

Malfunction of the Extracorporeal Circulation System: Case Report

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

Summary: Almeida CED, Carraretto AR, Curi EF, Marques LMSA, Abatti REM – Malfunction of the Extracorporeal Circulation System: Case Report.

Background and objectives: The introduction of extracorporeal circulation in clinical practice was decisive for the development of modern cardiovascular surgery. Addition of new procedures and equipment, however, brings inherent risks and complications. The objective of this report is to describe a malfunction of the oxygenation system and emphasize the importance of the interaction among the medical team members to prevent errors and complications.

Case Report: During valve replacement and IVC correction surgery, we observed a darker shade of red in the blood on the exit of the oxygenator. Laboratory tests demonstrated severe acidosis and hypoxemia. The entire system was evaluated, but the cause of the malfunction was not found. Measures to reduce damage were successfully instituted. After the surgery, the whole system underwent technical evaluation.

Conclusions: Interaction among the medical team members, early diagnosis, and immediate intervention were fundamental for a favorable outcome.

Keywords: Intraoperative Complications; Extracorporeal Circulation; Accident Prevention.

©2011 Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

INTRODUCTION

Advancements in cardiac surgeries were only possible thanks to the development of the apparatus responsible for the bypass of blood flow from the heart, allowing correction of lesions under its direct view. Previously, open heart surgery was only possible with the use of hypothermia and cardiac arrest, with important limitations of the surgical time.

The use of extracorporeal circulation (ECC) as a support method in cardiovascular surgeries is relatively recent. The

concept of artificial circulation was idealized in the nineteenth century by Le Gallois; however, its successful clinical application only occurred in the twentieth century. In 1953, John Gibbon corrected an interatrial communication in a young 18-year old female using an artificial heart-lung system ¹.

In addition to the foreseen physiologic changes with the use of ECC, complications from equipment malfunction have been reported ²⁻⁴. Failures of the EEC equipment may be related to circulation pumps (electrical or mechanical failures) and with oxygenators and circuits (cracks, disconnections, embolism, hemolysis, obstruction of blood or gas flow, defect or leakage of the heat-exchanger, and defect on the gas blender). The use of halogenated anesthetic agents through the oxygenator gas line can cause fractures in components of the ECC system ². Thus, all professionals of the surgical team, including the anesthesiologist, should know how the system works and its possible interferences.

The objective of this report was to present a complication due to malfunctioning of the ECC system.

CASE REPORT

This is a 49-year old male patient, 63 kg, with aortic regurgitation and interventricular communication (IVC), who was admitted for biological valve replacement and surgical correction of IVC. Monitoring included continuous electrocardiogram (ECG), pulse oximetry (SpO₂), invasive blood pressure (IBP),

Received from Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); Hospital Universitário Cassiano Antônio Moraes HUCAM-UFES, Brazil.

1. TEA MEC/SBA from Universidade de São Paulo (USP); Assistant Physician at Serviço de Anestesiologia do Hospital Universitário Cassiano Antônio Moraes (HUCAM) of Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

2. PhD in Anesthesiology, Universidade Estadual de São Paulo (UNESP); Professor of the Departamento de Clínica Cirúrgica da UFES; Responsible for the CET Integrado HUCAM-Hospital Geral (HAFPEs)

3. President of SAES; Co-responsible for the CET Integrado HUCAM-HAFPEs; Assistant Physician at Serviço de Anestesiologia do HUCAM-UFES

4. TEA MEC/SBA, UFES; Assistant Physician at Serviço de Anestesiologia do HUCAM-UFES

5. Anesthesiology Resident at CET Integrado HUCAM-HAFPEs

Submitted on November 4, 2010.

Approved on February 21, 2011.

Correspondence to:

Dr. Carlos Eduardo David de Almeida
Av. Cesar Helal, 1181, apt 1903

Praia do Suá

29052230 – Vitória, ES, Brazil

E-mail: cedalmeida@terra.com.br

capnography and capnometry (EtCO₂), gas analyzer, esophageal temperature (°C), and central venous pressure (CVP).

Patient was medicated with oral midazolam 15 mg, 30 minutes before surgery. Intravenous induction was performed with fentanyl (7.5 µg.kg⁻¹), propofol (1 mg.kg⁻¹), and pancuronium (0.06 mg.kg⁻¹). Anesthesia was maintained with isoflurane (0.5-1 MAC) and continuous infusion of sufentanil, as needed.

The procedure was performed without interurrences until the onset of circulatory support. After respiratory arrest, the anesthesiologist observed a darker shade of red in the blood on the exit of the membrane oxygenator. Arterial blood gases showed severe acidosis and hypoxemia with the following values: pH 7.07, PaCO₂ 67.3 mmHg, PaO₂ 108 mmHg, BE -9.6 mmol.L⁻¹, HCO₃⁻ 15.8 mmol.L⁻¹, SatO₂ 33%. The entire system was immediately checked, but no apparent irregularities were observed. It was not possible to remove the patient from assisted circulation as cardiotomy had been already performed. Hypothermia was then initiated with active cooling, administration of sodium thiopental, increasing of oxygen flow through the oxygenator, and reestablishment of pulmonary ventilation. A temporary shunt was established between the systemic and pulmonary circulation.



Figure 1 – Oxygenator and Venous Reservoir.
The Arrow Indicates the Site of the Crack.

Extracorporeal circulation lasted 35 minutes and the patient was weaned without vasoactive drugs. At the end of the surgical procedure, the patient was transferred to the intensive care unit. After 12 hours, he opened his eyes spontaneously and was extubated 18 hours after the end of the surgery without neurologic sequelae.

The disposable extracorporeal circulation system was secured for technical analysis and the equipment was inspected. Problems were not detected with the ECC equipment; however, the membrane oxygenator had a fissure on its lid that prevented its correct functioning.

Figure 1 reproduces the oxygenator and the assembled venous reservoir. The arrow indicates the crack, reproduced in detail in Figure 2. It shows the difficult visualization of the fissure on the oxygenator lid when the set is assembled. On laboratory testing, when oxygen flow was initiated, movement of the shredded paper placed over the compromised area showed leakage (Figure 3).

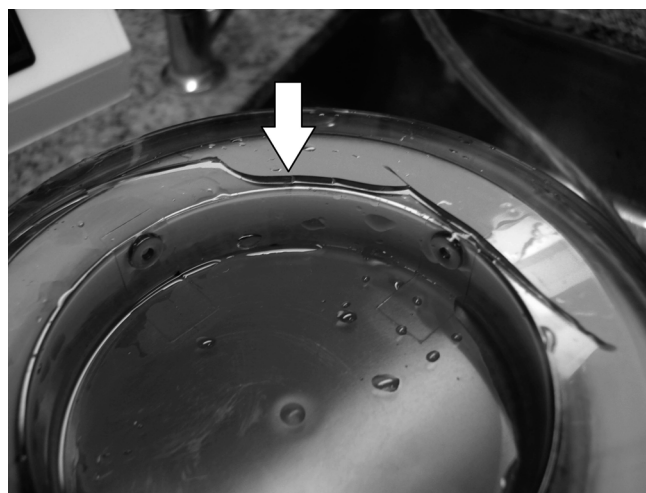


Figure 2 – Detail of the Crack.

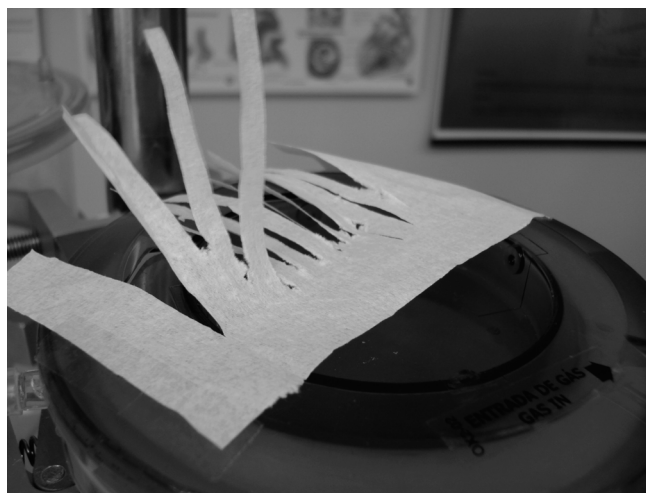


Figure 3 – Paper Movement Indicating Leakage of the Oxygenator.

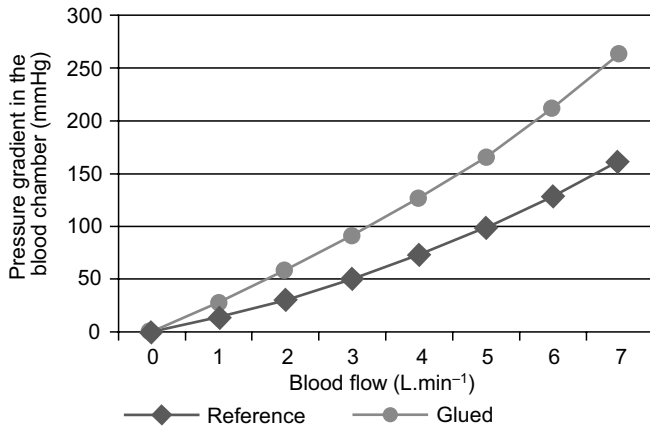


Chart I – Pressure gradient in the blood chamber.

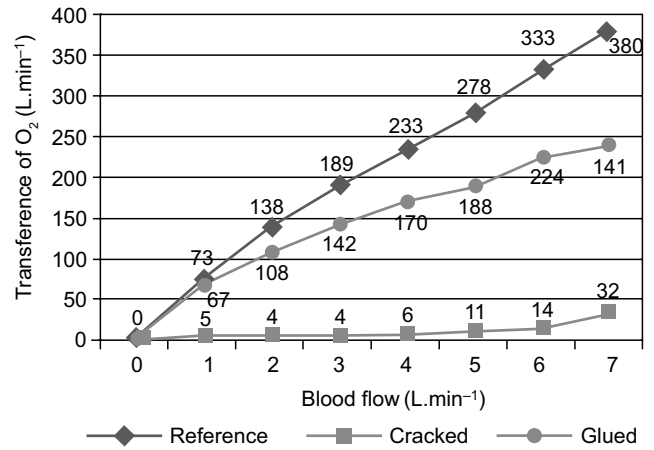


Chart IV – Transference of Oxygen.

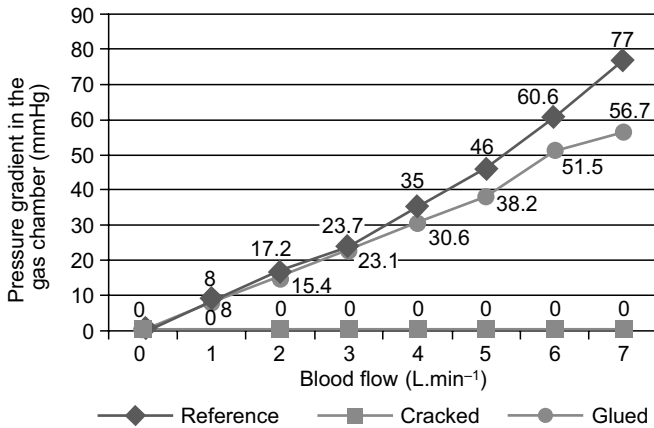


Chart II – Pressure Gradient in the Gas Chamber.

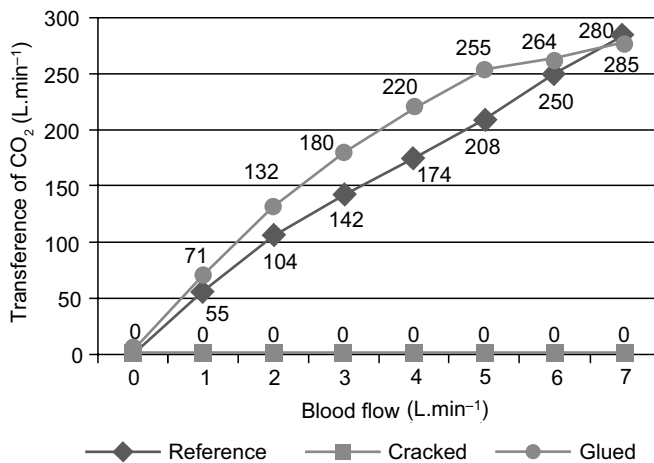


Chart III – Transference of Carbonic Gas.

The oxygenator underwent gas transference analysis – on a first stage, with the crack and later with the problem corrected (lid repaired with glue). Blood flow for the test was from 1 to 7 L.min⁻¹. The pressure gradient on blood and gas chambers, as well the transference of carbonic gas and oxygen were evaluated. Results are shown in Charts I, II, III, and IV, respectively.

DISCUSSION

In an American review of critical incidents the authors demonstrated that 82% of the accidents were related to human errors. The most common errors included disconnection of the respiratory system, exchange of syringes with medications, errors in the control of gas flow, and changes in gas supply. Only 4% of the incidents with negative outcomes involved equipment failure, attributing great responsibility to human factors⁵.

An Australian study that analyzed 896 incidents reported equipment malfunctioning in 234 cases (26%). The equipment most commonly involved included infusion pumps and vaporizers. The major contributing factors were failure to check the equipment (37%), lack of attention (31%), rush (14%), and unfamiliar equipment or environment (10%). The main factors to minimize these errors were rechecking the equipment (38%) and detection with the use of monitors (33%)⁶.

A review of incidents with ECC involving 671,290 procedures over a 2-year period reported 4,882 incidents, and the most common included: reactions to protamine (871), blood dyscrasia (857), water pump failure (371), air or blood clot in the circuit (657), arterial dissection (293), oxygenator failures (272), and mechanical pump failure (260)⁷.

Studies in the United States showed an increased incidence of oxygenator failure. In 1980, 1986, and 1989, the incidence were 1:56,000, 1:13,000, and 1:2,700, respectively. Despite this increase in failures, the causes are not always defined⁸.

The current membrane oxygenators use microporous or silicone-coated polypropylene membranes. They can be classified as plate, coil, or hollow-fiber oxygenators. The latter is used more often and can be subdivided according to what circulates in the interior of the fiber (blood or gas). Circulation of blood inside the fibers can generate an elevated pressure gradient. The flow of gas inside the fiber reduces the trauma produced by the circulation of blood inside capillaries, which allows reducing the required membrane area.

Passage of gas through the membrane depends on its permeability and pressure coefficient between both sides. Permeability is related to the width of the membrane material. Membranes do not have the same permeability to different gases. Most membranes allow passage of carbon dioxide approximately five to six times faster than that of oxygen.

In the case reported here, the crack on the lid of the equipment prevented the correct blood oxygenation. Despite prior verification of the equipment the crack was not seen on the initial inspection. The blue color of the lid and the place where it broke may have contributed for this difficulty.

The absence of a pressure gradient in the gas chamber (Chart II; $p < 0.05$) even with different blood flow due to the large crack on the oxygenator lid contributed decisively for the low rate of oxygen transference (Chart IV; $p < 0.05$) and carbonic gas (Chart III; $p < 0.05$). After repairing the lid of the oxygenator with glue, the pressure gradient in the gas chamber ($p > 0.05$) and consequently the transference of O_2 ($p > 0.05$) were closer to the reference value for blood flow below $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Above this flow, a fall in performance was observed ($p < 0.05$ for O_2 transference), which was justifiable since the equipment had already been used and it had areas of coagulated blood that could not be cleared for this test, with consequent increase of the pressure gradient in the blood chamber (Chart I; $p < 0.05$). The CO_2 transference rate after the lid was fixed surpassed reference values (Chart III; $p < 0.05$).

In addition to the fracture, the oxygenator and the circuit are subjected to other malfunctions. Gluing failures, and ill fitting connectors or tubings may allow air leakage or entry into the circuit. Connectors whose borders are dented can cause turbulent blood flow with increasing hemolysis. Obstructions due to kinks or angulations can stop blood flow especially in neonatal perfusion in which the size of tubings and cannulas is reduced, requiring relatively elevated flows. This high flow can generate enough resistance in the arterial cannula to push it out of the aorta⁹.

Membrane oxygenators offer resistance to the passage of blood, generating a pressure difference between the equip-

ment input and output. Gradient elevation with increased blood resistance can occur due to blood clots on the membrane surface, compromising correct functioning of the equipment and generating high system pressures⁸.

Obstruction to gas escape from the membrane oxygenator can produce air embolism. The venous reservoir should contain a blood volume proportional to the arterial flow to prevent it from emptying and, consequently, a massive injection of air through the arterial pump¹⁰.

Leakage from the heat-exchanger is another defect difficult to verify. Rupture of weaker points in the exchanger allows transference of water from the heat exchange system to the arterial blood, producing hemolysis, water intoxication, and infection¹¹. One should respect the maximum gradient of 10°C between the water and arterial blood temperature, especially in cooling and rewarming phases, avoiding micro air embolism secondary to variations in gas solubility at different temperatures¹².

The observation of a darker shade of red of arterial blood on the exit of the oxygenator helped us with the early detection of hypoxemia. Confirmation was obtained with blood gas analysis. Although the cause of oxygenator failure was not identified, the entire team worked to minimize the damage with palliative measures. Restoration of pulmonary ventilation, temporary bypass between the systemic and pulmonary circulation instituted by the surgeon, and hypothermia were fundamental for the outcome.

There are oximetry and capnography monitoring equipment of ECC gases^{13,14}. The analysis of the gas blender and gas expelled from the oxygenator chamber allows monitoring the operation of the blender, analyze the performance of the oxygenation chamber, and measure the carbonic gas output of the oxygenator. The lack of these monitors may have been responsible for the delayed diagnosis.

The role of the perfusionist cannot be underestimated because it is important for the safety of the ECC procedure, either by his/her direct action or that of the equipment. Human errors, lack of preventive maintenance, inadequate use of safety mechanisms, and failure in assembly and verification of equipment represent factors capable of favoring accidents.

Protocols and guidelines have been proposed by services, entities, and organized societies to decrease perioperative incidents.

The interaction among the surgical team, early diagnosis, and immediate intervention were fundamental for the favorable outcome.

Mau Funcionamento do Sistema de Circulação 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

Resumo: Almeida CED, Carraretto AR, Curi EF, Marques LMSA, Abatti REM – Mau Funcionamento do Sistema de Circulação Extracorpórea: Relato de Caso.

Justificativa e objetivos: A introdução da circulação extracorpórea (CEC) na prática clínica foi decisiva para o desenvolvimento da cirurgia cardiovascular moderna. A adição de novos procedimentos e equipamentos, entretanto, traz riscos e complicações inerentes. O objetivo deste relato é descrever um caso de mau funcionamento do sistema de oxigenação e enfatizar a importância da interação entre a equipe médica para prevenir erros e reduzir complicações.

Relato do caso: Durante a realização de cirurgia para troca valvar e correção de CIV, observou-se coloração escura do sangue na saída do oxigenador. Exames laboratoriais demonstraram acidose e hipoxemia grave. Todo o sistema foi reavaliado, mas a causa do mau funcionamento não foi encontrada. Medidas para a redução do dano foram instituídas com sucesso. Após a cirurgia, todo o sistema de CEC foi submetido à avaliação técnica.

Conclusões: A interação entre a equipe, o diagnóstico precoce e a intervenção imediata mostraram-se fundamentais para o desfecho favorável.

Unitermos: COMPLICAÇÕES, Intraoperatórias; EQUIPAMENTOS, Oxigenador.

©2011 Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

INTRODUÇÃO

O avanço da cirurgia cardíaca só foi possível graças ao desenvolvimento de um aparato responsável pelo desvio do fluxo sanguíneo do coração, permitindo a correção de lesões sob sua visão direta. Anteriormente, a cirurgia cardíaca a céu aberto somente era possível com a utilização de hipotermia e parada cardíaca, com limitações importantes de tempo operatório.

A circulação extracorpórea (CEC) como método de suporte em cirurgias cardiovasculares é relativamente recente. O

conceito da circulação artificial foi idealizado no século XIX por Le Gallois, porém sua aplicação clínica com sucesso ocorreu apenas no século XX. Em 1953, John Gibbon corrigiu uma comunicação interatrial em uma jovem de 18 anos utilizando um sistema coração-pulmão artificial ¹.

Além das alterações fisiológicas previstas com a utilização da CEC, relatos de complicações pelo mau funcionamento do dispositivo foram descritos ²⁻⁴. As falhas do aparelho de CEC podem ser relacionadas com as bombas de circulação (falhas elétricas ou mecânicas) e com os oxigenadores e circuitos (rachaduras, desconexões, embolia, hemólise, obstruções do fluxo sanguíneo ou gasoso, defeito ou vazamento no permutador de calor, defeito no misturador de gases). A utilização de agentes anestésicos halogenados na linha de gás do oxigenador pode provocar fraturas em componentes do sistema da CEC ². Assim, todos os profissionais da equipe cirúrgica, incluindo o anestesiologista, precisam conhecer o funcionamento e as possíveis intercorrências da técnica.

O objetivo deste relato foi apresentar uma complicação decorrente do mau funcionamento do sistema de CEC.

RELATO DO CASO

Paciente do sexo masculino, 49 anos, 63 kg, portador de insuficiência aórtica e comunicação interventricular (CIV), foi admitido para realização de troca valvar biológica e correção cirúrgica de CIV. Monitorado com eletrocardiograma contínuo (ECG), oximetria de pulso (SpO₂), pressão arterial invasiva

Recebido pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); Hospital Universitário Casiano Antônio Moraes HUCAM-UFES, Brasil.

1. TEA MEC/SBA pela Universidade de São Paulo (USP); Médico Assistente do Serviço de Anestesiologia do HUCAM-UFES

2. Doutor em Anestesiologia pela UNESP; Professor do Departamento de Clínica Cirúrgica da UFES; Responsável pelo CET Integrado HUCAM-Hospital Geral (HAFPES)

3. Presidente da SAES; Corresponsável pelo CET Integrado HUCAM-HAFPES; Médico-Assistente do Serviço de Anestesiologia do HUCAM-UFES

4. TEA MEC/SBA pela UFES; Médica-Assistente do Serviço de Anestesiologia do HUCAM-UFES

5. Médica em Especialização em Anestesiologia no CET Integrado HUCAM-HAFPES

Submetido em 4 de novembro de 2010.

Approved para publicação em 21 de fevereiro de 2011.

Correspondência para:
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

(PAI), capnografia e capnometria (EtCO₂), analisador de gases, temperatura esofágica (C) e pressão venosa central (PVC).

Foi medicado com midazolam 15 mg via oral 30 minutos antes da cirurgia. Iniciou-se indução venosa com fentanil (7,5 µg.kg⁻¹), propofol (1 mg.kg⁻¹) e pancurônio (0,06 mg.kg⁻¹). Realizadas manutenção com isoflurano (0,5-1 CAM) e infusão contínua de sufentanil conforme necessidade.

O procedimento transcorreu sem intercorrências até o início da assistência circulatória. Após a parada respiratória, o anestesiológista observou coloração escura do sangue na saída do oxigenador de membrana. Coletada gasometria arterial que evidenciou acidose e hipoxemia grave com os seguintes valores: pH 7,07, PaCO₂ 67,3 mmHg, PaO₂ 108 mmHg, BE -9,6 mmol.L⁻¹, HCO₃⁻ 15,8 mmol.L⁻¹, SatO₂ 33%. Procedeu-se imediatamente à checagem de todo o sistema, porém sem evidência aparente de irregularidades. A saída da circulação assistida não foi possível, pois já fora realizada a cardiectomia. Iniciada hipotermia induzida com resfriamento ativo, administração de tiopental sódico, aumento do fluxo de oxigênio através do oxigenador e restabelecimento da ventilação pulmonar. Foi estabelecido um *shunt* temporário entre a circulação sistêmica e a pulmonar.

A circulação extracorpórea durou 35 minutos e o desmame ocorreu sem drogas vasoativas. Ao término do procedimen-

to cirúrgico, o paciente foi encaminhado à unidade de tratamento intensivo. Após 12 horas, apresentava abertura ocular espontânea, sendo extubado após 18 horas do término da cirurgia sem sequelas neurológicas.

O sistema descartável de circulação extracorpórea foi encaminhado para análise técnica e o equipamento submetido à inspeção. Não se detectou problema com o aparelho de CEC, porém o oxigenador de membrana apresentava uma grande fissura em sua tampa, o que impedia seu correto funcionamento.

A Figura 1 reproduz o oxigenador e o reservatório venoso montado. A seta indica a rachadura, reproduzida em detalhes na Figura 2. Evidencia-se a dificuldade de visualização da fissura na tampa do oxigenador com o conjunto acoplado. No teste laboratorial, ao iniciar o fluxo de oxigênio através do oxigenador, a movimentação do papel picotado colocado sobre a área comprometida evidencia o vazamento (Figura 3).



Figura 1 – Oxigenador e Reservatório Venoso. A Seta Indica o Local da Fissura.

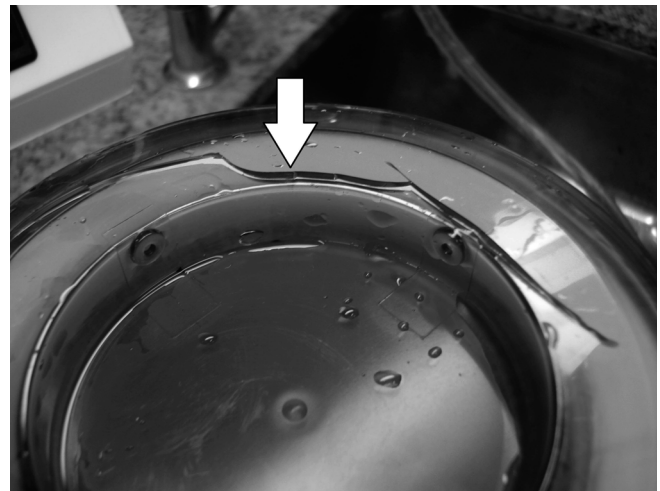


Figura 2 – Detalhe da Fissura.



Figura 3 – Imagem para Movimentação do Papel Evidenciando o Vazamento do Oxigenador.

O oxigenador foi submetido, em laboratório, à análise de transferência de gases – em um primeiro estágio com a fissura e, posteriormente, com a correção do defeito encontrado (tampa reparada com cola). O fluxo de sangue estabelecido para o teste foi de 1 a 7 L.min⁻¹. Foram avaliados o gradiente de pressão na câmara do sangue e de gás e a transferência de gás carbônico e de oxigênio, cujos resultados estão representados nos Gráficos I, II, III e IV, respectivamente.

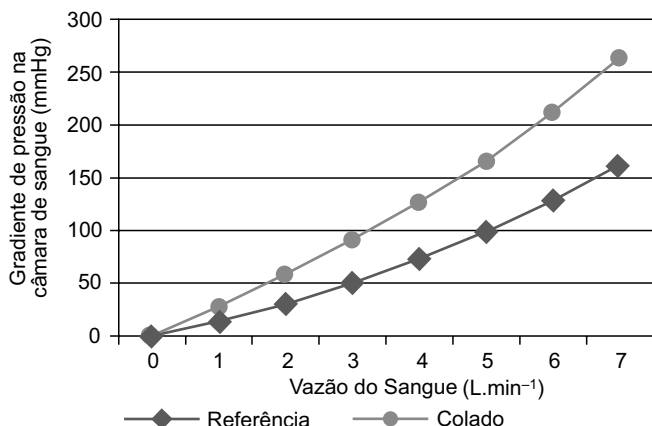


Gráfico I – Gradiente de pressão na câmara de sangue.

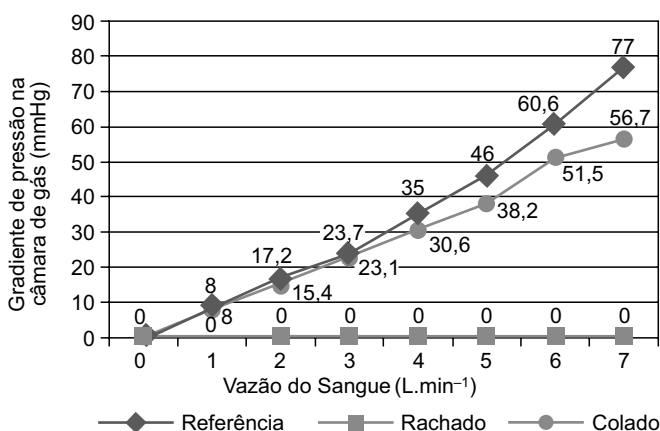


Gráfico II – Gradiente de pressão na câmara de gás.

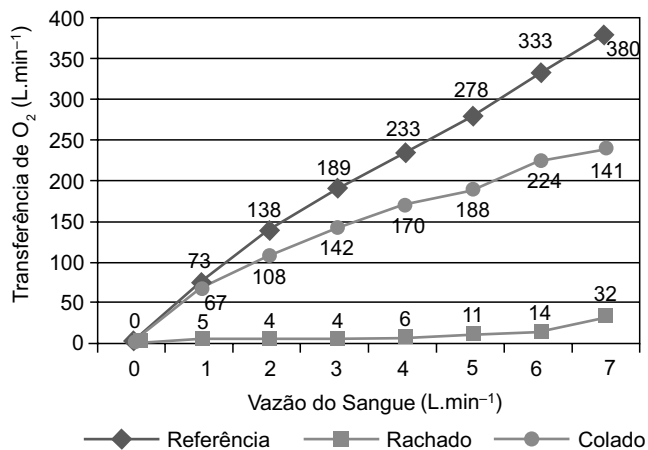


Gráfico III – Transferência de gás carbônico.

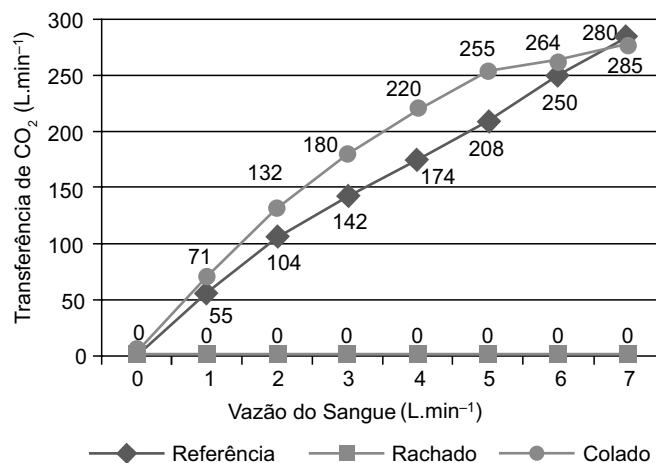


Gráfico IV – Transferência de oxigênio.

DISCUSSÃO

Em uma revisão americana de incidentes críticos, os autores demonstraram que 82% dos acidentes estavam associados a erros humanos. Os erros mais comuns foram desconexões do sistema respiratório, troca de seringas com medicações, erros no controle de fluxo de gás e alterações no fornecimento de gases. Apenas 4% dos incidentes com desfecho negativo envolveram falha em equipamentos, imputando-se, assim, grande responsabilidade a fatores humanos ⁵.

Um estudo australiano que analisou 896 incidentes relatou mau funcionamento de equipamentos em 234 dos casos (26%). Os equipamentos mais comuns envolvidos eram bombas de infusão e vaporizadores. Os maiores fatores contribuintes foram falha na checagem do equipamento (37%), desatenção (31%), pressa (14%) e equipamentos ou ambiente desconhecidos (10%). Os principais fatores para minimizar esses erros foram: a reverificação dos aparelhos (38%) e a detecção com monitores (33%) ⁶.

Uma revisão sobre incidentes com o uso de CEC envolvendo 671.290 procedimentos realizados em dois anos relatou 4.882 incidentes, sendo os mais comuns: reações à protamina (871), discrasias sanguíneas (857), falhas na bomba d'água (371), ar ou coágulo no circuito (657), dissecação arterial (293), falhas nos oxigenadores (272) e falhas mecânicas das bombas (260) ⁷.

Estudos realizados nos Estados Unidos apontaram elevação na incidência de falha do oxigenador. Em 1980, 1986 e 1989, a incidência era de 1:56.000, 1:13.600 e 1:2.700, respectivamente. Apesar do aumento das falhas, as causas nem sempre são bem definidas ⁸.

Os oxigenadores de membrana atuais utilizam membranas de polipropileno microporoso ou silicone. Podem ser classificados em oxigenadores de placas, em espiral ou de fibras ocas. Este último é o mais utilizado e pode ser subdividido de acordo com o que circula no interior da fibra (sangue ou gás). A passagem do sangue dentro das fibras pode gerar um gradiente de pressão elevado. O fluxo de gás por dentro

da fibra reduz o trauma produzido pela passagem do sangue pelo interior dos capilares e permite que se diminua a área de membrana necessária.

A passagem de um gás através da membrana depende de sua permeabilidade e do coeficiente de pressão entre os dois lados. A permeabilidade é uma propriedade relacionada à espessura e ao material de que a membrana é construída. As membranas não têm a mesma permeabilidade aos diferentes gases. A maioria das membranas permite a passagem do dióxido de carbono cerca de cinco a seis vezes mais rapidamente que a passagem do oxigênio.

No relato descrito, a fissura na tampa do equipamento impedia a correta oxigenação sanguínea. Apesar da checagem prévia do equipamento, a fissura não foi observada na inspeção inicial. A coloração azul da tampa e o local da quebra podem ter contribuído para essa dificuldade.

A ausência de gradiente de pressão na câmara de gás (Gráfico II; $p < 0,05$), mesmo com diferentes fluxos de sangue devido à grande rachadura na tampa do oxigenador contribuiu, de forma decisiva, para a baixa taxa de transferência de oxigênio (Gráfico IV; $p < 0,05$) e gás carbônico (Gráfico III; $p < 0,05$). Após o reparo da tampa do oxigenador com cola, o gradiente de pressão da câmara de gás ($p > 0,05$) e, consequentemente, a taxa de transferência de O_2 ($p > 0,05$) aproximaram-se dos valores de referência para fluxos sanguíneos abaixo de $4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Acima desse fluxo, observou-se queda no desempenho ($p < 0,05$ para transferência de O_2), justificável pelo fato de a peça ter sido utilizada anteriormente, apresentando pontos de coagulação que não puderam ser desobstruídos para a realização do teste, com consequente aumento do gradiente de pressão na câmara de sangue (Gráfico I; $p < 0,05$). A taxa de transferência de CO_2 com a tampa colada ultrapassou os valores de referência (Gráfico III; $p < 0,05$).

Além de fratura, o oxigenador e o circuito estão sujeitos a outros defeitos de funcionamento. Falhas de colagem, conectores ou tubos mal adaptados podem permitir vazamentos ou entrada de ar no circuito. Conectores com bordas amassadas podem provocar turbilhonamento com hemólise acentuada. Obstruções por dobras ou angulações podem impedir o fluxo, principalmente na perfusão neonatal, onde os tubos e as cânulas têm dimensões reduzidas e requerem fluxos relativamente mais elevados. O alto fluxo pode gerar força suficiente na cânula arterial para empurrá-la da aorta⁹.

Os oxigenadores de membrana oferecem resistência à passagem sanguínea, gerando diferença de pressão entre a entrada e a saída do equipamento. A elevação do gradiente, com o aumento da resistência ao fluxo sanguíneo, pode ocorrer devido à deposição de coágulos na superfície da membrana, o que compromete o correto funcionamento do aparelho e gera altas pressões no sistema⁸.

A obstrução do escape de gases do oxigenador de membrana pode produzir embolia aérea. O reservatório venoso deve conter volume de sangue proporcional ao fluxo arterial, evitando seu esvaziamento e, consequentemente, uma injeção maciça de ar pela bomba arterial¹⁰.

Outro defeito de difícil constatação é o vazamento no permutador de calor. O rompimento de pontos de menor resistência no permutador permite a transferência da água do sistema de troca de calor para o sangue arterial, produzindo hemólise, intoxicação hídrica e infecção¹¹. Deve-se respeitar o gradiente máximo de 10°C entre a temperatura da água e a do sangue arterial, principalmente nas fases de resfriamento e reaquecimento, evitando microembolias aéreas decorrentes de variações de solubilidade dos gases a diferentes temperaturas¹².

A coloração do sangue arterial na saída do oxigenador nos auxiliou na detecção precoce de hipoxemia. A confirmação foi obtida com a análise gasométrica do sangue. Apesar de não identificar a causa da falha no oxigenador, toda a equipe atuou com o objetivo de minimizar o dano com medidas paliativas. A restauração da ventilação pulmonar, o *bypass* temporário instituído pelo cirurgião entre a circulação sistêmica e pulmonar e a hipotermia mostraram-se fundamentais para o desfecho.

Existem aparelhos de monitoração da oximetria e capnografia dos gases da CEC^{13,14}. A análise do gás do misturador de gases (*blender*) e do gás expelido pela câmara do oxigenador permite monitorar o funcionamento do *blender*, analisar o desempenho da câmara de oxigenação e aferir o gás carbônico de saída do oxigenador. A falta dessa monitoração no serviço pode ter retardado o diagnóstico.

A participação do perfusionista não pode ser subestimada, pois desempenha papel importante na segurança dos procedimentos de CEC, seja por sua ação direta ou por ação dos equipamentos e aparelhos. Falha humana, falta de manutenção preventiva, uso inadequado dos dispositivos de segurança, falha na montagem e checagem dos equipamentos constituem fatores capazes de favorecer a ocorrência de acidentes.

Protocolos e *guidelines* têm sido propostos por serviços, entidades e sociedades organizadas, com a finalidade de diminuir os incidentes no perioperatório.

A interação entre a equipe, o diagnóstico precoce e a intervenção imediata mostraram-se fundamentais no desfecho favorável.

REFERÊNCIAS / REFERENCES

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. Abeyskera 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.

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.

Descriptor: COMPLICACIONES, Intraoperatorias; EQUIPOS, Oxigenador.