

Mal Funcionamiento del Sistema de Circulación Extracorpórea: Relato de Caso

Carlos Eduardo David de Almeida ¹, Antônio Roberto Carraretto, TSA ², Erick Freitas Curi, TSA ³,
Louisie Marcelle da Silva Almeida Marques ⁴, Roberta Eleni Monteiro Abatti ⁵

Resumen: Almeida CED, Carraretto AR, Curi EF, Marques LMSA, Abatti REM – Mal Funcionamiento del Sistema de Circulación Extracorpórea: Relato de Caso

Justificativa y objetivos: La introducción de la circulación extracorpórea (CEC), en la práctica clínica fue decisiva para el desarrollo de la cirugía cardiovascular moderna. El haber añadido nuevos procedimientos y equipos, sin embargo, conllevó a algunos riesgos y complicaciones inherentes. El objetivo de este relato es describir un caso de mal funcionamiento del sistema de oxigenación, y enfatizar la importancia de la interacción con el equipo médico para prevenir los errores y reducir las complicaciones.

Relato del caso: Durante la realización de la cirugía para el cambio valvular y la corrección de CIV, observamos una coloración oscura de la sangre en la salida del oxigenador. Los exámenes de laboratorio arrojaron acidosis e hipoxemia grave. Todo el sistema se evaluó de nuevo, pero la causa del mal funcionamiento no se encontró. Las medidas para la reducción del daño fueron instauradas con éxito. Después de la cirugía, todo el sistema de CEC fue sometido a la evaluación técnica.

Conclusiones: La interacción entre el equipo, el rápido diagnóstico y la intervención inmediata fueron fundamentales para un resultado favorable.

Descriptores: COMPLICACIONES, Intraoperatorias; EQUIPOS, Oxigenador.

©2011 Elsevier Editora Ltda. Reservados todos los derechos.

INTRODUCCIÓN

El avance de la cirugía cardíaca solo ha sido posible gracias al desarrollo de un aparato responsable del desvío del flujo sanguíneo del corazón, permitiendo la corrección de las lesiones bajo una visión directa. Anteriormente, la cirugía cardíaca a corazón abierto solamente era posible con la utilización de hipotermia y parada cardíaca, con las consecuentes limitaciones importantes de tiempo en quirófano.

La circulación extracorpórea (CEC), como método de soporte en las cirugías cardiovasculares es relativamente reciente. El concepto de la circulación artificial fue idealizado en el siglo XIX por Le Gallois, pero su aplicación clínica con éxito se dio solamente en el siglo XX. En 1953, John Gibbon

corrigió una comunicación interatrial en una joven de 18 años utilizando un sistema corazón-pulmón artificial ¹.

Además de las alteraciones fisiológicas previstas con la utilización de la CEC, relatos de complicaciones por el mal funcionamiento del dispositivo también se han descrito²⁻⁴. Los fallos del aparato de CEC pueden ser relacionados con las bombas de circulación (fallos eléctricos o mecánicos), y con los oxigenadores y circuitos (rajaduras, desconexiones, embolia, hemólisis, obstrucciones del flujo sanguíneo o gaseoso, defecto o escape en el permutador de calor, defecto en el mezclador de gases). La utilización de agentes anestésicos halogenados en la línea de gas del oxigenador puede provocar fracturas en los componentes del sistema de la CEC ². Todos los profesionales del equipo de cirugía, incluyendo el anestesista, necesitan conocer el funcionamiento y las posibles interurrencias de la técnica.

El objetivo de este relato fue presentar una complicación proveniente del mal funcionamiento del sistema de CEC.

Recibido por la Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); Hospital Universitário Casiano Antônio Moraes HUCAM-UFES, Brasil.

1. TEA MEC/SBA por la Universidade de São Paulo (USP); Médico Asistente del Servicio de Anestesiología del HUCAM-UFES

2. Doctor en Anestesiología por la UNESP; Profesor del Departamento de Clínica Quirúrgica de la UFES; Responsable del CET Integrado HUCAM-Hospital Geral (HAFPE)

3. Presidente de la SAES; Corresponsable del CET Integrado HUCAM-HAFPE; Médico Asistente del Servicio de Anestesiología del HUCAM-UFES

4. TEA MEC/SBA por la UFES; Médica-Asistente del Servicio de Anestesiología del HUCAM-UFES

5. Médica en Especialización en Anestesiología en el CET Integrado HUCAM-HAFPE

Artículo sometido el 4 de noviembre de 2010.

Aprobado para su publicación el 21 de febrero de 2011.

Dirección para correspondencia:
Dr. Carlos Eduardo David de Almeida
Av. Cesar Helal, 1181, apt 1903
Praia do Suá
29052230 – Vitória, ES, Brasil
E-mail: cedalmeida@terra.com.br

RELATO DE CASO

Paciente del sexo masculino, de 49 años, con 63 kg, portador de insuficiencia aórtica y comunicación interventricular (CIV), que llegó para la realización de cambio valvular biológico y la corrección quirúrgica de CIV. Monitorizado con electrocardiograma continuo (ECG), oximetría de pulso (SpO₂), presión arterial invasiva (PAI), capnografía y capnometría (EtCO₂), analizador de gases, temperatura esofágica (°C) y presión venosa central (PVC).

El paciente fue medicado con midazolam 15 mg vía oral 30 minutos antes de la cirugía. Se inició la inducción venosa con fentanil ($7,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$), propofol (1 mg.kg^{-1}) y pancuronio ($0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$). Se realizó el mantenimiento con isoflurano ($0,5\text{-}1 \text{ CAM}$) y la infusión continua de sufentanil, de acuerdo con la necesidad.

El procedimiento transcurrió sin interurrencias hasta el inicio de la asistencia circulatoria. Después de la parada respiratoria, el anestesiólogo observó una coloración oscura de la sangre a la salida del oxigenador de membrana. Recolectamos la gasometría arterial que arrojó acidosis e hipoxemia grave con los siguientes valores: pH 7,07, PaCO_2 67,3 mmHg, PaO_2 108 mmHg, BE $-9,6 \text{ mmol.L}^{-1}$, HCO_3^- $15,8 \text{ mmol.L}^{-1}$, SatO_2 33%. Inmediatamente se procedió al chequeo de todo el sistema, pero sin evidencia aparente de irregularidades. La salida de la circulación asistida no fue posible porque ya se había realizado la cardiotoromía. Iniciamos entonces la hipotermia inducida con el enfriamiento activo, administración de tiopental sódico, aumento del flujo de oxígeno a través del oxigenador y el reestablecimiento de la ventilación pulmonar. Se estableció un *shunt* temporal entre la circulación sistémica y la pulmonar.

La circulación extracorpórea duró 35 minutos y el destete ocurrió sin fármacos vasoactivos. Al finalizar la operación, el paciente fue derivado a la unidad de cuidados intensivos.



Foto 1 – Oxigenador y Reservorio Venoso.
La flecha indica la región de la fisura.

Después de 12 horas, tenía una abertura ocular espontánea, siendo desentubado después de 18 horas del término de la cirugía sin secuelas neurológicas.

El sistema desechable de circulación extracorpórea fue llevado al análisis técnico y el equipo fue sometido a inspección. No se detectó ningún problema con el aparato de CEC, sin embargo, el oxigenador de la membrana tenía una gran fisura en su tapa, lo que impedía su correcto funcionamiento.

La Foto 1 reproduce el oxigenador y el reservorio venoso montado. La flecha indica la rajadura, reproducida en detalles en la Foto 2. Queda la prueba de la dificultad de visibilidad de la fisura en la tapa del oxigenador con el conjunto acoplado. En el test de laboratorio, al iniciar el flujo de oxígeno a través del oxigenador, el movimiento del papel picado y colocado sobre el área comprometida, evidencia el escape (Foto 3).

En el laboratorio, el oxigenador se sometió al análisis de la transferencia de gases, en un primer estadio, con la fisura y, posteriormente, con la corrección del defecto encontrado

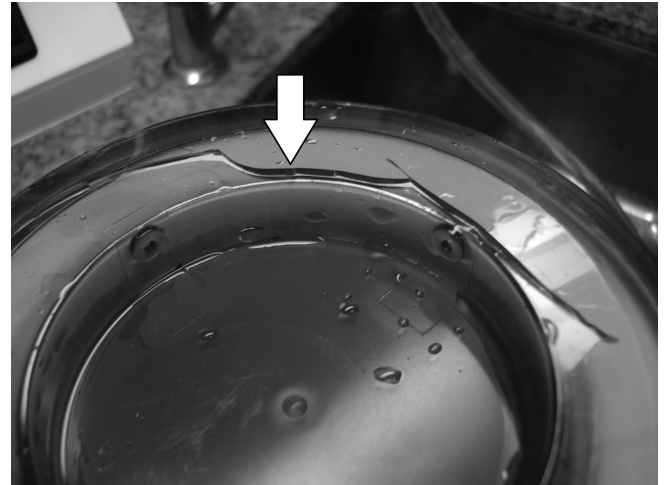


Foto 2 –Detalle de la Fisura.



Foto 3 –Movimiento del papel mostrando el escape del oxigenador.

(tapa reparada con pegamento). El flujo de sangre establecido para el test fue de 1 a 7 L.min⁻¹. Fueron evaluados el gradiente de presión en la cámara de la sangre y de gas, y la transferencia de gas carbónico y de oxígeno, cuyos resultados están representados en los Gráficos I, II, III y IV, respectivamente.

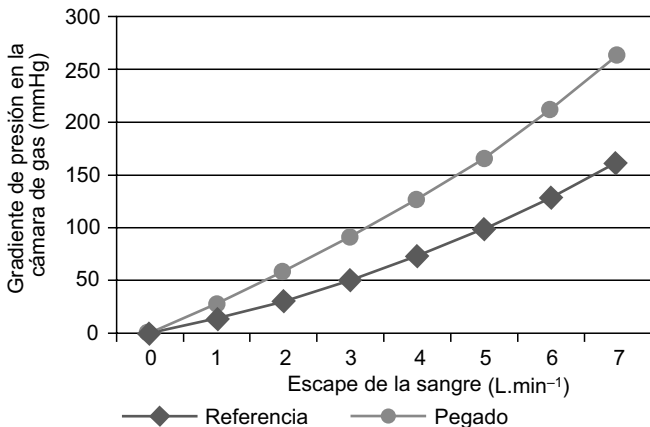


Gráfico I – Gradiente de presión en la cámara de gas.

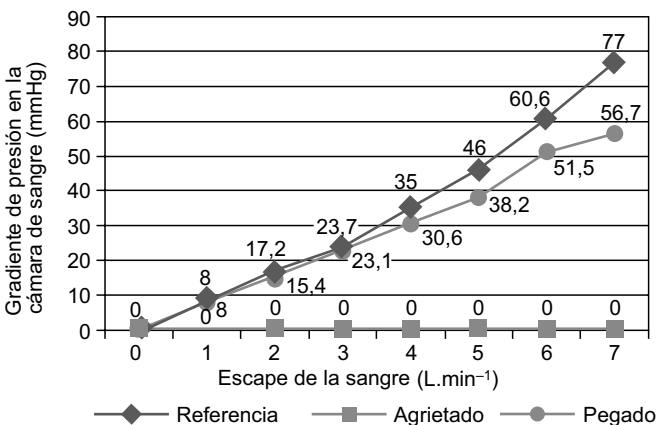


Gráfico II – Gradiente de presión en la cámara de sangre

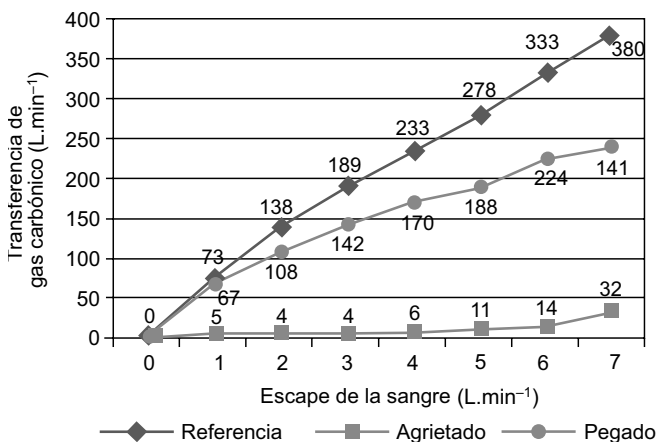


Gráfico III – Transferencia de gas carbónico

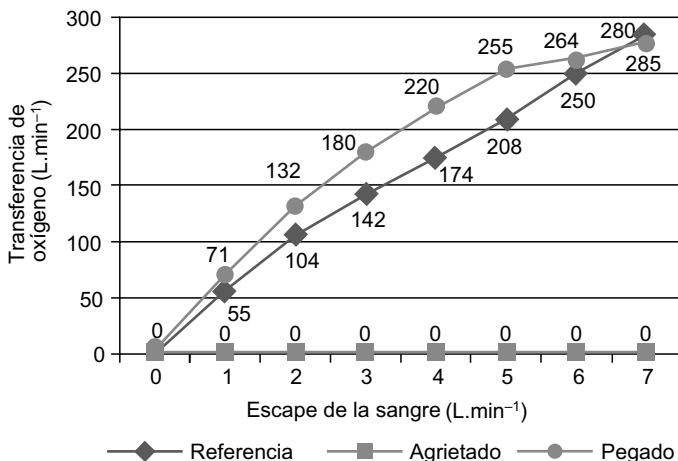


Gráfico IV – Transferencia de oxígeno

DISCUSIÓN

En una revisión norteamericana de incidentes críticos, los autores demostraron que un 82% de los accidentes estaban asociados a errores humanos. Los errores más comunes fueron desconexiones del sistema respiratorio, el cambio de jeringuillas con medicaciones, errores en el control de flujo de gas y alteraciones en el suministro de gases. Solamente un 4% de los incidentes con resultado negativo tuvieron la participación de los fallos de los equipos, imputándosele así, una gran responsabilidad a los factores humanos ⁵.

Un estudio australiano que analizó 896 incidentes relató un mal funcionamiento de los equipos en 234 de los casos (26%). Los equipos más comunes involucrados eran bombas de infusión y vaporizadores. Los mayores factores que contribuyeron fueron los fallos en el chequeo del equipo (37%), falta de atención (31%), la prisa (14%) y equipos o ambiente desconocidos (10%). Los principales factores para minimizar esos errores fueron la nueva verificación de los aparatos (38%) y la detección con monitores (33%) ⁶.

Una revisión sobre los incidentes con el uso de CEC, que envolvía a 671.290 procedimientos realizados en dos años, relató 4.882 incidentes, siendo que los más frecuentes fueron: reacciones a la protamina (871), discrasias sanguíneas (857), fallos en la bomba de agua (371), aire o coágulo en el circuito (657), disección arterial (293), fallos en los oxigenadores (272) y fallos mecánicos de las bombas (260) ⁷.

Estudios realizados en los Estados Unidos indicaron una elevación en el apareamiento de fallos del oxigenador. En 1980, 1986 y 1989, el apareamiento era de 1:56.000, 1:13.600 y 1:2.700, respectivamente. A pesar del aumento de los fallos, las causas no siempre se definen como debe ser ⁸.

Los actuales oxigenadores de la membrana utilizan membranas de polipropileno microporoso o silicona. Pueden clasificarse como oxigenadores de placas, en espiral o de fibras huecas. Ése último es el más utilizado y puede ser subdividido de acuerdo con lo que circula en el interior de la fibra (san-

gre o gas). El paso de la sangre dentro de las fibras puede generar un gradiente de presión elevado. El flujo de gas por dentro de la fibra reduce el trauma producido por el paso de la sangre en el interior de los capilares y permite que se reduzca el área de membrana necesaria.

El paso de un gas a través de la membrana depende de su permeabilidad y del coeficiente de presión entre los dos lados. La permeabilidad es una propiedad relacionada con el espesor y con el material de que la membrana está hecha. Las membranas no tienen la misma permeabilidad frente a los diferentes gases. La mayoría de las membranas permite el paso del dióxido de carbono cerca de cinco a seis veces más rápidamente que el paso del oxígeno.

En el relato descrito, la fisura en la tapa del equipo impedía la correcta oxigenación sanguínea. A pesar del previo chequeo a que fue sometido el equipo, la fisura no se descubrió en la inspección inicial. La coloración azul de la tapa y la región de la ruptura pueden haber colaborado para esa dificultad.

La falta de un gradiente de presión en la cámara de gas (Gráfico II; $p < 0,05$), incluso con diferentes flujos de sangre, debido a la gran rajadura en la tapa del oxigenador, contribuyó, de forma decisiva, para la baja tasa de transferencia de oxígeno (Gráfico IV; $p < 0,05$) y gas carbónico (Gráfico III; $p < 0,05$). Después de la reparación de la tapa del oxigenador con pegamento, el gradiente de presión de la cámara de gas ($p > 0,05$) y por consiguiente, la tasa de transferencia de O_2 ($p > 0,05$) se acercaron a los valores de referencia para flujos sanguíneos por debajo de $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Por encima de ese flujo, se observó una caída en el desempeño ($p < 0,05$ para la transferencia de O_2), lo que se justifica por el hecho de que la pieza haya sido utilizada anteriormente, presentando puntos de coagulación que no pudieron ser desobstruidos para la realización del test, con el consecuente aumento del gradiente de presión en la cámara de sangre (Gráfico I; $p < 0,05$). La tasa de transferencia de CO_2 con la tapa ya pegada, rebasó los valores de referencia (Gráfico III; $p < 0,05$).

Además de la fractura, el oxigenador y el circuito están sujetos a otros defectos de funcionamiento. Fallos en su pegado, conectores o tubos mal adaptados pueden permitir escapes o entrada de aire en el circuito. Conectores con bordes aplastados pueden provocar corrientes de turbulencia con hemólisis acentuada. Las obstrucciones por dobleces o angulaciones pueden impedir el flujo, principalmente en la perfusión neonatal, donde los tubos y las cánulas tienen dimensiones reducidas y necesitan flujos relativamente más elevados. El alto flujo puede generar una fuerza suficiente en la cánula arterial para empujarla de la aorta ⁹.

Los oxigenadores de membrana ofrecen una resistencia al paso sanguíneo, generando una diferencia de presión entre la entrada y la salida del equipo. La elevación del gradiente, junto con el aumento de la resistencia al flujo sanguíneo, puede darse debido a la deposición de coágulos en la superficie de la membrana, lo que compromete el correcto funcionamiento del aparato y genera altas presiones en el sistema ⁸.

La obstrucción del escape de gases del oxigenador de membrana puede producir embolia aérea. El reservorio ve-

noso debe contener un volumen de sangre proporcional al flujo arterial, evitando así su vertido y por tanto, una inyección maciza de aire por la bomba arterial ¹⁰.

Otro defecto de difícil constatación es el escape en el permutador de calor. La rotura de puntos de menor resistencia en el permutador permite la transferencia del agua del sistema de cambio de calor para la sangre arterial, generando la hemólisis, la intoxicación hídrica y la infección ¹¹. Debemos respetar el gradiente máximo de 10°C entre la temperatura del agua y la de la sangre arterial, principalmente en las fases de enfriamiento y calentamiento, evitando así microembolias aéreas provenientes de las variaciones de la solubilidad de los gases a diferentes temperaturas ¹².

La coloración de la sangre arterial a la salida del oxigenador nos ayudó en la rápida detección de la hipoxemia. La confirmación se obtuvo con el análisis gasométrico de la sangre. A pesar de no identificar la causa del fallo en el oxigenador, todo el equipo actuó con el objetivo de minimizar el daño con las medidas paliativas. La restauración de la ventilación pulmonar, el *bypass* temporal instituido por el cirujano entre la circulación sistémica y pulmonar y la hipotermia, fueron fundamentales para la obtención del resultado final.

Existen aparatos de monitoreo de la oximetría y de la capnografía de los gases de la CEC ^{13,14}. El análisis del gas del mezclador de gases (*blender*) y del gas que suelta la cámara del oxigenador, permite monitorear el funcionamiento del *blender*, analizar el desempeño de la cámara de oxigenación y comprobar el gas carbónico de salida del oxigenador. La falta de ese monitoreo en el servicio puede haber atrasado el diagnóstico.

La participación del perfusionista no puede ser subestimada, porque desempeña un papel importante en la seguridad de los procedimientos de CEC, ya sea por su acción directa o por la acción de los equipos y aparatos. El fallo humano, la falta de mantenimiento preventivo, el uso inadecuado de los dispositivos de seguridad, el fallo en el ensamblaje y el chequeo de los equipos, son factores que favorecen el apareamiento de los accidentes.

Los protocolos y las directrices han sido propuestos por los servicios, entidades y sociedades organizadas, con la finalidad de disminuir los incidentes en el perioperatorio.

La interacción entre el equipo, el rápido diagnóstico y la intervención inmediata fueron fundamentales para un resultado favorable.

REFERENCIAS

1. Prates PR — Pequena história da cirurgia cardíaca: e tudo aconteceu diante de nossos olhos... Rev Bras Cir Cardiovasc, 1999;14:177-184.
2. Lim HS, Cho SH, Kim DK et al. — Isoflurane cracks the polycarbonate connector of extra-corporeal circuit - A case report. Korean J Anesthesiol, 2010;58:304-306.
3. Krishna CS, Kumar PVN, Satpathy SK et al. — Rupture of extra-corporeal circuit tubing during cardiopulmonary bypass. J Extra Corpor Technol, 2008;40:145.

4. Mauermann WJ, Fritock MD, Cook DJ — An unusual cause of decreased SVO₂ during cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg*, 2007;105:294-295.
5. Cooper JB, Newbower RS, Kitz RJ — An analysis of major errors and equipment failures in anesthesia management: considerations for prevention and detection. *Anesthesiology*, 1984;60:34-42.
6. Abeysekera A, Bergman LJ, Kluger MT et al. — Drug error anaesthetic practice: a review of 896 reports from the Australian Incident Monitoring Study database. *Anaesthesia*, 2005;60:220-227.
7. Mejak BL, Stammers AH, Rauch E et al. — A retrospective study on perfusion accidents and safety devices. *Perfusion*, 2000;15:51-61.
8. Groom RC, Forest RJ, Cormack JE et al. — Parallel replacement of the oxygenator that is not transferring oxygen: the PRONTO procedure. *Perfusion*, 2002;17:447-50.
9. Johnson CE, Faulkner SC, Schmitz ML et al. — Management of potential gas embolus during closure of an atrial septal defect in a three-year-old. *Perfusion*, 2003;18:381-384.
10. Mills NL, Ochsner JL — Massive air embolism during cardiopulmonary bypass. Causes, prevention and management. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1980;80:708-717.
11. Souza MHL, Elias DO — Fundamentos da Circulação Extracorpórea, 2ª Ed, Rio de Janeiro, Centro Editorial Alfa Rio, 2006;360-361.
12. Geissler HJ, Allen SJ, Mehlhorn U et al. — Cooling gradients and formation of gaseous microemboli with cardiopulmonary bypass: an echocardiographic study. *Ann Thorac Surg*, 1997;64:100-104.
13. Schreur A, Niles S, Ploessl J — Use of the CDI blood parameter monitoring system 500 for continuous blood gas measurement during extracorporeal membrane oxygenation simulation. *J Extra Corpor Technol*, 2005;37:377-380.
14. Grosse FO, Holzhey D, Falk V et al. — In vitro comparison of the new in-line monitor BMU 40 versus a conventional laboratory analyzer. *J Extra Corpor Technol*, 2010;42:61-70.