⁸, Carlos Riera Kinkel⁸, Edgar Hernández Réndon⁹, David Roldan Morales¹⁰, Antonio Fernández Reyes¹¹, Rene D. Gómez Gutiérrez¹¹

ABSTRACT

Extra-corporeal membrane oxygenation (ECMO) is a strategy to maintain the proper gas exchange that is commonly used during cardiopulmonary surgeries, whose current tendency is to increase the spectrum of acute diseases outside the operating room that significantly compromise the oxygenation, ventilation or circulation. This therapy supplies the heart, lungs, or both, totally or partially, and depending on its configuration, it can be applied to improve respiratory (venous-venous), circulatory (venous-arterial ECMO) or both, providing time for Damaged tissue recovers. ECMO is a therapy commonly used in North America and Europe, however, in Mexico it is just beginning to be part of a promising future.

Key words:

ECMO,
cardiopulmonary
resuscitation,
venous-venous,
venous-arterial

- ¹ Anestesiólogo Cardiovascular adscrito al Servicio de Cirugía Cardiovascular en el Hospital de Cardiología, CMN Siglo XXI, IMSS.
- ² Médico residente de primer año en Medicina crítica. Instituto Nacional de Cancerología. Ciudad de México, México.
- ³ Médico residente en Anestesiología Cardiovascular. Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez". Ciudad de México, México.
- ⁴ Especialista en Urgencias Médico-Quirúrgicas y Terapia intensiva. Hospital General de San Juan del Río. Querétaro, México.
- ⁵ Especialista en Urgencias Médico-Quirúrgicas y Terapia intensiva. Hospital CEMAIN, Tampico. Tamaulipas, México.
- ⁶ Especialista en Urgencias Médico-Quirúrgicas y Terapia intensiva. UMAE T1, CMN Bajío. León, Gto.
- ⁷ Especialista en Urgencias Médico-Quirúrgicas y Terapia intensiva. Centro Médico ABC. Ciudad de México, México.
- ⁸ Cirujano Cardiovascular. UMAE Cardiología, Centro Médico Nacional Siglo XXI. Ciudad de México, México.
- ⁹ Cirujano Cardiovascular. UMAE Cardiología. Mérida, Yucatán.
- ¹⁰ Médico General. Practica privada. Ciudad de México, México.
- ¹¹ Médico especialista en Pediatría. Hospital Christus Muguerza, vicepresidente ELSO LATAM. Monterrey, Nuevo León.

Fecha de ingreso: 28 de septiembre de 2020

Fecha de aceptación: 23 de octubre de 2020

ORCID

0000.0002-0645-1836

Conflicto de Interés

Todos los autores declaran no tener conflicto de interés.

Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento de ningún tipo para la realización del manuscrito.

Correspondencia:

Guerrero Gutiérrez Manuel Alberto
Manuelguerrero@gmail.com

RESUMEN

La oxigenación por membrana extra corpórea (ECMO por sus siglas en inglés), es una estrategia para mantener el adecuado intercambio gaseoso que se utiliza habitualmente durante cirugías cardiopulmonares, cuya tendencia actual es al incremento del espectro de enfermedades agudas fuera de quirófano que comprometen significativamente la oxigenación, la ventilación o la circulación. Esta terapia suple total o parcialmente al corazón, a los pulmones, o ambos, y dependiendo de su configuración, puede ser aplicado para mejorar la función respiratoria (ECMO veno-venoso), circulatoria (ECMO veno-arterial) o ambas, proporcionando tiempo para que el tejido dañado se recupere. El ECMO es una terapia de uso habitual en Norteamérica y Europa, sin embargo, en México apenas comienza a ser parte de un futuro prometedor.

Palabras clave:

ECMO,
resucitación
cardiopulmonar,
veno-venoso,
veno-arterial

Introducción

La oxigenación por membrana extra corpórea (ECMO por sus siglas en inglés), ha presentado un avance impresionante en los últimos años en México, convirtiéndose en una pieza invaluable en el manejo del paciente crítico, tanto en adultos como en niños, con severo daño pulmonar y/o cardiaco, refractario a tratamiento convencional[1],[2].

Hoy en día la terapia ECMO se ha convertido en un equipo de mayor confianza con sus distintas configuraciones como es el ECMO veno-venoso y veno-arterial, teniendo indicaciones con un buen nivel de evidencia, como son: puente a recuperación cardiaco y/o pulmonar, puente a trasplante cardiaco y/o pulmonar, paradaa cardiaca, resecciones pulmonares en pacientes inestables[3]-[14]. La decisión de iniciar la terapia de ECMO en un paciente grave, debe ser realizada por personal capacitado y entrenado en esta área, así como el mantenimiento y termino del mismo[15].

Antecedentes

En 1944, Kolff y Berk[16] notaron que la sangre se oxigenaba a través de las cámaras de celofán del riñón artificial en pacientes con necesidad de sustitución de la función renal, este concepto fue aplicado en 1953 por Gibbon quien uso perfusión y oxigenación artificial, para apoyar con éxito una cirugía a corazón abierto[17]. En 1965, Rashkind y sus colaboradores fueron los primeros en utilizar un oxigenador de burbuja como apoyo para un neonato con insuficiencia respiratoria grave[18]. En el año 1969, Dorson y colaboradores, reportaron con éxito el uso de una membrana de oxigenación para un bypass cardiopul-

monar en pacientes pediátricos[19]. En 1970, Baffles y colaboradores, reportan el uso exitoso de una oxigenación por membrana extracorpórea, en pacientes pediátricos con defectos cardiacos congénitos, que se sometieron a cirugía cardiaca[20].

La terapia de ECMO de "largo plazo", se utilizo para brindar apoyo a los pacientes con Síndrome de Distrés Respiratorio del Adulto (SDRA), siendo usado exitosamente por primera vez en 1972, en un paciente adulto con poli trauma e insuficiencia respiratoria[21]. En ese mismo año, Zapol, considerado uno de los padres del ECMO veno-venoso, publicpo en el New England Journal of Medicine, que la meta del Extra corporeal life support (ECLS), es comprar tiempo, mientras se resuelve la causa y se obtiene una adecuada perfusión[22].

Kolobow y Gattinoni en 1977 desarrollaron una nueva membrana pulmonar para mejorar el intercambio de dióxido de carbono (CO₂) y removerlo más rápidamente (ECCO₂R), como una posible opción en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)[23]. En 1975, Barlett et al., reportó por primera vez exitosamente el uso de ECMO en neonatos con insuficiencia respiratoria severa[24].

La trascendencia de la terapia de ECMO se inició en 1989 en Nueva Orleans, debido al interés y la necesidad de coordinar los centros especializados de ECMO, por lo que se crea ELSO (extracorporeal life support organization) con el fin de estandarizar los procesos de la terapia y recolectar los datos obtenidos para futuras investigaciones.

A inicios de los años 90, Morris et al., fallaron al mostrar alguna ventaja adicional al implementar el ECMO *versus* la terapia convencional de ventilación mecánica en SDRA, en un estudio aleatorizado[25]. A pesar de la falta de evidencia, algunos centros en

Estados Unidos y Europa continuaron colocando el ECMO veno-venoso, apoyado en la terapia de ventilación mecánica en pacientes seleccionados, sin embargo, con el sesgo de iniciarlo tardíamente al considerarse una terapia de "último recurso"[26]-[28]. El uso de ECMO repuntó durante la pandemia de influenza AH1N1 en el 2009 y posterior a los estudios CESAR y posteriormente EOLIA, donde no se demostró una mejora en la sobrevida, pero tampoco un daño asociado al uso de esta terapia, y la discapacidad a los 6 meses, los estudios fueron randomizados en pacientes con SDRA que fallaron al tratamiento convencional, comparados con centros donde no se ofreció la terapia ECMO[3]-[29].

Ecmo veno-venoso

El ECMO veno-venoso (VV), es caracterizado por la oxigenación de la sangre, así como por la eliminación del CO₂ en la sangre venosa, es decir es utilizado para tratar la falla pulmonar pura. La patología por excelencia, donde se encuentra hipoxemia severa y retención de CO₂, es el SDRA. Ashbaugh y colaboradores describieron en 1967 un reporte de 12 casos que describe la presentación clínica de pacientes críticos con hipoxemia refractaria, edema pulmonar no cardiogénico, aumento de trabajo respiratorio, opacidades bilaterales en la radiografía de tórax, secundario a una infección por trauma requiriendo de ventilación mecánica[30], fallecieron 7 pacientes de los 12, pero en 6 se encontró abundante membrana hialina en el espacio alveolar compatible con el Síndrome de Distrés Respiratorio del recién nacido, posteriormente el término cambió a ser del adulto, luego a agudo y finalmente como Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo[31]. En 1994, se le otorgó el nombre de SDRA durante la Conferencia de Consenso Americano y Europeo (AECC), tomando en cuenta el tiempo de inicio (Agudo), rayos X de tórax, edema no cardiogénico y PaO₂/FiO₂ de 300-200 mmHg, posteriormente en el 2012 en el panel de expertos de la sociedad europea de medicina cuidados intensivos se estableció la definición de Berlín la cual propone, un

inicio agudo en los primeros 7 días, radiográficamente presencia de opacidades bilaterales no explicadas por derrame pleural, atelectasias o nódulos, insuficiencia respiratoria no atribuible a falla cardíaca o sobrecarga hídrica e índice P/F (paO₂/FiO₂) de 300-200 mmHg para SDRA leve, 200-100 mm Hg moderado y menor de 100 mmHg Severo con PEEP mayor o igual de 5 cm H₂O (Berlín 2012)[32]. Actualmente, lo podemos definir de forma simplificada de la siguiente manera (Tabla 1).

La eficacia del sistema de oxigenación de membrana extracorpórea veno-venoso, en pacientes con SDRA ha permanecido en controversia, pero las últimas revisiones sistematizadas y metaanálisis, han dado sustento al uso de la terapia de ECMO[33],[34].

Los pacientes que han recibido la terapia de ECMO durante las pandemias de influenza A (H1N1) en el 2009, han tenido resultados prometedores. El ECMO fue diseñado para limitar el daño y rescatar el pulmón, determinando el inicio de la terapia temprana de ECMO en los casos de SDRA severo[35]-[37].

El estudio EOLIA de 2018, es el estudio más grande con uso de terapia ECMO veno-venoso en el SDRA severo comparando 2 grupos, ambos con SDRA severo, uno se le colocaba el ECMO veno-venoso (específicamente Pa/FiO₂ menor a 50 mmHg por 3 h o Pa/FiO₂ menor a 80 mmHg por 6 h o pH arterial menor a 7,25 con una presión parcial de PaCO₂ mayor a 60 mmHg por 6 h, siendo la meta primaria la mortalidad a 60 días[38] (Tabla 2).

Se recomienda el uso del pronóstico previo a la terapia de ECMO en el SDRA severo[39] (Figura 1) siendo un grupo considerable, entonces la reformulando la pregunta inicial, quedaría planteada de esta manera ¿Qué tanto me va beneficiar el ECMO en esta terapia y a que costo? Consideramos que el uso de ECMO no debería limitarse a aquellos pacientes con SDRA severo, debido a que la mortalidad de la patología per se, se encuentra incrementada, una intervención temprana de esta terapia disminuiría la mortalidad en este tipo de pacientes, aunque actualmente solo se cuenta como terapia de "rescate", en un futuro no muy lejano, el ECMO será un pilar fundamental en el manejo temprano del SDRA.

Tabla 1. Criterios de Berlín para el SDRA[32]

Infiltrados pulmonares bilaterales en estudio de imagen (radiografía de tórax, tomografía computarizada o ultrasonido pulmonar)
Edema pulmonar no justificado principalmente por falla cardíaca (evidenciado de forma objetiva, ej. Ecocardiografía)
PaO ₂ /FiO ₂ < 300 (Con PEEP ≥ 5 cmH ₂ O)
Afección pulmonar de inicio menor a 7 días

Tabla 2. Indicaciones de ECMO Veno-venoso

SDRA severo con Pa/FiO ₂ menor a 50 mmHg por 3 h
Pa/FiO ₂ menor a 80 mmHg por 6 h
pH arterial menor a 7,25 con una presión parcial de PaCO ₂ mayor a 60 mmHg por 6 h

Contraindicaciones del ECMO veno-venoso

Absolutas[40]

- Paciente moribundo con una falla orgánica múltiple establecida.
- Pacientes con mal pronóstico a corto plazo (ej. Enfermedad metastásica maligna).
- Comorbilidades en etapa avanzada, como; insu-

ficiencia respiratoria crónica sin indicación para trasplante o irreversible.

- Patología neurológica devastadora (ej. Hemorragia masiva intracraneal).

Relativas[40]

- Ventilación mecánica con presiones altas, por más de 7 días.

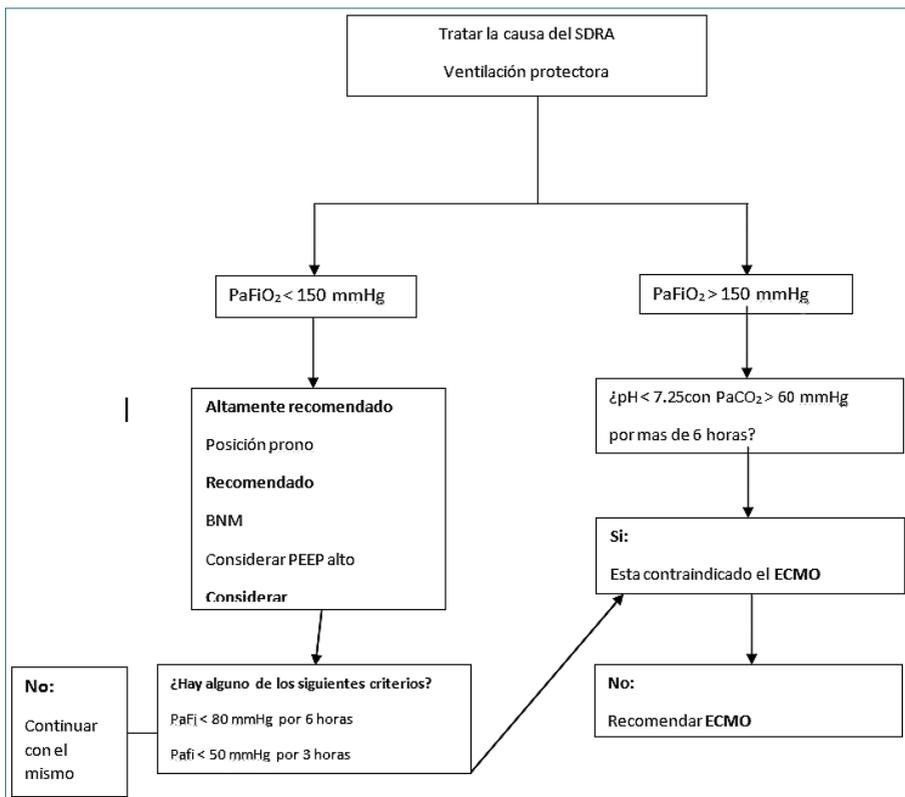


Grafico 1. Algoritmo de manejo para SDRA. PEEP = Presión positiva al final de la espiración; PaO₂:FiO₂ = Índice de presión arterial de oxígeno en sangre arterial y fracción inspirada de oxígeno; ECMO = Membrana extracorpórea de oxigenación; PaCO₂ = Presión parcial de dióxido de carbono en sangre arterial. *Con respiración mayor a 35 ventilaciones por minute y ventilación mecánica a una presión plateau ajustada ≤ 32 cm de agua. †Considerar bloqueo neuromuscular. No hay contraindicaciones absolutas, excepto estadio final con falla respiratoria, cuando no ha sido considerado el trasplante pulmonar. Ej, Bloqueo neuromuscular, PEEP alto, vasodilatadores pulmonares inhalados, maniobras de reclutamiento alveolar, ventilación oscilatoria de alta frecuencia. Se recomienda terapia temprana con ECMO con base en el estudio EOLIA. **Considerar en cada hospital la logística necesaria, para tener un ECMO, sugerimos que al considerar posición prono, se active la alerta de ECMO para iniciar la logística y tener un ECMO Team disponible al ser necesario.

- Edad avanzada.
- Accesos vasculares limitados.
- Sangrado activo.
- Contraindicaciones para limitar la anticoagulación (en ciertas ocasiones, se puede colocar sin anticoagulación).

Centros ECMO

Desde que se comenzó a utilizar el ECMO para los pacientes con SDRA, los centros han reportado resultados muy heterogéneos[41], se consensó que el volumen anual para un centro de ECMO, debe ser, de al menos 20 casos al año, con un mínimo de 12 casos al año para falla respiratoria aguda[42]. En caso de no contar con esta experiencia, los pacientes deben ser referidos a un centro de ECMO capacitado, con el objetivo de disminuir complicaciones.

Complicaciones

Las complicaciones durante el ECMO, son comunes y potencialmente ponen en riesgo la vida, se describen en la Tabla 3, las cuales son menos frecuentes cuando la terapia es otorgada por un equipo entrenado y es realizada en un centro especializado. Es importante reconocerlas y tratarlas a la brevedad posible.

ECMO venoarterial

Introducción

La oxigenación con membrana extracorpórea Ve-

noarterial (ECMO-VA) provee de un soporte cardiopulmonar para pacientes con choque cardiogénico multifactorial con falla uni o biventricular y/o disfunción pulmonar, choque post cardiectomía, como terapia puente de recuperación miocárdica, soporte mecánico circulatorio para trasplante cardiaco; en el contexto de los avances en tecnología de membranas, bombas, estrategias de canulación percutánea y la adecuada selección de pacientes[51].

Con el paso de los años, se han desarrollado nuevos elementos, como membranas de fibra en tubos huecos que disminuyen la resistencia en el oxigenador y mejoran las características de compatibilidad de la sangre, bombas centrífugas rediseñadas que disminuyen la generación de calor y trombogenicidad, permitiendo un soporte más duradero y más biocompatible, configuraciones híbridas de ECMO VAV (Veno-arterio-venoso) que proveen flujo sanguíneo pulmonar supraoxigenado, mientras da aporte hemodinámico al mismo tiempo, desplegar estrategias percutáneas y circuitos a menor escala facilitando el transporte del paciente con Ecmo, todo ello permitiendo acercarse la utopía que en los años 30's se empezaba a proyectar[52]. A pesar de todos los avances tecnológicos; la supervivencia a 6 meses de los pacientes con ECMO VA sigue siendo del 30% y una mortalidad hospitalaria del 50% a 60% quedando supeditada la necesidad de desarrollo e investigación en este campo. En un análisis a 15 años del registro Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) se reportó una sobrevida de tan solo del 15%.

En la última década los centros de ECMO-VA han incrementado significativamente el número de pacientes, Gerke[53] y cols., describieron que en EU se

Tabla 3.

Complicaciones	Consideraciones
Canulación[43]-[45]	ELSO reporta 6% de complicaciones relacionadas a la canulación Debe ser realizada por un operador experto, usando ultrasonido o fluoroscopia Las complicaciones asociadas a la canulación, son potencialmente mortales por lo que se debe de disponer de hemoderivados Se debe fijar adecuadamente la cánula, para evitar migración Embolismo aéreo es reportado, por lo que debe ser de estrecha vigilancia Infección asociada al sitio de canulación
Técnica[46],[47]	ELSO reporta 10% de complicaciones asociadas a fallos en la técnica y el oxigenador Las membranas de polimetilpentano y las bombas de la centrífuga en circuitos modernos, prácticamente han eliminado la fuga de plasma, calentamiento de la cabeza de la bomba y ruptura de la tubería
Trombosis y hemorragia[48]-[50]	ELSO reporta 3,8% de sangrado intracerebral en pacientes adultos con ECMO V-V Hemolisis mínima es observada durante el ECMO V-V Activación y destrucción plaquetaria, es uno de los riesgos por sangrado en ECMO

ELSO: Extracorporeal life support; ECMO-VV: Extracorporeal membrane oxygenation venovenous.

han registrado 12.566 pacientes adultos en el programa Extracorporeal Life Support Organization.

ECMO venoarterial

El ECMO VA consiste en un circuito donde la sangre es drenada desde la aurícula derecha, a través de una cánula inserta en la vena yugular interna derecha, vena femoral o directamente en la aurícula derecha y es retornada a la aorta torácica, a través de una cánula carotídea derecha, femoral o aórtica (Figura 2). La principal meta de la modalidad VA es la restauración de la perfusión tisular para permitir la estabilización y recuperación funcional[51]-[59] (Tabla 4).

A pesar de que no existe suficiente bibliografía, que sustente recomendaciones específicas del manejo de ECMO VA se propone como meta inicial que el flujo debería ser de 50-70 ml/kg/min con una presión arterial media > 60 mmHg y una presión diferencial de más de 10 mmHg[51],[60]. Idealmente se debería colocar línea arterial radial en el brazo derecho, con el fin de que las muestras tomadas para análisis de gases sanguíneos se correlacionen mejor con el contenido cerebral de oxígeno; además permite monitorizar la presión de pulso (pulsatilidad arterial) como medida indirecta de contractilidad cardíaca durante el soporte y destete, una pulsatilidad bajo o nulo (< 10 mmHg) indica que el ventrículo izquierdo no está eyectando el suficiente volumen generando estasis sanguínea y mayor riesgo de formación trombótica; presión de pulso elevada indica posible recuperación miocárdica. Potenciales fuentes de formación de trombos por estasis sanguínea son el VI, la raíz aortica e incluso el sistema del ECMO, por lo tanto, el manejo anticoagulante es indispensable bajo medidas farmacológicas y no farmacológicas[59]. Las no farmacológicas implican la evaluación visual directa del circuito y el oxigenador de membrana, monitoreo de las presiones ejercidas en el circuito e indirectamente evaluando las medidas de hemólisis (niveles de LDH y hemoglobina libre de plasma). Bivalirudina y Argatroban se han reportado como alternativas seguras y efectivas para la anticoagulación en pacientes con trombocitopenia inducida por heparina o resistencia a la heparina, la heparina no fraccionada es el anticoagulante de elección[60].

Los niveles de anticoagulación para ECMO VA son más altos que para ECMO VV por la naturaleza fatídica de la trombosis sistémica o el colapso circulatorio que puede ocurrir por un fallo en el circuito. En 2015 Silveti[61] estudió circuitos recubiertos con heparina para minimizar formación de microtrombos y para reducir la dosis de heparina sistémica con resultandos

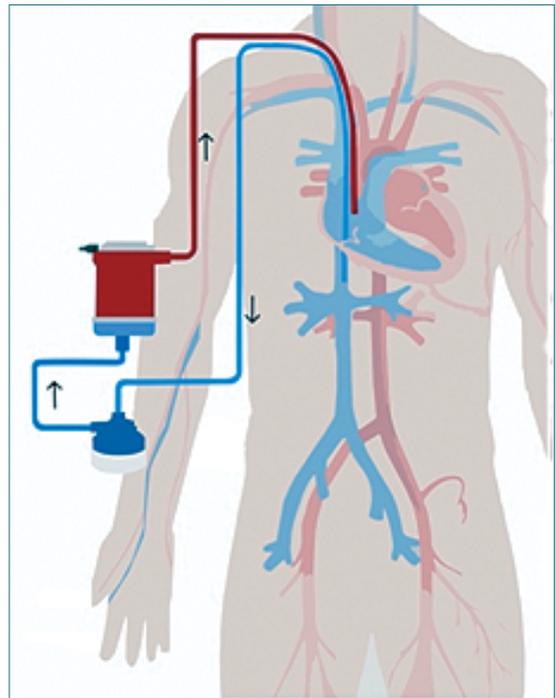


Figura 1. ECMO Veno-venoso.

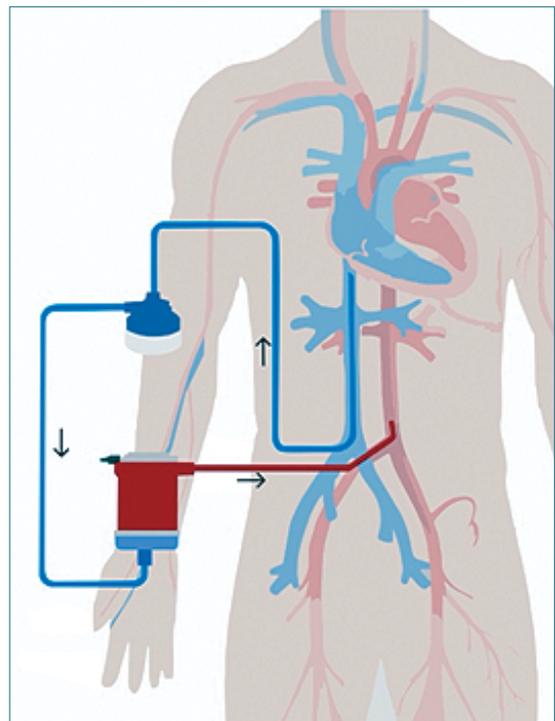


Figura 2. ECMO veno-arterial.

Tabla 4. Objetivos principales del ECMO VA

Contexto	Descripción
Enlace hacia la recuperación	Temporizar el soporte circulatorio mientras se implementan estrategias para restaurar la recuperación miocárdica y lograr un destete exitoso
Enlace hacia la decisión	Para determinar la reversibilidad del daño del órgano terminal comúnmente visto después de un evento crítico miocárdico para decidir el siguiente nivel de acción
“Bridge to Bridge”	Para lograr una breve estabilidad para la perfusión del órgano terminal hasta que se inicie el soporte circulatorio mecánico duradero o la terapia de reemplazo cardíaco sea realizada
Enlace hacia el trasplante	Para lograr una breve estabilidad para la perfusión del órgano terminal hasta que se realice el trasplante de corazón

beneficiosos controvertidos.

La hiperoxia producida por ECMO VA ocurre por la alta eficacia de los modernos oxigenadores y puede ser evitada reduciendo la FiO_2 que pasa a través del filtro de oxigenación (gas de barrido) para mantener valores de PaO_2 entre 60 y 100 mmHg. La eliminación de CO_2 puede ser controlada incrementando el flujo total del gas de barrido a través del filtro de membrana en casos de acidosis respiratoria; disminuyendo el flujo si se presenta alcalosis[62]. Si el paciente se encuentra bajo ventilación mecánica se recomienda no usar Volumen Tidal alto o presión plateau > 25 cm H_2O para disminuir el riesgo de barotrauma.

La descompresión del ventrículo izquierdo (VI) es un pilar fundamental en esta modalidad de ECMO para prevenir la lesión pulmonar secundaria a elevación de presiones venosas pulmonares, disminuyendo la estasis sanguínea en el VI y promueve la recuperación miocárdica[63]. En aquellos pacientes en los que a pesar de las medidas previamente mencionadas no se logra una adecuada descompresión ventricular, se deben emplear otras técnicas que aseguran descompresión ventricular, también llamadas técnicas de venteo o “venting”.

La optimización del volumen durante la descompresión del VI con soporte es crucial, la optimización del estatus hídrico puede ser alcanzado mediante control de diuresis o terapias de reemplazo renal mediante un filtro de diálisis adaptado al circuito ECMO VA así evadiendo accesos vasculares adicionales que conllevarían a mayor riesgo de infecciones, trombosis o eventos hemorrágicos[64].

El ajuste de la terapéutica farmacológica en el paciente con soporte ECMO se debe realizar de manera dinámica ya que como describió Dzierbaa[65] se presentan grados variables de absorción por el tubo del circuito y el oxigenador modificando el volumen de distribución alterando los modelos farmacocinéticos y dinámicos especialmente para fármacos lipofílicos,

sedantes, analgésicos y antimicrobianos.

El Síndrome de Arlequín (Norte-Sur) es una entidad característica que se puede presentar con soporte de esta modalidad del ECMO; en un contexto de intercambio pulmonar anormal de gases incluso cuando se combina con sangre completamente oxigenada de la cánula en la arteria femoral, la sangre que perfunde el cerebro, el corazón y las extremidades superiores pueden tener una saturación por debajo del 90% causando cianosis de la parte superior del cuerpo. Sorokin[66] y cols., recomiendan ajustar los parámetros ventilatorios, una canulación central, disminuir la eyección del VI o considerar ECMO V-AV (Figura 3) como estrategias que se pueden tomar para disminuir la incidencia de este fenómeno resaltando la importancia de los modelos híbridos.

Schmidt[67] y cols., estudiaron 3.846 pacientes con choque cardiogénico refractario manejados con ECMO VA identificando los principales factores que modifican la supervivencia; la insuficiencia renal crónica, una mayor duración de la ventilación mecánica antes del inicio de ECMO, las fallas orgánicas previas a ECMO, el paro cardíaco previo a ECMO, cardiopatías congénitas, presión de pulso y el bicarbonato sérico bajo fueron factores de riesgo asociados con la mortalidad. La edad más joven, menor peso, miocarditis aguda, trasplante de corazón, taquicardia o fibrilación ventricular refractaria, presión arterial diastólica elevada y presión inspiratoria pico más baja fueron protectores, creando una herramienta que predice la mortalidad de pacientes con choque cardiogénico refractario a tratamiento en 5 categorías correlacionado con la supervivencia post ECMO (ECMO SAVE Score) (Tabla 5).

Indicaciones ECMO VA

- Paro cardíaco (RCP Extracorpóreo o ECPR).
- Choque cardiogénico en el contexto de:

- Síndrome coronario agudo.
- Insuficiencia cardiaca aguda.
- Falla ventricular derecha aguda debido a embolismo pulmonar.
- Falla ventricular derecha durante el uso de dispositivos de asistencia ventricular izquierda.
- Postcardiotomía incapaz de la salida del bypass

- cardiopulmonar.
- Falla primaria de injerto tras trasplante cardiaco.
- Miocarditis.
- Arritmias ventriculares refractarias.
- Hipotermia severa (< 28 °C) con inestabilidad hemodinámica.
- Miocardiopatía séptica.

Tabla 5. SAVE Score

Parámetros	Score	
Diagnóstico		
- Miocarditis	3	
- FV o TV refractaria	2	
- Falla de injerto post trasplante cardiaco o pulmonar		
- Cardiopatías congénitas	3	
- Otros diagnósticos	-3	
	0	
Edad (años)		
- 18-38	7	
- 39-52	4	
- 53-62	3	
- > 63	0	
Peso (Kg)		
- < 65	1	
- 65-89	2	
- >90	0	
Falla orgánica aguda preECMO		
- Falla hepática	-3	
- Disfunción del SNC	-3	
- Falla renal	-3	
- Enfermedad renal crónica (TFG < 60 ml.min.1,73 m ² por > 3 meses)	-6	
Duración de intubado preECMO (horas)		
- < 10	0	
- 11-29	-2	
- > 30	-4	
Presión inspiratoria pico < 20 cmH ₂ O	3	
Paro cardiaco preECMO	-2	
Presión sanguínea diastólica preECMO > 40 mmHg	3	
HCO ₃ preECMO < 15 mmol/L	-3	
Valor constante para agregar a todos los cálculos	-6	
Total	-35 a 17	
Clasificación hospitalaria de supervivencia (SAVE Score)	Clase	Supervivencia
> 5	I	75
1 a 5	II	58
-4 a 0	III	42
-9 a -5	IV	30
< -10	V	18

Schmidt y cols[54]

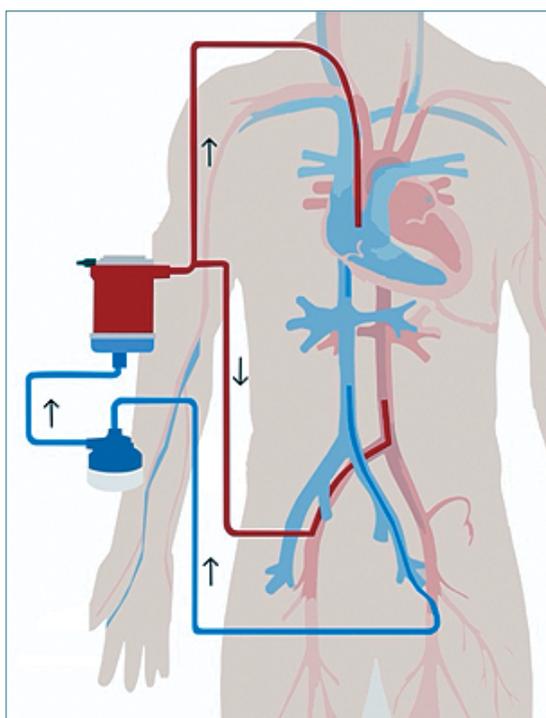


Figura 3. ECMO veno-arterio-venoso (hibrido).

- Intoxicación por drogas cardio tóxicas.

Contraindicaciones ECMO VA

- **Relativas**
 - Edad avanzada
 - Coagulopatía severa o contraindicación a la anticoagulación (incluyendo enfermedad hepática avanzada).
 - Acceso vascular limitado (obesidad extrema, extremidades amputadas).
- **Absolutas**
 - Paro cardíaco no presenciado.
 - Insuficiencia aórtica severa.
 - Falla multiorgánica severa e irreversible.
 - Lesión cerebral severa irreversible.
 - Enfermedad maligna diseminada.
 - Disección aórtica.
 - Enfermedad arterial periférica (para canulación periférica).
 - Baja probabilidad de recuperación miocárdica (excepto pacientes candidatos a trasplante cardíaco o soporte mecánico circulatorio duradero).

Complicaciones

La ausencia de ensayos controlados aleatorizados en México hace difícil determinar la prevalencia e incidencia de complicaciones de ECMO VA, a nivel internacional se han reportado una amplia gama de complicaciones; Keebler y cols., reportan hasta 20%-30% de complicaciones vasculares, prevaleciendo la isquemia de extremidades en 40% seguido de hipermia en 20%. Masuzawa[73] describió una incidencia de 5 a 18% de hemólisis en pacientes con dispo-

Tabla 6. Mortalidad y supervivencia de estudios internacionales de ECMO VA

Referencia	Tipo de estudio	Población	Resultados
Xie[68] y cols 2015 (CC)	Metaanálisis	n = 1.199 (22 estudios), CC o PC	Mortalidad Hospitalaria: 60% (95% IC: 53%-66%) Supervivencia: 3 meses 56%, 1 año 54% Supervivencia a 1 año CC 53% vs PR 36%
Cheng[69] y cols 2014 (Miocarditis)	Metaanálisis	n = 170 pacientes con miocarditis	Mortalidad hospitalaria: 33% (95% IC: 26%-41%)
Batra[70] y cols 2016	Cohorte retrospectiva	n = 1.286 con soporte ECMO VA en Nueva York	Mortalidad Hospitalaria: 54% Supervivencia: 1 mes 48%, 1 año 38%
Aso[71] y cols 2016	Cohorte retrospectiva	n = 5.263 con soporte ECMO VA en Japón	Mortalidad: 73% (choque 74%, embolismo pulmonar 64%)
D'Alessandro[72] y cols. 2010 (Trasplante cardíaco)	Cohorte retrospectiva	n = 54 pacientes con falla aguda del injerto por cualquier causa	Mortalidad: 50% Supervivencia: 1 año 73%

CC: Choque cardiogénico; PR: Paro cardíaco; IC: Intervalo de confianza.

tivo de asistencia ventricular adaptando una bomba de sangre centrífuga suspendida magnéticamente con un motor auto portable; la hemoglobina libre de plasma > 100 mg/L (indicador de hemólisis) se elevó hasta en 67% de los casos asociándose a un mayor riesgo de mortalidad (32%). Respecto a complicaciones renales; la insuficiencia renal aguda es reportada con una incidencia del 33% al 55,6%, sin diferencia significativa respecto al tipo de canulación, la prevalencia de hemodiálisis post ECMO VA es reportada entre 28% y 52%[74],[75]. Los resultados en la prevalencia de sangrado y hemorragia son muy variables en la literatura internacional por no haber una estandarización de definiciones, 10 eventos por cada 100 días de ECMO, los sitios más comunes son tórax, sitio de cánulas y tracto gastrointestinal[76]. Una manifestación interesante observada en el estudio The ENCOURAGE fue la presencia síndrome de respuesta inflamatoria sistémica hasta en 30% de los casos después de la decanulación asociado a factores de riesgo como edad > 60 años, mayor duración de ECMO e infección[77],[78]. La prevalencia de infección sanguínea va del 3% al 18% e incidencia de 2,98 a 20,55 episodios por 1.000 días de ECMO en adultos; la incidencia de infecciones del tracto respiratorio inferior se informa en 24,4 episodios por 1.000 días de ECMO y la prevalencia de infecciones del tracto urinario se reporta entre 1% y 2%, con una incidencia de 1 a 13,8 casos por 1.000 días de ECMO.

ECMO en México

En México, el uso y desarrollo de ECMO ha sido mermado, debido a la escasez de recursos y falta organización estructural en el Sector Salud. Diferentes autores mexicanos como Careaga[54] y cols., han desarrollado reporte de casos con resultados satisfactorios. León Ramírez[55] empleo ECMO VA como terapia puente para trasplante cardiaco en un masculino de 62 años de edad, con antecedente de enfermedad de Chagas con fallo ventricular severo y con evolución satisfactoria postquirúrgico. Garza[56] y cols., reportaron el primer manejo exitoso de hernia diafragmática congénita con ECMO VV de un paciente masculino de 37,5 semanas de gestación. No existen por el momento en nuestro país grandes estudios controlados y aleatorizados que reflejen de manera verídica los números de ECMO en función a sus resultados, indicaciones, complicaciones y mortalidad. ECMO VV y VA son usados para tratamiento de falla respiratoria aguda con la diferencia de que el segundo puede proveer soporte circulatorio completo.

La Utilidad del ECMO veno-arterial en el manejo posquirúrgico del choque cardiogénico refractario en enfermedad aórtica compleja de una paciente femenina de 38 años con Síndrome de Marfan fue descrito por Rodríguez-Hernández y cols., en 2018, dos años después de su egreso la paciente se reportó en fase III de rehabilitación cardiaca y clase funcional I, FEVI 56%, cavidades cardiacas sin dilatación, movilidad global y segmentaria en reposo normal y prótesis aortica funcional.

ECMO es una terapia que se ha usado con mayor o menor éxito, desde hace varios años por diferentes grupos siendo pionero en esta, el Dr. Rene Gómez del grupo de Monterrey (Centro ELSO 321), actualmente es el vicepresidente de ELSO LATAM y que se ha encargado de impulsar el uso correcto de esta tecnología por medio de cursos que actualmente son de gran relevancia en el país. La incorporación de nuevas maquinas, cánulas, técnicas de canulación y la organización de grupos multidisciplinarios que usan este tipo de dispositivos de forma mas o menos rutinaria es relativamente reciente.

La utilización de este tipo de equipo, demanda una preparación sumamente puntual y compleja, muchos de los grupos que en México están desarrollando este tipo de terapia han asistido a cursos presenciales en otros países en Europa, Estados Unidos, Canadá, Latinoamérica, etc., quienes, por el tipo de sistema de salud, han logrado desarrollar un nivel de experiencia mucho mayor al de nuestro país.

Una vez que un grupo de médicos, habitualmente cirujanos vasculares o cardiovasculares, anestesiólogos cardiovasculares, intensivistas, cardiólogos, neumólogos, perfusionistas, enfermeras, paramédicos, etc., se han capacitado en algún centro con experiencia, viene la parte de desarrollar la experiencia propia, tratar de cometer la menor cantidad de errores durante el proceso y poder ofrecer la mejor calidad de atención al paciente mas críticamente enfermo que existe en el hospital. Hay muchas guías y sugerencias para desarrollar un "ECMO team" y un programa de atención de pacientes críticos con ECMO, sin embargo, todas ellas deben adaptarse a la realidad y a los recursos con que se cuenta en cada hospital, tanto recursos materiales como humanos, solo en ese momento va a poder iniciarse la canulación y entrada en ECMO del primer paciente de cada hospital. Sin duda es una de las experiencias mas increíbles el poder tener a un paciente sin función respiratoria y/o cardiaca y poder mantenerlo vivo mientras esperamos que el problema que lo llevo a dicha disfunción mejore y logremos retirar este dispositivo lo mas rápido posible o bien se pueda llevar con éxito a un trasplante

cardiaco o pulmonar. Conforme la cantidad de pacientes atendidos se incrementa, la experiencia y la sistematización de muchos procesos va mejorando y se obtienen mejores resultados, a continuación, sigue la preparación de mas personal intrahospitalario que esta en contacto con este tipo de pacientes, transmitir la experiencia propia y tratar de involucrar a mas personas de diferentes áreas sin duda es una tarea muy difícil pero que después de un tiempo es imprescindible y da resultados fenomenales. Nadie que este en contacto con un paciente en ECMO puede estar sin haberse preparado ya sea con el grupo institucional o en cursos ajenos al hospital.

Después del ensayo CESAR (soporte ventilatorio convencional versus oxigenación por membrana extracorpórea para pacientes con SIRA severo), en el que ECMO parecía ser superior al ventilador en la población adulta, generó que aumentara su uso en el mundo y en México. En el hospital de Cardiología del Centro Medico Nacional siglo XXI (Centro ELSO 673), se inició esta terapia en el año 2012, bajo la dirección del Dr. Moisés Calderón, durante cerca de 5 años se colocaron alrededor de 43 casos, la mayoría de tipo veno - arterial en choque postcardiotomía con resultados negativos al inicio. En 2015, Meza y cols., reseñaron en una carta científica el uso de ECMO VA en un paciente masculino de 33 años con diagnóstico de hipertensión pulmonar tromboembólica crónica con fallo del ventrículo derecho operado de tromboendarterectomía pulmonar con efectos benéficos, fue hasta el año 2017 cuando el programa a cargo del Dr. Carlos Riera Kinkel toma un giro completo, se establecen protocolos, se entrena a todo el equipo medico y paramédico, se establece un programa de educación continua para médicos y enfermeras, se inicia la formación de un ECMO team, con ello los resultados mejoraron considerablemente, se colocaron cerca de 40 casos en ECMO con una sobrevida de 52,7%, se comenzó a variar el diagnostico de utilización en la cual se utilizaba ecmo en falla respiratoria, falla cardiaca por miocarditis y miocardiopatía dilatada, por isquemia y choque postcardiotomia, se realizaron también los primeros 3 casos de ECMO móviles registrados en una institución publica. Se colocaron estos dispositivos tanto en adultos como en pacientes pediátricos. Sin duda fue un parteaguas para el desarrollo de equipo multidisciplinario, se realizaron incluso soportes simultáneos con ECMO, hasta 4 en una ocasión, se adquirieron mas consolas de ECMO de diferentes marcas, lo cual permitió al grupo mantenerse a la vanguardia mundial.

A la par, parte del grupo del Hospital de Cardiología se unió a grupos en instituciones privadas que

brindan terapia ECMO como en el Hospital Centro Medico ABC (Centro ELSO 778), donde gracias a esta experiencia desarrollada en el Hospital de Cardiología hoy el grupo privado ABC ha tenido mejores resultados en la sobrevida de sus casos conectados a ECMO al trabajar de la mano con nuestro grupo.

Actualmente, en México existen diferentes grupos con mayor o menor experiencia en el uso de este tipo de tecnología y los resultados cada vez mas cercanos a los reportados internacionalmente, nuestro grupo se ha desarrollado en uno de los principales hospitales de atención de patologías cardiacas en México, la unidad medica de alta especialidad de cardiología, en Centro Médico Nacional siglo XXI, dado que es un hospital de concentración, la cantidad y complejidad de pacientes que se atienden suele ser muy alta, normalmente podemos tener incluso mas de 10 cirugías cardiacas al día en pacientes con diferentes comorbilidades mas o menos criticas y que dependiendo del tipo de cirugía al que se exponen pueden llegar a requerir algún tipo de soporte circulatorio.

En Guadalajara, México se formo a mediados de 2015 (Centro ELSO 742), un grupo multidisciplinario con la integración de líderes en el campo de los cuidados críticos cardiovasculares y de la terapia intensiva, entrenados mayormente en las escuelas europeas de más experiencia (Alemania, Francia, España e Italia) así como en importantes centros de Estados Unidos. Actualmente, han expandido su presencia a la ciudad de Chihuahua, con la adhesión de un equipo de intensivistas líderes, además de lograr alianzas estratégicas con grupos en las ciudades de Puebla, León, Tijuana, Ciudad Juárez, Tijuana entre otras. Al ser un grupo integrado por médicos que laboran en el medio privado cuentan con gran experiencia en la optimización de recursos en sus casos al realizar alianzas con las principales compañías de seguros nacionales e internacionales que den la cobertura suficiente durante la terapia de nuestros pacientes. Al igual que otros grupos en el país, como es mandatorio, el grupo de Guadalajara participa activamente en la capacitación continua del personal médico y paramédico de los centros ELSO a su cargo, así como en múltiples congresos nacionales e internacionales, compartiendo experiencias con otros lideres de distintas latitudes y enriqueciendo a la vez nuestro acervo clínico y académico. Así, el grupo de Guadalajara participa en el trabajo de la asistencia extracorpórea con altos estándares de calidad siempre dispuestos a colaborar con los diferentes grupos que formamos esta gran familia dedicada a la asistencia circulatoria y respiratoria extracorpórea.

El crecimiento de esta terapia en México cada vez

es mayor, tenemos la fortuna de contar con grupos de médicos con mucho interés en incorporar esta terapia a su armamento para el tratamiento de pacientes críticos, la forma en que esto puede desarrollarse y que va a atenuar el riesgo de exponer al paciente a la curva de aprendizaje de cada grupo, es apoyarse en grupos que ya tienen cierto grado de experiencia con el uso de esta tecnología para ir afinando detalles y resolviendo las eventualidades inesperadas que vienen con su uso. De esta manera, los resultados van a ser cada vez mejores y se hará más cotidiano el uso de este tipo de dispositivos en diferentes escenarios en el país, esta es una metodología comprobada por nuestro grupo que tuvo la oportunidad de colaborar con un grupo nuevo en otro estado del país y se pudo sacar adelante a un paciente con hemorragia alveolar que requirió soporte con ECMO VV, ambos grupos trabajamos en estrecha comunicación y colaboración logrando colocar, mantener y destetar con éxito al paciente tras más de dos semanas de tratamiento.

La sistematización del uso de esta terapia en México aun es un tema pendiente, poder ajustar e incorporar las guías y recomendaciones internacionales a nuestra realidad y al sistema de salud tanto privado como público sin duda es un gran reto pero con la colaboración de los diferentes grupos del país, se podrá ir delineando cada vez más, la sistematización de los procesos, generación de evidencia científica de nuestra población y guías propias que lleven a un uso más

eficiente de dispositivos en nuestro país, poder tener cada vez mejores resultados para el paciente más crítico que puede haber en un hospital.

Conclusiones

En la actualidad, el auge tecnológico de los dispositivos biomédicos en el campo de ECMO VA y VV, ha tenido un gran impacto en la sobrevivencia de los pacientes críticamente enfermos y su manejo. El progreso de esta terapéutica en nuestro país se ha visto presionado por cuestiones económicas, dado que sigue siendo una terapia de alto costo y por políticas de salud pública, que limitan la expansión de uso de este tipo de terapia, en el sistema de salud privado en México, aun los seguros de gastos médicos, suelen tener mucha resistencia a la cobertura de esta tecnología. Resulta vital la investigación, crecimiento y desarrollo de evidencia científica mexicana, para ofrecerle a nuestros pacientes una alternativa de tratamiento y esperanza de vida. El ECMO es una terapia de uso habitual para pacientes con falla cardiovascular o respiratoria grave, utilizada mayormente en Norteamérica y Europa, sin embargo, en México es relativamente nueva, con muy pocos centros especializados y muy poco personal de salud entrenado al respecto, por lo que la unificación de criterios y sistematización de procesos, comienza a ser parte de un futuro prometedor.

Referencias

1. MaLaren G, Combes A, Bartlett RH. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory failure: life support in the new era. *Intensive Care Med* 2012; 38:210-20. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2439-2>
2. Shekar K, Mullany DV, Thomson B, et al. Extracorporeal life support devices and strategies for management of acute cardiorespiratory failure in adult patients: a comprehensive review. *Crit Care* 2014; 18:219. <https://doi.org/10.1186/cc13865>
3. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicenter randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 374:1351-63. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61069-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2)
4. Cooper DS, Jacobs JP, Moore L, et al. Cardiac extracorporeal life support: state of the art in 2007. *Cardiol Young* 2007;17 Suppl 2:104-15. <https://doi.org/10.1017/S1047951107001217>
5. Marasco SF, Esmore DS, Negri J, et al. Early institution of mechanical support improves outcomes in primary cardiac allograft failure. *J Heart Lung Transplant* 2005; 24:2037-42. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2005.06.007>
6. Acker MA. Mechanical circulatory support for patients with acute fulminant myocarditis. *Ann Thorac Surg* 2001;71: S73-6; discussion S82-5. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(00\)02628-X](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(00)02628-X)
7. Clark JB, Pauliks LB, Myers JL, et al. Mechanical circulatory support for end-stage heart failure in repaired and palliated congenital heart disease. *Curr Cardiol Rev* 2011; 7:102-9. <https://doi.org/10.2174/157340311797484222>
8. Rinieri P, Peillon C, Bessou JP, et al. National review of use of

- extracorporeal membrane oxygenation as respiratory support in thoracic surgery excluding lung transplantation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2015; 47:87-94. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu127>
9. McFadden PM, Greene CL. The evolution of intraoperative support in lung transplantation: Cardiopulmonary bypass to extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2015; 149:1158-60. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.12.020>
 10. Gulack BC, Hirji SA, Hartwig MG. Bridge to lung transplantation and rescue post-transplant: the expanding role of extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Dis* 2014; 6:1070-9.
 11. Bermudez CA, Shiose A, Esper SA, et al. Outcomes of intraoperative venoarterial extracorporeal membrane oxygenation versus cardiopulmonary bypass during lung transplantation. *Ann Thorac Surg* 2014; 98:1936-42; discussion 1942-3. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2014.06.072>
 12. Pham T, Combes A, Rozé H, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pandemic influenza A(H1N1)-induced acute respiratory distress syndrome: a cohort study and propensity-matched analysis. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 187:276-85. <https://doi.org/10.1164/rccm.201205-0815OC>
 13. Combes A, Leprince P, Luyt CE, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med* 2008; 36:1404-11. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31816f7cf7>
 14. Bréchoi N, Luyt CE, Schmidt M, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support for refractory cardiovascular dysfunction during severe bacterial septic shock. *Crit Care Med* 2013; 41:1616-26. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a2370>
 15. Fraser JF, Shekar K, Diab S, et al. ECMO - the clinician's view. *ISBT Sci Ser* 2012; 7:82-8. <https://doi.org/10.1111/j.1751-2824.2012.01560.x>
 16. Kolff WJ, Berk HT, ter Welle M, et al. The artificial kidney: a dialyser with a great area. 1944. *J Am Soc Nephrol* 1997; 8:1959-65.
 17. Gibbon JH Jr. Application of a mechanical heart and lung-mapparatous to cardiac surgery. *Minn Med* 1954; 37:171-85; passim.
 18. Rashkind WJ, Freeman A, Klein D, et al. Evaluation of a disposable plastic, low volume, pumpless oxygenator as a lung substitute. *J Pediatr* 1965; 66:94-102. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(65\)80342-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(65)80342-0)
 19. Dorson W Jr, Baker E, Cohen ML, et al. A perfusion system for infants. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1969; 15:155-60. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)65613-5](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(10)65613-5)
 20. Baffes TG, Fridman JL, Bicoff JP, et al. Extracorporeal circulation for support of palliative cardiac surgery in infants. *Ann Thorac Surg* 1970; 10:354-63. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)65613-5](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(10)65613-5)
 21. Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med* 1972; 286:629-34. <https://doi.org/10.1056/NEJM197203232861204>
 22. Zapol WM, Kitz RJ (1972) Buying time with artificial lungs. *N Engl J Med* 286:657-658. <https://doi.org/10.1056/NEJM197203232861210>
 23. Kolobow T, Gattinoni L, Tomlinson T, et al. The carbon dioxide membrane lung (CDML): a new concept. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1977; 23:17-21. <https://doi.org/10.1097/00002480-197700230-00005>
 24. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Jefferies MR, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cardiopulmonary support in infancy. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1976; 22:80-93
 25. Morris AH, Wallace CJ, Menlove RL, et al. Randomized clinical trial of pressure-controlled inverse ratio ventilation and extracorporeal CO2 removal for adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 149:295-305. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.149.2.8306022>
 26. Lewandowski K, Rossaint R, Pappert D, et al. High survival rate in 122 ARDS patients managed according to a clinical algorithm including extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med* 1997; 23:819-35. <https://doi.org/10.1007/s001340050418>
 27. Kolla S, Awad SS, Rich PB, et al. Extracorporeal life support for 100 adult patients with severe respiratory failure. *Ann Surg* 1997; 226:544-64; discussion 565-6. <https://doi.org/10.1097/00000658-199710000-00015>
 28. Bartlett RH, Roloff DW, Custer JR, et al. Extracorporeal life support: The University of Michigan experience. *JAMA* 2000; 283:904-8. <https://doi.org/10.1001/jama.283.7.904>
 29. Combes A, Hajage D, Capellier G, Demoule A, Lavoue S, Guerville C, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med* 2018; 378:1965-75. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1712359>

- org/10.1056/NEJMoa1800385
30. Ashbaugh DG, Bigelow DB, Petty TL, Levine BE. Acute respiratory distress in adults. *Lancet* 1967; 2:319-23. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(67\)90168-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(67)90168-7)
 31. Ware LB, Matthay MA. The acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000; 342:1334-49. <https://doi.org/10.1056/NEJM200005043421806>
 32. Bernard, G.R.; Artigas, A.; Brigham, K.L.; Carlet, J.; Falke, K.; Hudson, L.; Lamy, M.; Legall, J.R.; Morris, A.; Spragg, R. The american-european consensus conference on ards.
 33. Munshi L, Telesnicki T, Walkey A, et al. Extracorporeal life support for acute respiratory failure. A systematic review and metaanalysis. *Annals ATS* 2014; 11:802-10. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201401-012OC>
 34. Zampieri FG, Mendes PV, Ranzani OT, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe respiratory failure in adult patients: a systematic review and metaanalysis of current evidence. *J Crit Care* 2013; 28: 998-1005. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2013.07.047>
 35. Davies A, Jones D, Bailey M, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for 2009 influenza A(H1N1) acute respiratory distress syndrome. *JAMA* 2009; 302:1888-95. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.1535>
 36. Noah MA, Peek GJ, Finney SJ, et al. Referral to an extracorporeal membrane oxygenation center and mortality among patients with severe 2009 influenza A (H1N1). *JAMA* 2011; 306:1659-68. <https://doi.org/10.1001/jama.2011.1471>
 37. Pham T, Combes A, Roze H, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pandemic influenza A (H1N1)-induced acute respiratory: a cohort study and propensity-matched analysis. *Am J Resp Crit Care Med* 2013; 187: 276-85. <https://doi.org/10.1164/rccm.201205-0815OC>
 38. Sameed M, Meng Z, Marciniak ET. EOLIA trial: the future of extracorporeal membrane oxygenation in acute respiratory distress syndrome therapy? *Breathe* 2019; 15: 244-246. <https://doi.org/10.1183/20734735.0363-2018>
 39. Griffiths MJD, McAuley DF, Perkins GD, et al. Guidelines on the management of acute respiratory distress syndrome. *BMJ Open Resp Res* 2019; 6: e000420. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2019-000420>
 40. Fan E, Gattinoni L, Combes A, Schmidt M, Peek G, Brodie D, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory failure. *Intensive Care Med* (2016) 42:712-724. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4314-7>
 41. Barbaro RP, Odetola FO, Kidwell KM et al (2015) Association of hospital-level volume of extracorporeal membrane oxygenation cases and mortality. Analysis of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Am J Respir Crit Care Med* 191:894-901. <https://doi.org/10.1164/rccm.201409-1634OC>
 42. Combes A, Brodie D, Bartlett R et al (2014) Position paper for the organization of extracorporeal membrane oxygenation programs for acute respiratory failure in adult patients. *Am J Respir Crit Care Med* 190:488-496. <https://doi.org/10.1164/rccm.201404-0630CP>
 43. Rastan AJ, Lachmann N, Walther T et al (2006) Autopsy findings in patients on postcardiotomy extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Int J Artif Organs* 29:1121-1131. <https://doi.org/10.1177/039139880602901205>
 44. Combes A, Leprince P, Luyt C-E et al (2008) Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med* 36:1404-1411. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31816f7cf7>
 45. Cooper E, Burns J, Retter A et al (2015) Prevalence of venous thrombosis following venovenous extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe respiratory failure. *Crit Care Med* 43: e581-e584. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001277>
 46. Lubnow M, Philipp A, Foltan M et al (2014) Technical complications during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation and their relevance predicting a system-exchange-retrospective analysis of 265 cases. *PLoS One* 9: e112316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112316>
 47. Müller T, Lubnow M, Philipp A et al (2011) Risk of circuit infection in septic patients on extracorporeal membrane oxygenation: a preliminary study. *Artif Organs* 35: E84-E90. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2010.01185.x>
 48. Glick D, Dzierba AL, Abrams D et al (2015) Clinically suspected heparin induced thrombocytopenia during extracorporeal membrane oxygenation. *J Crit Care* 30:1190-1194. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.07.030>
 49. Pan KC, McKenzie DP, Pellegrino V et al (2015) The meaning of a high plasma free haemoglobin: retrospective review of the prevalence of haemolysis and circuit thrombosis in an adult ECMO centre over 5 years. *Perfusion*. <https://doi.org/10.1177/039139880602901205>

- rg/10.1177/0267659115595282
50. Weingart C, Lubnow M, Philipp A et al (2015) Comparison of coagulation parameters, anticoagulation, and need for transfusion in patients on interventional lung assist or veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *Artif Organs* 39:765-773. <https://doi.org/10.1111/aor.12464>
 51. Mary E. Keebler, Elias V. Haddad, Chun W. Choi, Stuart McGrane. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Cardiogenic Shock. *JACC: Heart failure*. American College of cardiology foundation. 2018; 6: 503-516. <https://doi.org/10.1016/j.jchf.2017.11.017>
 52. Batra J, Toyoda N, Goldstone AB, Itagaki S, Egorova NN, Chikwe J. Extracorporeal membrane oxygenation in New York State: trends, outcomes, and implications for patient selection. *Circ Heart Fail* 2016;9: e003179. <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.116.003179>
 53. Gerke AK, Tang F, Cavanaugh JE, Doerschug KC, Polgreen PM. Increased trend in extracorporeal membrane oxygenation use by adults in the United States since 2007. *BMC Res Notes* 2015;8: 686. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1678-7>
 54. Careaga Reyna Guillermo, Carlos Alberto Lezama Urtecho, Violeta Denice Valencia Santoyo, Jaime Zaldívar Cervera. Oxigenación extracorpórea con membrana (ECMO), en una paciente con insuficiencia respiratoria aguda por influenza A. *Neumología y cirugía de Torax*. 2009; 68;3.
 55. León-Ramírez, Santiago López J. Oxigenación por membrana extracorpórea como puente para trasplante cardíaco por miocardiopatía chagásica. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*. 2018;6; 429-433.
 56. Garza-Serna U, Gómez-Gutiérrez R, Quezada-Valenzuela G, Cárdenas-Del Castillo B, Contreras-Cepeda V, Chávez-García E, Nieto-Sanjuanero A. Manejo exitoso de hernia diafragmática congénita con ECMO. Primer reporte de caso en México. *Acta Pediatr Mex*. 2017;6: 378-385. <https://doi.org/10.18233/APM-38No6pp378-3851505>
 57. Luis Raúl Meza-López, Luis Efrén Santos-Martínez, Víctor Manuel Lozano-Torres, Rutilio Daniel Jiménez-Espinosa, Jesús Zain Campos-Larios. Uso de oxigenador de membrana extracorpórea venoarterial en un paciente con fallo del ventrículo derecho operado de tromboendarterectomía pulmonar. *Carta científica* (2015). <https://doi.org/10.1016/j.acmx.2014.11.001>
 58. Alejandra Rodríguez-Hernández, Carlos Adán-Brito, Gustavo Rojas-Velasco, Francisco Martín Baranda-Tovar. Utilidad del ECMO veno-arterial en el manejo posquirúrgico del choque cardiogénico refractario en enfermedad aórtica compleja. *Archivo Cardiol Mex*. 2018; 88: 321-325. <https://doi.org/10.1016/j.acmx.2017.07.001>
 59. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al., CESA trial collaboration. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2009;374: 1351-63. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61069-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2)
 60. Maya Guglin, Mark J. Zucker, Vanessa M. Bazan. Venoarterial ECMO for Adults. *JAAC: Scientific expert panel*. 2019: 6.
 61. Silveti S, Koster A, Pappalardo F. Do we need heparin coating for extracorporeal membrane oxygenation? New concepts and controversial positions about coating surfaces of extracorporeal circuits. *Artif Organs* 2015; 39:176-9. <https://doi.org/10.1111/aor.12335>
 62. Jaski BE, Ortiz B, Alla KR, et al. A 20-year experience with urgent percutaneous cardiopulmonary bypass for salvage of potential survivors of refractory cardiovascular collapse. *Eur J Heart Fail* 2017;19 Suppl 2:84-91. <https://doi.org/10.1002/ejhf.850>
 63. Meani P, Gelsomino S, Natour E, et al. Modalities and effects of left ventricle unloading on extracorporeal life support: a review of the current literature. *Eur J Heart Fail* 2017;19 Suppl 2:84-91. <https://doi.org/10.1002/ejhf.850>
 64. Chen H, Yu RG, Yin NN, Zhou JX. Combination of extracorporeal membrane oxygenation and continuous renal replacement therapy in critically ill patients: a systematic review. *Crit Care* 2014;18: 675. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0675-x>
 65. Dzierba AL, Abrams D, Brodie D. Medicating patients during extracorporeal membrane oxygenation: the evidence is building. *Crit Care* 2017; 21:66. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1644-y>
 66. Sorokin V, MacLaren G, Vidanapathirana PC, Delnoij T, Lorusso R. Choosing the appropriate configuration and cannulation strategies for extracorporeal membrane oxygenation: the potential dynamic process of organ support and importance of hybrid modes. *Eur J Heart Fail* 2017; 19 Suppl 2:75-83. <https://doi.org/10.1002/ejhf.849>
 67. Schmidt M, Burrell A, Roberts L, et al. Predicting survival after ECMO for refractory cardiogenic shock: the survival after venoarterial-ECMO (SAVE)-score.

- Eur Heart J 2015; 36:2246-56. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv194>
68. Xie A, Phan K, Tsai YC, Yan TD, Forrest P. Venous arterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2015; 29:637-45. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2014.09.005>
69. Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M, Patel J. Clinical outcomes in fulminant myocarditis requiring extracorporeal membrane oxygenation: a weighted meta-analysis of 170 patients. *J Card Fail.* 2014;20(6):400-6. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2014.03.005>
70. Batra J, Toyoda N, Goldstone AB, Itagaki S. Extracorporeal Membrane Oxygenation in New York State: Trends, Outcomes, and Implications for Patient Selection. *Circ Heart Fail.* 2016;9(12). <https://doi.org/10.1161/CIR-CHEARTFAILURE.116.003179>
71. Shotaro Aso, Hiroki M. Kiyohide F. Hideo Y. In-hospital mortality and successful weaning from venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: analysis of 5,263 patients using a national inpatient database in Japan. *Critical Care* volume 2016; 20: 80. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1261-1>
72. D'Alessandro C, Aubert S, Gormard JL, Prashker BL, Luyt CE, Pavie A, Gandjbakhch I, Leprince P. Extra-corporeal membrane oxygenation temporary support for early graft failure after cardiac transplantation. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2010;37(2):343-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2009.05.034>
73. Masuzawa T, Onuma H, Kim SJ, Okada Y. Magnetically suspended centrifugal blood pump with a self-bearing motor. *ASAIO J* 2002;48: 437-42. <https://doi.org/10.1097/00002480-200207000-00019>
74. Sanfilippo F, Asmussen S, Maybauer DM, et al. Bivalirudin for alternative anticoagulation in extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review. *J Intens Care Med* 2017; 32:312-9. <https://doi.org/10.1177/0885066616656333>
75. Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, et al. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J* 2017; 63:60-7. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000475>
76. Johnson NJ, Acker M, Hsu CH, et al. Extracorporeal life support as rescue strategy for out-of-hospital and emergency department cardiac arrest. *Resuscitation* 2014; 85:1527-32. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.08.028>
77. Muller G, Flecher E, Lebreton G, et al. The ENCOURAGE mortality risk score and analysis of long-term outcomes after VA-ECMO for acute myocardial infarction with cardiogenic shock. *Intens Care Med* 2016; 42:370-8. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4223-9>
78. Bartlett RH. John H Gibbon Jr Lecture. Extracorporeal life support: Gibbon fulfilled. *J Am Coll Surg* 2014; 218:317-27. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2013.12.002>