

Emprego do Suporte Cardiopulmonar com Bomba Centrífuga e Oxigenador de Membrana em Cirurgia Cardiovascular Pediátrica

Use of Centrifugal Pump and Extracorporeal Membrane Oxygenation as Cardiopulmonary Support in Pediatric Cardiovascular Surgery

Fernando A. Atik, Rodrigo Santos de Castro, Fabiana Moreira Passos Succi, Maria Regina Barros, Cristina Afiune, Guilherme de Menezes Succi, Ricardo B. Corso, Cristiano N. Faber, Jorge Y. Afiune, Luiz Fernando Caneo

Instituto do Coração do Distrito Federal, Brasília, DF - Brasil

Resumo

Fundamento: O suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana é um método de ressuscitação de distúrbios hemodinâmicos, pulmonares ou ambos, consagrado em centros internacionais.

Objetivos: Descrever diversos aspectos relacionados ao suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana em um serviço de cirurgia cardiovascular nacional e determinar seus resultados imediatos e tardios.

Métodos: Entre outubro de 2005 e janeiro de 2007, 10 pacientes foram submetidos a suporte circulatório e/ou respiratório em candidatos ou submetidos a cirurgia cardiovascular pediátrica, com idade mediana de 58,5 dias (40% de neonatos) e peso mediano de 3,9 kg. O suporte foi mantido com a intenção de recuperação e desmame, de acordo com critérios clínicos e ecocardiográficos diários. O suporte foi descontinuado nos pacientes sem indicação de transplante, com incapacidade de recuperação e com sobrevida limitada, de acordo com julgamento multidisciplinar.

Resultados: O suporte circulatório foi utilizado no pós-operatório de operações corretivas ou paliativas em 80% e no pré-operatório no restante. Instabilidade hemodinâmica grave irresponsiva (40%), falência miocárdica na saída de circulação extracorpórea (20%) e parada cardíaca no pós-operatório (20%) foram as indicações mais frequentes. O tempo médio de permanência em suporte circulatório foi de 58 ± 37 horas. O suporte foi retirado com sucesso em 50% e 30% obtiveram alta hospitalar. A sobrevida atuarial foi de 40%, 30% e 20% aos 30 dias, 3 meses e 24 meses, respectivamente.

Conclusão: O suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana foi um método eficaz e útil na ressuscitação de distúrbios cardiovasculares e pulmonares graves no perioperatório de cirurgia cardiovascular pediátrica. (Arq Bras Cardiol 2008; 90(4): 237-242)

Palavras-chave: Circulação extracorpórea com oxigenador de membrana, procedimentos cirúrgicos cardiovasculares, cirurgia torácica.

Summary

Background: Extracorporeal membrane oxygenation is a well-documented resuscitation method in patients with severe hemodynamic and/or respiratory impairment.

Objective: To describe several aspects related to the use of extracorporeal membrane oxygenation in a pediatric heart center and determine its immediate and late outcomes.

Methods: Between October 2005 and January 2007, 10 patients who were submitted to pediatric cardiac surgery underwent extracorporeal membrane oxygenation implant. Median age was 58.5 days (40% neonates) and median body weight was 3.9 kg. Circulatory assistance was initiated aiming at the recovery and the weaning protocols followed daily clinical and echocardiographic criteria. Support was discontinued when transplant was contraindicated, when the patient was unable to recover or when survival was considered to be limited by a multidisciplinary team.

Results: Extracorporeal membrane oxygenation was employed after corrective or palliative heart surgery in 80% and preoperatively in the remaining ones. It was most often indicated for irresponsive hemodynamic instability (40%), post-cardiotomy shock (20%) and post-cardiac arrest (20%). The mean duration on support was 58 ± 37 hours. Weaning was successfully in 50% of the cases and 30% were discharged home. Actuarial survival was 40%, 30% and 20% at 30 days, 3 months and 24 months, respectively.

Conclusion: Extracorporeal membrane oxygenation is an effective and useful tool for the resuscitation of patients presenting severe hemodynamic and/or respiratory failure in the perioperative period of pediatric cardiovascular surgery. (Arq Bras Cardiol 2008; 90(4): 216-220)

Key words: Extracorporeal Membrane Oxygenation; Cardiovascular Surgical Procedures; Thoracic Surgery.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Fernando A. Atik •

Estrada Parque Contorno do Bosque s/n, Brasília, DF - Brasil

E-mail: atikf@mac.com

Artigo recebido em 24/03/07; revisado recebido em 23/10/07; aceito em 05/12/07.

Introdução

O suporte cardiopulmonar com o uso de bomba centrífuga ou de rolete acoplada a um oxigenador é conhecido como ECMO (*Extracorporeal Membrane Oxygenation*). Suas principais indicações são o suporte respiratório, principalmente na síndrome da angústia respiratória, e o suporte cardiopulmonar no choque cardiogênico pós-cardiotomia, na parada cardiorrespiratória e como ponte para um dispositivo de assistência circulatória prolongado ou transplante cardíaco e/ou pulmonar.

A aplicação desse dispositivo no contexto de pacientes submetidos a cirurgia cardiovascular, insere-se na identificação precoce e na pronta correção de distúrbios hemodinâmicos graves refratários a medidas convencionais. O momento ideal de indicação da ECMO varia de acordo com o centro, sendo decidido individualmente. Diferentes estudos¹ sugerem esse fator como um dos responsáveis por resultados adversos associados à assistência circulatória, necessitando de abordagem padronizada.

A grande experiência adquirida e os progressos crescentes dessa área em centros internacionais¹⁻⁶ nortearam o desenvolvimento desse método em nosso meio.

Este trabalho teve como objetivos descrever diversos aspectos relacionados ao implante de ECMO pediátrica em um serviço de cirurgia cardiovascular nacional, que se caracteriza pelo atendimento integrado de adultos e crianças, e determinar seus resultados imediatos e tardios.

Métodos

Pacientes

Entre outubro de 2005 e janeiro de 2007, 11 pacientes foram

submetidos a ECMO como modo de suporte circulatório e/ou respiratório em pacientes candidatos ou submetidos a cirurgia cardiovascular. Desse total, 10 pacientes eram portadores de cardiopatias congênitas, constituindo a população deste estudo. O sexo masculino predominou em 6 (60%) pacientes, a idade mediana foi de 58,5 dias (3 dias a 8,3 anos), e 4 (40%) pacientes encontravam-se no período neonatal. O peso mediano foi de 3,9 kg, variando entre 2,7 kg e 22 kg.

Os diagnósticos anatômicos dos pacientes estão descritos na tabela 1. Nota-se que 3 (30%) pacientes apresentavam fisiologia univentricular.

Os dados perioperatórios foram colhidos retrospectivamente dos prontuários e o seguimento foi realizado por meio de consultas clínicas periódicas acompanhadas de avaliação ecocardiográfica. Este trabalho foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa de nossa instituição, que não requereu o termo de consentimento esclarecido.

Técnica de implante e condução da ECMO

A descrição dos materiais do circuito, dos modos de introdução das cânulas e do protocolo de condução da ECMO pode ser encontrada em publicações específicas^{7,8}. Em resumo, o circuito é baseado em uma bomba centrífuga (Bio-Pump BP-80, Medtronic BioMedicus, Eden Prairie, Minnesota, Estados Unidos) em conjunto com um oxigenador (Jostra Quadrox, Maquet Cardiopulmonary AG, Hirrlinger, Alemanha). A introdução das cânulas foi preferencialmente central, na aorta ascendente e no átrio direito em 8 pacientes (80%). Os outros 2 pacientes foram submetidos a implante de ECMO através da artéria carótida direita e da veia jugular interna sem abertura do tórax em um deles, e da artéria carótida direita e de ambos os átrios no outro.

Tabela 1 - Diagnósticos, procedimentos e evolução de pacientes submetidos a suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana

	Idade	Peso (kg)	Diagnóstico	Procedimento	Evolução
1	1 m	3,4	Síndrome de Williams	Cateterismo diagnóstico	Óbito
2	7 a	18,8	Heterotaxia, DVSVD, EP	Operação de Blalock-Taussig	Óbito
3	3 a	10,8	CIV, IAo	Ventriculoseptoplastia + plastia de valva aórtica	Desmame, óbito hospitalar
4	4 m	4,3	DATVP, CIV	Correção total	Desmame, alta hospitalar
5	4 d	3,4	TGA	Operação de Jatene	Desmame, alta hospitalar
6	3 d	2,7	SHCE	Operação de Norwood	Desmame, óbito hospitalar
7	18 d	3,6	DATVP infracardiaca	Correção total	Óbito
8	8 a	22	VU direito	Operação cavopulmonar total	Óbito
9	2 m	4,7	Coronária anômala	Correção total	Desmame, alta hospitalar
10	3 d	2,9	TF, agenesia da valva pulmonar	Correção total	Óbito

m – mês/meses, a – anos, d – dias, DVSVD – dupla via de saída de ventrículo direito, EP – estenose pulmonar, CIV – comunicação interventricular, IAo – insuficiência aórtica, DATVP – drenagem anômala total de veias pulmonares, TGA – transposição das grandes artérias, SHCE – síndrome de hipoplasia do coração esquerdo, VU – ventrículo único, TF – tetralogia de Fallot.

Heparina foi administrada previamente ao implante das cânulas e de forma contínua quando o tempo de coagulação ativado atingia 250 segundos, a fim de mantê-lo entre 150 e 200 segundos. Todos os pacientes foram mantidos sedados, sob ventilação mecânica orotraqueal e com o esterno aberto, sendo uma membrana de silicone suturada nos bordos da ferida operatória. O suporte cardiopulmonar foi mantido com a intenção de recuperação e desmame, de acordo com critérios clínicos e ecocardiográficos diários. A indicação de transplante foi considerada nos casos em que a recuperação era improvável, excluindo lesão neurológica grave e infecção sistêmica ativa. O suporte foi descontinuado em pacientes sem indicação de transplante, com incapacidade de recuperação e de sobrevida limitada, de acordo com julgamento multidisciplinar.

Análise estatística

As variáveis categóricas foram expressas por meio de frequências e porcentagens e as contínuas, por meio de médias e desvios padrão. Medianas foram utilizadas para amostras com distribuição heterogênea. A sobrevida atuarial foi obtida pelo método de Kaplan-Meier, utilizando o programa estatístico JMP 5.0 for SAS Institute (Cary, North Carolina, Estados Unidos).

Resultados

Os motivos pelos quais houve necessidade de ECMO nesses 10 pacientes foram variados. O implante ocorreu no pós-operatório de operações corretivas ou paliativas em 8 pacientes (80%), e no pré-operatório nos 2 restantes, em um dos quais nenhuma intervenção foi realizada. Tratava-se de paciente com síndrome de Williams com hipoplasia significativa da aorta ascendente e vasos da base, impossibilitando qualquer tipo de correção cirúrgica.

A ECMO foi indicada em decorrência de instabilidade hemodinâmica grave irresponsiva a medidas habituais no pós-operatório em 4 (40%) pacientes, de síndrome pós-cardiotomia na saída de circulação extracorpórea em 2 (20%) pacientes, de falha da ressuscitação cardíaca na parada cardiorrespiratória em 2 (20%) pacientes, e de insuficiência respiratória grave em um paciente no pós-operatório de correção de drenagem anômala total de veias pulmonares e hipóxia importante com instabilidade hemodinâmica no pré-operatório de correção de tetralogia de Fallot com agenesia de valva pulmonar, como forma de estabilização clínica. Um dos pacientes que apresentou parada cardiorrespiratória foi submetido a período temporário de circulação extracorpórea convencional, na tentativa de recuperação da função cardíaca, antes do implante de ECMO. O implante foi executado mais freqüentemente no centro cirúrgico (50%) e na unidade de terapia intensiva (40%). O paciente restante apresentou parada cardiorrespiratória durante a realização de cateterismo cardíaco diagnóstico e a ECMO foi implantada na sala de hemodinâmica. O intervalo mediano de tempo entre o evento desencadeador da indicação e o início da assistência circulatória foi de 20 minutos (0 a 180 minutos). Todos os pacientes apresentavam hipoperfusão tecidual grave, com lactato sérico médio de $12,4 \pm 4,4$ mmol/l.

Durante a condução da ECMO, o fluxo arterial máximo foi de 147 ± 37 ml/kg/min, levando à normalização dos dados de perfusão tecidual nas próximas quatro horas após o implante em todos os pacientes. O sangramento foi a complicação mais freqüente. Foi necessária a revisão cirúrgica de hemostasia em 8 (80%) pacientes, sendo uma vez em 5, duas vezes em 2 e três vezes em um paciente. As causas de sangramento estiveram relacionadas a coagulopatia em todos os pacientes, tendo sido associado a fratura esternal em 2 e a sangramento da aorta ao redor da cânula arterial em um paciente. A quantidade média transfundida de concentrado de hemáceas foi de 450 ± 269 ml/kg, de plasma fresco congelado foi de 135 ± 91 ml/kg, de concentrado de plaquetas foi de 236 ± 150 ml/kg, e de crioprecipitado foi de $12 \pm 9,7$ ml/kg.

O tempo médio de permanência em ECMO foi de 58 ± 37 horas. O suporte cardiopulmonar foi retirado com sucesso em 5 (50%) pacientes e 3 (30%) obtiveram alta hospitalar. As causas de morte estiveram relacionadas a choque cardiogênico e disfunção de múltiplos órgãos e sistemas em todos, agravadas por hemorragia alveolar em um paciente e por coagulação intravascular disseminada em outro. Insuficiência renal aguda ocorreu em 6 pacientes, sepse em 3 e síndrome da angústia respiratória em 2. Nenhum paciente foi colocado em lista para transplante pela presença de disfunção de múltiplos órgãos.

Todos os pacientes submetidos a ECMO mantiveram o tórax aberto pelo período total de suporte, além de um tempo adicional para estabilização hemodinâmica e controle de eventual sangramento. O tórax foi fechado na unidade de terapia intensiva em todos os casos. Apesar de o tempo mediano de tórax aberto ter sido de cinco dias (variação de 12 horas a 26 dias), não ocorreu nenhum caso de mediastinite. Os tempos medianos de ventilação mecânica, de permanência em unidade de terapia intensiva e de total pós-operatório foram, respectivamente, de 8,5 dias, 15 dias e 26,5 dias.

A sobrevida atuarial (fig. 1) foi de 40%, 30% e 20% aos 30 dias, 3 meses e 24 meses, respectivamente. Após seguimento médio de 11 ± 9 meses, 2 dos 3 sobreviventes encontram-se em bom estado geral, em classe funcional I. O ecocardiograma de controle revelou função ventricular preservada, sem

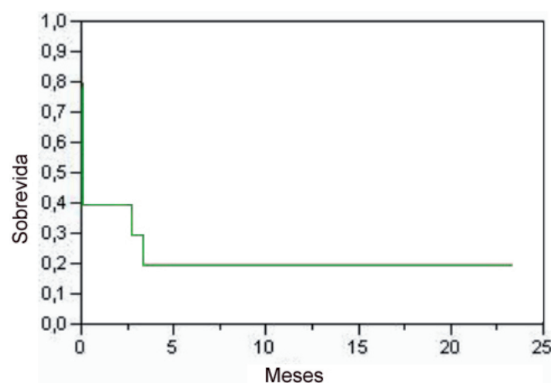


Fig. 1 - Sobrevida atuarial de pacientes submetidos a suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana. O eixo Y revela a sobrevida em porcentagens e o eixo X, o tempo em meses.

defeitos residuais. Um único paciente faleceu dois meses após a operação de Jatene, em decorrência de choque cardiogênico secundário a infarto agudo do miocárdio.

Discussão

O suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana vem sendo utilizado com alguns resultados satisfatórios em grandes centros mundiais há anos¹⁻⁶. Em nosso meio, seu desenvolvimento e sua aplicação clínica são limitados, estando restritos a poucos centros de alta complexidade⁸. De qualquer forma, a ECMO no perioperatório de cirurgia cardiovascular é um método eficaz no controle de alterações hemodinâmicas⁹ ou respiratórias graves¹⁰, possibilitando recuperação de órgãos-alvo¹¹ ou ponte para transplante em casos selecionados¹²⁻¹⁴. A maior experiência mundial com o método ocorre em pacientes pediátricos com insuficiência respiratória. Todavia, o uso de ECMO em pacientes adultos tem aplicabilidade importante, tanto na insuficiência respiratória grave como na assistência circulatória de curta duração, com intenção de recuperação, ponte para outro dispositivo de assistência circulatória prolongada ou ponte para transplante. O uso de ECMO em pacientes adultos no Primeiro Mundo só não é maior pela ampla disponibilidade de ventrículos artificiais, cuja experiência brasileira se restringe a casos isolados.

Neste trabalho, o uso de ECMO restringiu-se a uma população predominantemente pediátrica, sendo 40% neonatos e 30% com fisiologia univentricular. Adotando um protocolo de condução clínica que seguiu normas internacionais^{7,8}, 50% dos pacientes tiveram a ECMO retirada com sucesso e 30% obtiveram alta hospitalar. A sobrevivência tardia corroborou a eficácia do método nos sobreviventes.

Esses dados são concordantes com os de um registro internacional¹⁵, cujos centros cadastrados enviam seus resultados voluntariamente. Entretanto, a casuística deste estudo não permite corroborar a superioridade da ECMO quando a indicação for puramente respiratória, como acontece em outros estudos¹⁶. Os dados mais recentes do registro internacional de desmame e alta hospitalar foram 42% e 37% após cirurgia cardiovascular pediátrica e 77% e 55% para causas respiratórias. Todavia, os resultados da ECMO variam de acordo com o centro, refletindo vários tipos de indicação e fatores adversos relacionados ao paciente. Alsoufi e cols.¹⁷ identificaram os seguintes fatores de risco de mortalidade: idade, peso, tipo de assistência, duração da assistência, fisiologia univentricular, reexploração, número de complicações, sepse, e insuficiência tanto renal como respiratória.

Conforme pode ser observado neste trabalho, as indicações de ECMO podem ser variadas. A indicação principal foi instabilidade hemodinâmica grave no pós-operatório. Essa situação, caracteristicamente, manifesta-se por hipoperfusão sistêmica e disfunção ventricular grave, usualmente corroborada por ecocardiografia, apesar de reposição volêmica, suporte inotrópico e manejo ventilatório⁶. A inabilidade de identificação do problema e a pronta adoção de medidas terapêuticas levam a uma situação de colapso cardiocirculatório e parada cardíaca. Esta última foi a segunda maior indicação de ECMO em nossa experiência, assim como

a falência miocárdica na saída de circulação extracorpórea. Del Nido¹⁸ definiu os critérios de indicação de ECMO pós-parada cardiopulmonar como instituição rápida de ressuscitação cardiopulmonar, falta de recuperação após 20 minutos do início da ressuscitação e ausência de contra-indicações para ECMO, tais como sepse, lesão neurológica grave e insuficiência de múltiplos órgãos. Tecnicamente, a instituição de ECMO durante a parada cardíaca é mais complicada, pois necessita pronta preparação do circuito, treinamento constante de pessoal multiprofissional e coordenação da equipe para o implante à beira do leito. A introdução das cânulas pode ser central, necessitando de abertura do tórax, ou periférica, através de vasos cervicais ou femorais. Apesar da necessidade de organização logística, o uso de ECMO durante a parada cardiopulmonar deve ser incentivado¹⁹⁻²¹, pois é uma forma eficaz de ressuscitação e o resultado da mesma é semelhante ao da ECMO por demais causas²².

O conceito de indicação eletiva ou semi-eletiva da ECMO vem ganhando popularidade. Na realidade, propor a adoção universal dessa prática segue critérios intuitivos, a fim de possibilitar a reversibilidade do choque circulatório. Certamente, o insucesso da ECMO é diretamente proporcional à duração da insuficiência de múltiplos órgãos^{1,4}. Quanto maior o tempo de assistência, maiores serão as complicações, já que invariavelmente ocorrem alterações irreversíveis na microcirculação. Esses fatores estimularam alguns grupos a utilizar a ECMO rotineiramente após cirurgias neonatais complexas, como o primeiro estágio de Norwood²³.

As complicações da ECMO estão relacionadas, principalmente, à exposição do sangue a superfícies não-endotheliais, especialmente o oxigenador de membrana. Ocorre ativação da cascata inflamatória e da coagulação, hemólise e geração de fenômenos tromboembólicos, todos contribuindo para lesão de múltiplos órgãos. O uso de oxigenadores de membrana com melhor perfil²⁴ e de circuitos revestidos de heparina pode minimizar essas complicações.

A complicação mais freqüente, como demonstrado neste trabalho, é o sangramento causado normalmente por alterações de coagulação e pela manutenção do tórax aberto, expondo grande área cruenta aos efeitos da anticoagulação. Extremamente importante é manter o tempo de coagulação ativado entre 150 e 200 segundos, a contagem de plaquetas acima de 100 mil e os níveis de fibrinogênio acima de 100 mg/dl. O uso de hemocomponentes é importante, a fim de garantir o transporte de oxigênio adequado aos tecidos com hematócrito acima de 35% e de repor o consumo de fatores de coagulação. A revisão cirúrgica de hemostasia deve ser realizada assim que haja grande volume de sangramento agudo, persistência de sangramento por várias horas seguidas ou sinais de tamponamento cardíaco. O limiar para indicação nesta experiência é baixo, sendo a revisão realizada à beira do leito da terapia intensiva em todos os pacientes.

Complicações renais usualmente não constituem problema. A recuperação da função renal normalmente ocorre com a normalização da perfusão tecidual, mantendo pressão de pulso adequada. Caso haja disfunção renal persistente, um hemofiltro pode ser adicionado ao circuito para remover fluidos e corrigir distúrbios eletrolíticos e ácido-básicos. Como qualquer paciente grave, a otimização da nutrição é

essencial para a recuperação. Da mesma forma, a constante vigilância e o uso liberal de antibióticos são importantes no tratamento das infecções, que podem levar, com facilidade, a quadros sépticos²⁵. A grande propensão a esses problemas pode ser explicada pela imunossupressão causada pela própria assistência circulatória, pela grande invasão com o uso de cateteres e cânulas, pela presença de tórax aberto, pela ventilação mecânica prolongada e pela translocação bacteriana.

Embora não tenha sido avaliado especificamente neste trabalho, o custo da ECMO é elevado, incluindo uso de material e atendimento ao paciente. Apesar de a ECMO ser incluída nos códigos de procedimento dos convênios médicos e do Sistema Único de Saúde (SUS), o valor pago por esses provedores de saúde é insuficiente. Entretanto, a ECMO provou ser um método eficaz, permitindo a sobrevivência de alguns pacientes que não teriam outra opção viável de tratamento. Acreditamos que o custo do tratamento não deva ser um argumento negativo do método, privando eventuais pacientes da real possibilidade de recuperação ou de ponte para transplante.

Conclusão

O suporte cardiopulmonar com oxigenador de membrana mostrou ser um método eficaz e útil na ressuscitação de distúrbios cardiovasculares e pulmonares graves no perioperatório de cirurgia cardiovascular. A formação de uma equipe multiprofissional experiente e entrosada é fundamental na identificação precoce de complicações que

possam abreviar a sobrevivência. Nesse contexto, é extremamente importante acumular experiências em diversos centros na forma de um banco de dados nacional, a fim de determinar diretrizes de conduta. No futuro, revisões periódicas desses dados poderão racionalizar os recursos em centros de referência que se dediquem à alta complexidade de atendimento cardiovascular.

Agradecimentos

Os autores mostram-se agradecidos aos seguintes profissionais que viabilizaram a organização de um programa de assistência circulatória mecânica: perfusionistas Henrique Marangone N. Sampaio, Denise Lopes Costa, Mateus de Souza Santos e Karina Pereira Michelette; equipe de enfermagem, chefiada por Gladis Aparecida de Faria; e equipe de fisioterapia, chefiada por Aida Turquetto.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Referências

- Aharon AS, Drinkwater DC Jr, Churchwell KB, Quisling SV, Reddy VS, Taylor M, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in children after repair of congenital cardiac lesions. *Ann Thorac Surg.* 2001; 72: 2095-102.
- Kolovos NS, Bratton SL, Moler FW, Bove EL, Ohye RG, Bartlett RH, et al. Outcome of pediatric patients treated with extracorporeal life support after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg.* 2003; 76: 1435-42.
- Undar A, McKenzie ED, McGarry MC, Owens WR, Surprise DL, Kilpack VD, et al. Outcomes of congenital heart surgery patients after extracorporeal life support at Texas Children's Hospital. *Artif Organs.* 2004; 28: 963-6.
- Chaturvedi RR, Macrae D, Brown KL, Schindler M, Smith EC, Davis KB, et al. Cardiac ECMO for biventricular hearts after paediatric open heart surgery. *Heart.* 2004; 90: 545-51.
- Shah SA, Shankar V, Churchwell KB, Taylor MB, Scott BP, Bartilson R, et al. Clinical outcomes of 84 children with congenital heart disease managed with extracorporeal membrane oxygenation after cardiac surgery. *ASAIO J.* 2005; 51: 504-7.
- Thourani VH, Kirshbom PM, Kanter KR, Simsic J, Kogon BE, Wagoner S, et al. Venous extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) in pediatric cardiac support. *Ann Thorac Surg.* 2006; 82: 138-45.
- Duncan BW. Mechanical support for cardiac and respiratory failure in pediatric patients. New York: Marcel Dekker, Inc; 2001.
- Caneo LF. Condutas na ECMO. In: Auler JO Jr, Oliveira SA. Pós-operatório de cirurgia torácica e cardiovascular. Porto Alegre: Artmed; 2004. p. 280-302.
- Walters HL, Hakimi M, Rice MD, Lyons JM, Whittlesey GC, Klein MD. Pediatric cardiac surgical ECMO: multivariate analysis of risk factors for hospital death. *Ann Thorac Surg.* 1995; 60: 329-36.
- Dhillon R, Pearson GA, Firmin RK, Chan KC, Leanage R. Extracorporeal membrane oxygenation and the treatment of critical pulmonary hypertension in congenital heart disease. *Eur J Cardiothorac Surg.* 1995; 9: 553-6.
- Duncan BW, Bohn DJ, Atz AM, French JW, Laussen PC, Wessel DL. Mechanical circulatory support for the treatment of children with acute fulminant myocarditis. *J Thorac Cardiovasc.* 2001; 122: 440-8.
- Del Nido PJ, Armitage JM, Fricker FJ, Shaver M, Cipriani L, Dayal G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support as a bridge to pediatric heart transplantation. *Circulation.* 1994; 90 (5 Suppl 2): II66-II69.
- Gajarski RJ, Mosca RS, Ohye RG, Bove EL, Crowley DC, Custer JR, et al. Use of extracorporeal life support as a bridge to pediatric cardiac transplantation. *J Heart Lung Transplant.* 2003; 22: 28-34.
- Fiser WP, Yetman AT, Gunselman RJ, Fasules JW, Baker LL, Chipman CW, et al. Pediatric arteriovenous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) as a bridge to cardiac transplantation. *J Heart Lung Transplant.* 2003; 22: 770-7.
- Meliones JN, Custer JR, Snedecor S, Moler FW, O'Rourke PP, Delius RE. Extracorporeal life support for cardiac assist in pediatric patients: review of ELSO Registry data. *Circulation.* 1991; 84 (5 Suppl): III168-III172.
- Swaniker F, Kolla S, Moler F, Custer J, Grams R, Barlett R, et al. Extracorporeal life support outcome for 128 pediatric patients with respiratory failure. *J Pediatr Surg.* 2000; 35: 197-202.
- Alsoufi B, Shen I, Karamlou T, Giacomuzzi C, Burch G, Silberbach M, et al. Extracorporeal life support in neonates, infants, and children after repair of congenital heart disease: modern era results in a single institution. *Ann Thorac Surg.* 2005; 80: 15-21.

18. del Nido PJ. Extracorporeal membrane oxygenation for cardiac support in children. *Ann Thorac Surg.* 1996; 61: 305-11.
19. Morris MC, Wernovsky G, Nadkarni VM. Survival outcomes after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation instituted during active chest compressions following refractory in-hospital pediatric cardiac arrest. *Pediatr Crit Care Med.* 2004; 5: 440-6.
20. Mahle WT, Forbess JM, Kirshbom PM, Cuadrado AR, Simsic JM, Kanter KR. Cost-utility analysis of salvage cardiac extracorporeal membrane oxygenation in children. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 129: 1084-90.
21. Massetti M, Tasle M, Le Page O, Deredec R, Babatasi G, Buklas D, et al. Back from irreversibility: extracorporeal life support for prolonged cardiac arrest. *Ann Thorac Surg.* 2005; 79: 178-84.
22. Duncan BW, Ibrahim AE, Hraska V, del Nido PJ, Laussen PC, Wessel DL, et al. Use of rapid-deployment extracorporeal membrane oxygenation for the resuscitation of pediatric patients with heart disease after cardiac arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998; 116: 305-11.
23. Ungerleider RM, Shen I, Yeh T, Schultz J, Butler R, Silberbach M, et al. Routine mechanical ventricular assist following the Norwood procedure: improved neurological outcome and excellent hospital survival. *Ann Thorac Surg.* 2004; 77: 18-22.
24. Horton S, Thuys C, Bennett M, Augustin S, Rosenberg M, Brizard C. Experience with the Jostra rotaflo Quadrox oxygenator for ECMO. *Perfusion.* 2004; 19: 17-23.
25. Montgomery VL, Strotman JM, Ross MP. Impact of multiple organ system dysfunction and nosocomial infections on survival of children treated with extracorporeal membrane oxygenation after heart surgery. *Crit Care Med.* 2000; 28: 526-31.