

# Fallo progresivo en la transferencia de gases de un oxigenador: interposición de una nueva membrana en serie

## RESUMEN / ABSTRACT

**Introducción:** La elevación del gradiente transmembrana/fallo del oxigenador es un problema frecuente, que en muchas ocasiones pasa inadvertido si no se mide la presión premembrana. También es cierto que la incidencia de cambio de oxigenador por fallo en la transferencia de gases es muy baja.

**Caso clínico:** Mujer de 58 años con trombosis sobre prótesis mitral mecánica en shock cardiogénico con ventilación mecánica que se decide intervención urgente para recambio de prótesis. Se estableció circulación extracorpórea a 34° con bomba centrífuga y oxigenador Terumo FX 15® y TCA de 662 sg. En los primeros controles analíticos se observó una PO<sub>2</sub> baja sin ser llamativa con una discordancia de datos entre CDI500® y Spectrum M4®. A los 75' ya se corroboró un fallo en la transferencia de gases, haciendo las comprobaciones y maniobras para mejorarla. Tras no conseguirlo, se pensó en el cambio de oxigenador. Se valoró la situación y se decidió interponer una nueva membrana en serie entre la primera y el paciente. Se necesitó una parada circulatoria inferior a 1 minuto y un solo corte en la línea arterial. Hubo una mejora inmediata en los gases sanguíneos. Salida de CEC a los 170' con una asistencia posterior de 16'. Exitus en UCI a las dos horas del ingreso por fallo multiorgánico refractario a tratamiento.

**Discusión:** La interposición de una nueva membrana en serie puede ser una alternativa al cambio de oxigenador siempre que no exista un aumento del gradiente transmembrana.

**Palabras clave:** Fallo oxigenador, transferencia de gases, circulación extracorpórea.

**Introduction:** High transmembrane gradient / oxygenator failure is a frequent problem, which often pass unnoticed if the premembrane pressure is not measured. It is also true the incidence of change out of oxygenator due to failure in the transfer of gases is very low.

**Clinical case:** A 58-year-old woman with thrombosis on a mitral prothesis in cardiogenic shock with mechanical ventilation decided on emergent intervention to replacement. Cardiopulmonary Bypass was established at 34° with a centrifugal pump and Terumo FX 15® oxygenator and ACT of 662 sg. In the first blood gases a slightly low PO<sub>2</sub> was observed with a data discordance between CDI500® and Spectrum M4®. At 75 'a failure in the gas transfer was corroborated, making the checkings and maneuvers to improve it. It was not obtained, the oxygenator change out was considered. The situation was assessed and it was decided to interpose a new membrane between the first one and the patient. An arrest circulatory of less than 1 minute and a single cut in the arterial line was required. There was a rapid improvement in blood gases. The end-CPB was at 170 'with a later assistance of 16'. Two hours after admission the patient died in ICU due to multiorgan failure refractory to treatment.

**Key words:** oxygenator failure, gas tranfer, cardiopulmonary bypass.



Juan Carlos Santos Palomino  
Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga

Mariluz Recio Recio  
Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga

M<sup>a</sup> del Carmen Santos Palomino  
Perfusionista  
Hospital Universitario «Virgen de la Victoria» de Málaga

Antonio Cabrera López  
Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga

Rafael Cid Vivas  
Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga

Luisa María Romero Sánchez  
Grado en Enfermería

Claudia Moreno Rodríguez  
Grado en Enfermería

Correspondencia:  
Juan Carlos Santos Palomino  
Avenida Carlos Haya s/n  
29010 - MÁLAGA  
pscj17@hotmail.com

Recibido: febrero de 2018  
Aceptado: marzo de 2018

## INTRODUCCIÓN

Los eventos adversos menos deseados por los perfusionistas en la Circulación Extracorpórea (CEC) son los que se producen en la membrana. Los tres problemas principales que se pueden presentar en la membrana son la fuga de plasma/sangre, la rotura del intercambiador de calor y la elevación del gradiente transmembrana/fallo del oxigenador. Salvo que se esté cerca de la entrada o salida de CEC, el único recurso que cabe en los dos primeros es el cambio de la membrana. Sin embargo, en el último existen otras connotaciones. De hecho para llegar a ese diagnóstico es necesario medir la presión premembrana y postmembrana y así poder calcular la  $\Delta P$ , esto da la posibilidad de una detección precoz del problema y permite actuar de forma inmediata<sup>1</sup>. Si no se mide la presión premembrana, nunca se podrá hablar de elevación de gradiente y será la incapacidad para realizar un intercambio gaseoso adecuado lo que llevará a detectar el fallo de membrana. Aunque este problema casi siempre suele ocurrir a los inicios de la CEC<sup>2</sup>, en intervenciones largas también se pueden producir fallos en la membrana por llegar al límite máximo de uso que marcan los fabricantes ( $\pm 6$  horas)<sup>3</sup>.

La elevación del gradiente transmembrana es más frecuente de lo que se piensa, en una encuesta hecha en Francia en 2005, de los 57 centros que respondieron (86%) solo cuatro median la presión premembrana y de los dos que aportaron datos la incidencia fue de 1 cada 80 CEC<sup>4</sup>, la cual es parecida a estudios anteriores (Tabla I). Por contra, la incidencia de cambio de oxigenador por fallo en la transferencia de gases es mucho más baja, siendo incluso inferior debido al uso de superficies biocompatibles<sup>5</sup>.

## CASO CLÍNICO

Mujer de 58 años con trombosis sobre prótesis mitral de 155 cms de talla y un peso calculado de 80 kg con los siguientes antecedentes: alérgica a betalactámicos, intolerancia a codeína, salbutamol, terbutalina, quinolona y carbocisteína. Dislipemia, fumadora activa, asma bronquial/EPOC estadio II, fibrilación auricular paroxística. Cardiopatía reumática con estenosis mitral severa tratada con valvuloplastia percutánea en 1981 y 1993. Implantación de prótesis mitral mecánica en 2010. Accidente cerebral isquémico transitorio por hipocoagulación en 2016.

Acude 3 veces a urgencias en Hospital Comarcal en el transcurso de 5 días por disnea de reposo, aumento de edemas en MMII y disminución de la diuresis por lo que se aumentan diuréticos. Ingresa en Medicina Interna con tratamiento antiarrítmico, broncodilatador, depletivo, oxigenoterapia y antibioterapia. A las 24 horas ingresa en UCI por empeoramiento, que requirió tratamiento inotrópico y

ventilación mecánica. Tras realización de Ecocardiograma se objetivó trombosis de la prótesis mitral con bloqueo completo de un hemidisco. Se confirmó problemas con la anticoagulación con rango infraterapéutico en repetidas ocasiones y de forma continuada en los últimos tres meses. Se acepta traslado a UCI del Hospital Regional para posible intervención urgente y se inicia tras consenso tratamiento fibrinolítico con rTPA. Se traslada con diagnóstico de Insuficiencia cardíaca congestiva descompensada por trombosis de prótesis mitral en situación de shock cardiogénico, planteándose intervención urgente de recambio de prótesis mitral.

A la llegada a quirófano, la paciente presentaba temperatura nasofaríngea de 37,8°, la saturación de O<sub>2</sub> cerebral en el INVOS® estaba por debajo de 30 en ambos hemisferios, precisaba noradrenalina en perfusión a altas dosis para mantener una presión arterial adecuada, hipertensión pulmonar e insuficiencia renal aguda. Para la CEC se usó una bomba System 1® con mezclador de gases electrónico, bomba centrífuga, oxigenador Terumo FX15®, set de CEC con 3/8 en la línea venosa, hemoconcentrador, recuperador de sangre, drenaje venoso activo por vacío, cardioplejia hemática fría 4:1, monitorización neurológica con BIS®, aparte de la oximetría cerebral y para control de gases: CDI 500® (CDI), Spectrum M4® (M4) y gasometrías en Radiometer ABL90 Flex®.

La heparinización fue a 3 mg/kg y 50 mg en el cebado que estuvo compuesto además por Plasmalyte 148 al agua (500 ml), Manitol al 20% (200 ml), Voluven 6% (200 ml) y ácido tranexámico 1 gr. Se realizó cebado retrógrado autólogo de 500 ml. Entrada en CEC con hipotermia moderada a 34° con TCA previo de 662 sg.

A los 15' de CEC se realizó el primer control de gasometrías para ajuste de CDI y M4 (todos los datos se pueden ver en la tabla II), se observó una PO<sub>2</sub> baja pero sin ser llamativa, ya que el rango de trabajo se encuentra alrededor de 150 mmHg de PO<sub>2</sub>. Cerca del siguiente control había una discrepancia importante entre CDI y M4, mientras que el primero marcaba un PO<sub>2</sub> en torno a 100 mmHg, el segundo tenía un valor de 200. Al realizar unos gases a los 45', el CDI tenía los valores correctos, por lo que se volvió a ajustar el M4. Aunque había habido un aumento en la FiO<sub>2</sub> y el flujo de gas, tampoco fue llamativo. La tendencia continuó igual en la PO<sub>2</sub>, ambos sistemas de medición iban a alejándose, aunque la referencia fue el CDI para el manejo de los gases. Así que cerca del tercer control, a los 75', la FiO<sub>2</sub> era de 80% y el flujo de gas de 4 lpm y los resultados ya confirmaban que la membrana no estaba realizando bien el intercambio gaseoso. Como paso inicial se comprobó la integridad y el correcto funcionamiento de todo el sistema de gases: manómetros, vaporizador de Sevorane, caudalímetro, sensor M4 y las distintas conexiones. Así mismo, se retiró el filtro que se conecta a la salida de gases de la membrana para eliminar el

Sevorane expirado por si pudiera estar impidiendo un correcto flujo de aire. No había trombos visibles en la membrana.

Uno de los inconvenientes fue que no se tenía monitorizada la presión premembrana, por lo que no se podía averiguar si existía un aumento de la  $\Delta P$ , la presión postmembrana siempre había estado en torno a 180 mmHg. Se probó a parar el drenaje venoso activo por vacío, de forma empírica, aunque no hubo ningún cambio. Por lo que se inició la administración de Nitroprusiato sódico a 0,5  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ , incrementando progresivamente hasta 2,0  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ , sin ninguna repercusión en los parámetros analíticos pero con repercusión hemodinámica. Ya con una  $\text{FiO}_2$  de 100% y un flujo de gas de 5,5 lpm, no existía otra opción que plantearse un cambio de membrana puesto que el final de la cirugía aún estaba lejos. Por lo que se le comunicó al resto del equipo y se inició el descenso de la temperatura a 32°.

Normalmente estas situaciones suelen ocurrir en el peor de los escenarios, una intervención urgente, un sábado, así que solo había un perfusionista. No obstante, algo que se convirtió en una ventaja fue el uso de una bomba centrífuga. Al no disponer de la presión premembrana, una evaluación del flujo y las revoluciones permitió valorar que el gradiente no debía de estar muy elevado, ya que si hubiera sido así las revoluciones podían haber llegado al máximo y ser incapaz de mantener un flujo adecuado, cosa que no ocurrió en ningún momento. Por lo que se comprobó que existía un margen amplio en cuanto a flujo y revoluciones.

La primera opción que se pensó fue un cambio de oxigenador, pero podía resultar complicado. Buscando algo más simple, fácil y rápido, se pensó en intercalar una nueva membrana en serie entre la primera y el paciente. Se eligió la del Oxigenador Fusión®, ya que se puede colocar en su soporte sin necesidad de tener que poner el reservorio, lo que permitía situarla muy cerca del FX15® y en un entorno despejado para una fácil manipulación. A la salida de la membrana se colocó unos 20 cms de tubo de 3/8 pinzado y en el extremo un conector 3/8-3/8 con una salida lúer, con una línea de recirculación de 1/4 que llevaba al reservorio, al que también se conectó la línea de recirculación de la nueva membrana, ambas líneas permitirían un cebado y desburbujado seguro y rápido. La línea de gases se conectó a la nueva membrana. Y se puso el cronómetro en marcha.

Se pinzaron la línea venosa (una única pinza) y la línea arterial con dos pinzas separadas por unos 10 cms, se cortó con una tijera estéril, y se conectó la parte proximal a la entrada de la membrana, retirando la pinza, de forma que se inició el cebado de forma inmediata. A continuación se hizo lo mismo con el extremo distal, retirando la pinza entre la membrana y el conector, completando la purga de todo el sistema e iniciando de nuevo la CEC con la retirada de la pinza distal y el de la línea venosa, todo esto en una parada circulatoria inferior al minuto (Imagen 1).

Tras la estabilización, se realizó una nueva gasometría arterial que se extrajo del catéter radial de la paciente, los resultados indicaron un intercambio de gases normal (Tabla I). La presión medida entre ambas membranas era de 270 mmHg y seguía existiendo margen tanto en las revoluciones de la centrífuga como en el flujo arterial. Posteriormente se consiguió hacer pasar la sangre arterial por el CDI de nuevo, para poder obtener información de los gases en línea, no existiendo ninguna incidencia más. Se despinzó aorta a los 140' y se hizo una salida de CEC a los 170'. Hubo una reentrada para proporcionar un mayor apoyo inotrópico que duró 16' más.

Al ingreso en UCI, la paciente continuaba con fallo multiorgánico en situación de shock refractario a tratamiento, por lo que falleció a las 2 horas del ingreso.

## DISCUSIÓN

El fallo del oxigenador que necesite un cambio del mismo es un hecho aislado. Habitualmente el fenómeno de aumento de gradiente aparece en los primeros minutos de la CEC, sino se detecta ni se actúa puede conducir a un fallo de la membrana o no, a veces vuelve progresivamente a valores normales sin hacer nada, otras veces vuelve tras adoptar las medidas oportunas para disminuir el gradiente (ligero recalentamiento, infusión nitroprusiato sódico, etc.). Puede ocurrir que tras todas las maniobras posibles, no se consiga solucionar el problema, entonces es cuando hay que valorar si el aporte de  $\text{O}_2$  que se puede realizar es el adecuado, teniendo en cuenta el flujo y el intercambio gaseoso en la membrana. Si finalmente falla esta última, la opción es el cambio de la misma. Otro escenario posible es una CEC muy larga que puede acabar con la vida útil de la membrana. En este oxigenador parece que ocurre una situación intermedia, existe un fallo lento y progresivo, llegando en el minuto 100 a una  $\text{FiO}_2$  de 100%

En este caso, el primer error fue no medir la presión premembrana. Si no se mide, cuando ocurre el fenómeno de aumento del gradiente, sí que hay que distinguir entre el uso de bomba de rodillo y de bomba centrífuga, ya que sus comportamientos son diferentes. Mientras que el rodillo impulsa la sangre al flujo marcado, independientemente de otros factores, la centrífuga depende mucho de la postcarga y en menor medida de la precarga. A efectos prácticos, el rodillo no detecta si hay una mayor resistencia de la membrana al paso de la sangre, no existiendo un límite en la presión que puede crear, por lo que podría romper las fibras del oxigenador. En el caso de la centrífuga esto no puede ocurrir, ya que al máximo de revoluciones puede crear un poco más de 700 mmHg y este oxigenador está diseñado para resistir hasta 1000 mmHg. No obstante, con la bomba centrífuga sí es más fácil de detectar el aumento del gradiente,

ya que al aumentar la resistencia, a las mismas revoluciones el flujo iría bajando, de una forma anómala. Como esta situación suele ocurrir al inicio de la CEC, quizás en esos primeros minutos con el pinzamiento aórtico y la infusión de cardioplejia, podría pasar inadvertida. Pero una vez estabilizada la situación, la relación revoluciones/flujo puede oscilar en unos márgenes estrechos y casi siempre relacionados con las resistencias vasculares sistémicas. Así que un incremento progresivo de las revoluciones para mantener un mismo flujo o un número de revoluciones excesivas para el flujo conseguido podrían ser indicadores de que existe un problema en la membrana. Es más, en un caso extremo, la bomba centrífuga sería incapaz de generar el flujo adecuado a las máximas revoluciones ya que la membrana crearía una resistencia superior a la presión creada por la bomba.

Tras la realización de las diferentes medidas para la solución del problema sin un resultado positivo, el cambio sería la primera opción, aunque en la situación donde solo había un perfusionista e intentando acortar al máximo el tiempo de parada circulatoria, se planteó la interposición en serie de una nueva membrana, por la facilidad y rapidez de la conexión de la misma, además el oxigenador Fusion® era el más adecuado porque daba la opción de colocarlo solo sin necesidad de usar el reservorio de cardiomotía. Como alternativa al cambio presenta ciertas ventajas: menor tiempo de preparación, menor número de tubos a cortar y conectar, mayor facilidad para eliminar posibles burbujas, menor tiempo de parada circulatoria y una menor necesidad de cebado añadido.

Una vez hecha una revisión bibliográfica sobre el tema, se han encontrado otras alternativas. La primera sería tener el circuito pre-preparado para montar una membrana en paralelo, básicamente es tener unos conectores/llaves de paso de 3/8" ya montados en el circuito de CEC pre y post membrana, de forma que ante el fallo de esta, solo haya que conectar la nueva membrana y excluir del circuito la que ha fallado<sup>6</sup>. El principal inconveniente es tener el circuito diseñado para esto y el coste suplementario de dicha adaptación en todos y cada uno de los circuitos. Otra solución se planteó en cirugía pediátrica y que podría ser aplicable en adultos sin necesidad de parada circulatoria<sup>3</sup>. El sistema consiste en intercalar un conector en Y en la línea venosa, conectado a una línea que tras pasar por un rodillo mandaría la sangre a una nueva membrana, devolviendo esta sangre oxigenada al reservorio de cardiomotía. De esta manera no habría que pinzar la línea arterial y se eliminaría el riesgo de embolismo en la manipulación. En este caso, el mayor obstáculo sería disponer de un rodillo libre y habría que hacer la previsión del volumen necesario para el purgado de la nueva membrana.

Como conclusión, la interposición de una nueva membrana en serie puede ser una alternativa más segura y rápi-

da que el cambio de la misma, mientras que solo exista un fallo en la transferencia de gases y no una elevación del gradiente transmembrana. Además se deberían de cumplir algunas recomendaciones: medir presiones pre y post membrana, tener un protocolo de actuación ante el aumento del gradiente transmembrana y un protocolo de fallo de oxigenador, donde se valorara cada situación que se pudiese presentar, eligiendo la mejor alternativa en cada momento y realizando un entrenamiento frecuente de los distintos escenarios posibles.

## REFERENCIAS

1. Santos JC, Rodríguez R, Cid R y cols. Elevación del gradiente transmembrana del oxigenador: un problema potencial bastante frecuente. *Revista Asociación Española de Perfusionistas*. 2000; 31: 22-27
2. Fisher AR, Baker M, Buffin M y cols. Normal and abnormal trans-oxygenator pressure gradients during cardiopulmonary bypass. *Perfusion*. 2003 Mar;18(1):25-30. PubMed PMID: 12705647
3. Boettcher W, Sinzobahamvya N, Dehmel F, et al. Additional veno-venous gas exchange as a problem-solving strategy for an oxygenator not transferring oxygen in paediatric cardiopulmonary bypass. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2017 Nov 1;25(5):687-689. doi:10.1093/icvts/ivx192. PubMed PMID: 29049743.
4. Charrière JM, Pélissié J, Verd C y cols. Survey: retrospective survey of monitoring/safety devices and incidents of cardiopulmonary bypass for cardiac surgery in France. *J Extra Corpor Technol*. 2007 Sep; 39(3):142-57; discussion 158-9. PubMed PMID: 17972449; PubMed Central PMCID: PMC4680724.
5. Wendel HP, Philipp A, Weber N, Birnbaum DE, Ziemer G. Oxygenator thrombosis: worst case after development of an abnormal pressure gradient--incidence and pathway. *Perfusion*. 2001 Jul;16(4):271-8. PubMed PMID: 11486845.
6. Groom RC, Forest RJ, Cormack JE, Niimi KS, Morton J. Parallel replacement of the oxygenator that is not transferring oxygen: the PRONTO procedure. *Perfusion*. 2002 Nov;17(6):447-50. PubMed PMID: 12470036

**Tabla I. Incidencia de la elevación del gradiente transmembrana y del cambio de oxigenador por este motivo**

Autor	Tamaño	Tipo	↑ Gradiente	Cambio oxigenador
Blomback (1995)	1800	H	1/164	1/600
Wahba (1997)	1959	H	1/42	1/490
Svenmaker (1998)	6918	MC	1/239	1/346
Stensved (1999)	11451	MC	1/89	1/954
Wendel (2001)	5617	H	1/51	1/374
Myers (2003)	2696	MC	1/87	-
Fisher (2003)	3684	MC	1/230	1/1228
Charriere (2005)	-	Encuesta	1/80	-

(Algunos de los datos tomados de Fisher, 2003)<sup>2</sup>

H: Hospital. MC: Multicéntrico

**Tabla II. Parámetros clínicos y analíticos durante la CEC**

Tiempo		Flujo	FiO <sub>2</sub>	Gas	pH	PO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>	SatO <sub>2</sub>	Hto	TCA
PRE-CEC	ART				7.08	84.6	50.7	92.4 %	35 %	157
15'	ART	4,3	55	3	7.37	90	44	97.8 %	27 %	662
	VEN				7.34	39.3	51.3	69.4 %		
45'	ART	4,2	65	3.5	7.38	108	40	98.7 %	29 %	578
	VEN				7.34	41.7	47	72.6 %		
75'	ART	4.3	80	4	7.36	123	43	99.1 %	29 %	516
	VEN				7.33	44.5	48.3	76 %		
100'	ART	4.3	100	5.5	7.32	86	43.4	96.4 %	26 %	
108'	Interposición nueva membrana									
120'	ART	4.4	70	3.2	7.37	482	35.2	100 %	26 %	488
130'	ART	4.4	60	3	7.43	350	32.9	100 %	23 %	
150'	ART	4.4	55	2.5	7.31	223	40.5	100 %	26 %	392
	VEN				7.27	42.3	48	68.3 %		

Figura 1. Conexión entre ambas membranas

