



ISSN: 2595-1661

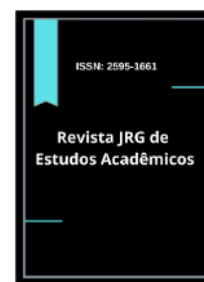
ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](http://portaldeperiodicos.capes.gov.br)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



Circulação extracorpórea e as complicações mais frequentes no intra e pós-operatório em cirurgias cardíacas

Extracorporeal circulation and the most frequent intraoperative and postoperative complications in cardiac surgeries.

DOI: 10.55892/jrg.v8i19.2775

ARK: 57118/JRG.v8i19.2775

Recebido: 01/12/2025 | Aceito: 08/12/2025 | Publicado on-line: 10/12/2025

Loryn Anne dos Passos de Moraes Cavalcanti¹

<https://orcid.org/0009-0005-8641-1402>

<http://lattes.cnpq.br/1649318676247996>

Instituto Sulamérica, SULAMÉRICA, Brasil.

E-mail: loryanne@hotmail.com

Daniele Marie Macedo Sousa²

<https://orcid.org/0000-0002-4613-7155>

<http://lattes.cnpq.br/3902751902365574>

Instituto Sulamérica, SULAMÉRICA, Brasil.

E-mail: daniellesousa@sulamericaacademia.edu.br



Resumo

A circulação extracorpórea (CEC) é tecnologia indispensável na cirurgia cardíaca contemporânea, porém associada a um amplo espectro de complicações intra e pós-operatórias que podem impactar negativamente a morbimortalidade e o tempo de recuperação dos pacientes. Este trabalho teve como objetivo revisar, de forma narrativa, as principais complicações relacionadas ao uso da CEC, com ênfase em alterações inflamatórias, hematológicas, pulmonares e neurocognitivas, bem como discutir estratégias atuais de prevenção e manejo. Trata-se de uma revisão bibliográfica realizada em bases como PubMed, SciELO, Web of Science e Google Acadêmico, contemplando estudos clássicos e publicações recentes sobre resposta inflamatória sistêmica, coagulopatia, lesão pulmonar aguda e disfunção cognitiva pós-operatória em cirurgia cardíaca com CEC. Os achados evidenciam que o contato do sangue com o circuito extracorpóreo, associado ao trauma cirúrgico e à isquemia-reperfusão, desencadeia resposta inflamatória sistêmica e alterações da hemostasia, contribuindo para disfunção de múltiplos órgãos, necessidade aumentada de suporte intensivo e maior tempo de internação. Complicações pulmonares e distúrbios neurocognitivos são particularmente prevalentes em pacientes idosos e portadores de comorbidades, reforçando a importância da

¹ Graduanda em Biomedicina pelo Instituto Sulamérica, SULAMÉRICA, Brasil.

² Possui graduação em Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual da Paraíba (2004), desenvolvendo pesquisas na Embrapa Algodão, nas áreas de Biotecnologia, Melhoramento Vegetal e Entomologia; mestrado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (2008) pesquisando os aspectos morfofisiológicos e a conservação pós-colheita de frutos e sementes de *Tamarindus indica* L.; doutorado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (2011).

estratificação de risco e de protocolos assistenciais individualizados. Tecnologias como a circulação extracorpórea minimamente invasiva, circuitos biocompatíveis e estratégias multimodais de proteção hemostática, pulmonar e cerebral têm demonstrado potencial para reduzir eventos adversos, embora ainda existam lacunas na padronização e implementação ampla dessas abordagens. Conclui-se que o reconhecimento precoce das complicações, aliado à adoção de práticas baseadas em evidências, é fundamental para tornar o uso da CEC mais seguro, contribuir para a qualificação da assistência em cirurgia cardíaca e orientar futuras investigações na área biomédica.

Palavras-chave: circulação extracorpórea; cirurgia cardíaca; complicações pós-operatórias; resposta inflamatória sistêmica; disfunção cognitiva.

Abstract

Extracorporeal circulation (ECC) is an indispensable technology in contemporary cardiac surgery, but it is associated with a broad spectrum of intraoperative and postoperative complications that can negatively impact morbidity, mortality, and patient recovery time. This study aimed to narratively review the main complications related to the use of ECC, with emphasis on inflammatory, hematological, pulmonary, and neurocognitive alterations, as well as to discuss current prevention and management strategies. This is a literature review conducted in databases such as PubMed, SciELO, Web of Science, and Google Scholar, including classic studies and recent publications on systemic inflammatory response, coagulopathy, acute lung injury, and postoperative cognitive dysfunction in cardiac surgery with ECC. The findings show that blood contact with the extracorporeal circuit—combined with surgical trauma and ischemia-reperfusion—triggers a systemic inflammatory response and hemostatic alterations, contributing to multiple organ dysfunction, increased need for intensive support, and longer hospital stays. Pulmonary complications and neurocognitive disorders are particularly prevalent in elderly patients and those with comorbidities, reinforcing the importance of risk stratification and individualized care protocols. Technologies such as minimally invasive extracorporeal circulation, biocompatible circuits, and multimodal hemostatic, pulmonary, and cerebral protection strategies have shown potential to reduce adverse events, although gaps remain in the standardization and widespread implementation of these approaches. It is concluded that early recognition of complications, together with the adoption of evidence-based practices, is essential to making the use of ECC safer, improving the quality of care in cardiac surgery, and guiding future research in the biomedical field.

Keywords: extracorporeal circulation; cardiac surgery; postoperative complications; systemic inflammatory response; cognitive dysfunction.

Introdução

A circulação extracorpórea (CEC) constitui uma tecnologia central na cirurgia cardíaca moderna, ao assumir transitoriamente as funções de bombeamento e oxigenação do sangue durante a parada cirúrgica do coração. Desde sua consolidação a partir da segunda metade do século XX, a CEC permitiu a realização de procedimentos cada vez mais complexos e de maior tempo de duração, com impacto direto na redução da mortalidade por doenças cardiovasculares, ainda que à custa de uma série de efeitos fisiopatológicos decorrentes da interação entre o

sangue e o circuito artificial (Paparella *et al.*, 2002; Kirklin *et al.*, 1983). Assim, o mesmo recurso que viabiliza correções estruturais delicadas também introduz um conjunto de riscos que precisam ser cuidadosamente reconhecidos e manejados.

As complicações relacionadas à CEC apresentam caráter multifatorial e podem envolver alterações inflamatórias, hemostáticas, pulmonares, neurológicas, renais e hemodinâmicas, com repercussões no intra e no pós-operatório imediato e tardio. Estudos apontam que a circulação extracorpórea, ao desencadear uma resposta inflamatória sistêmica e impactar a microcirculação e a homeostase, está associada ao aumento de morbidade, prolongamento de internação e maior necessidade de suporte em terapia intensiva (Landis *et al.*, 2014; Ball; Costantino; Pelosi, 2016). Nesse contexto, compreender a natureza e a frequência dessas complicações é fundamental para o aperfeiçoamento dos protocolos de cuidado perioperatório.

Um dos eixos centrais da fisiopatologia da CEC é a resposta inflamatória sistêmica induzida pelo contato do sangue com superfícies não endoteliais, pela lesão de isquemia e reperfusão e pela ativação de cascatas de citocinas e do sistema complemento (Paparella *et al.*, 2002; Kirklin *et al.*, 1983). Evidências recentes mostram que essa resposta inflamatória pode assumir um caráter maladaptativo, contribuindo para disfunção de múltiplos órgãos, especialmente em pacientes com comorbidades prévias, como doença renal crônica ou fragilidade imunológica (Banerjee; Feng; Sellke, 2024; Ball; Costantino; Pelosi, 2016). Dessa forma, a inflamação relacionada à CEC é hoje reconhecida como um alvo estratégico para intervenções farmacológicas e melhorias tecnológicas no circuito extracorpóreo.

As complicações pulmonares representam outro componente crítico no cenário pós-CEC, incluindo desde hipoxemia transitória e atelectasias até formas de lesão pulmonar aguda e síndrome da angústia respiratória aguda (Huffmyer; Groves, 2015). A ativação inflamatória, o estresse oxidativo, a alteração da permeabilidade endotelial e períodos de ventilação não fisiológica contribuem para comprometimento da mecânica e das trocas gasosas, o que pode prolongar o tempo de ventilação mecânica e aumentar o risco de infecções e permanência em terapia intensiva (Zheng *et al.*, 2022; Ball; Costantino; Pelosi, 2016). Tais complicações repercutem diretamente na recuperação funcional e na utilização de recursos hospitalares.

No âmbito neurológico, a disfunção cognitiva pós-operatória emerge como um desfecho de grande relevância, especialmente em pacientes idosos ou com reserva cognitiva reduzida. Revisões recentes apontam que alterações de atenção, memória e funções executivas após cirurgia cardíaca com CEC podem estar relacionadas à microembolização, à hipoperfusão cerebral e a processos inflamatórios sistêmicos, com impacto variável sobre a qualidade de vida em curto e longo prazos (Vu; Smith, 2022; Ball; Costantino; Pelosi, 2016). Esses achados reforçam a necessidade de abordagens multidisciplinares que incluam estratégias de proteção cerebral e acompanhamento cognitivo estruturado no pós-operatório.

Diante desse panorama, diversas estratégias vêm sendo propostas para atenuar os efeitos adversos da CEC, incluindo a otimização dos parâmetros de perfusão, a utilização de circuitos revestidos com materiais biocompatíveis, a redução do volume de prime, o emprego de técnicas de mini-CEC e a introdução de terapias farmacológicas moduladoras da resposta inflamatória (Landis *et al.*, 2014; Banerjee; Feng; Sellke, 2024; Zheng *et al.*, 2022). Embora haja resultados promissores, persistem lacunas quanto à padronização dessas intervenções e à sua incorporação rotineira em diferentes contextos assistenciais, especialmente em

sistemas de saúde com recursos limitados.

Nesse contexto, a compreensão aprofundada das principais complicações intra e pós-operatórias associadas à circulação extracorpórea e de seus mecanismos fisiopatológicos torna-se essencial para subsidiar decisões clínicas, orientar condutas preventivas e estimular inovações tecnológicas e organizacionais na prática cirúrgica. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre as complicações mais frequentes relacionadas à CEC, discutindo seus determinantes, desfechos e estratégias de prevenção e manejo, com foco na realidade contemporânea da cirurgia cardíaca. Espera-se que a síntese crítica da literatura contribua para o aperfeiçoamento dos cuidados em saúde e para a formação de profissionais capazes de atuar de forma segura, baseada em evidências e voltada à redução da morbimortalidade em pacientes submetidos a procedimentos com circulação extracorpórea.

MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica narrativa, de abordagem qualitativa, elaborado com o objetivo de sintetizar e discutir as principais complicações intra e pós-operatórias associadas ao uso da circulação extracorpórea (CEC) em cirurgias cardíacas, bem como os mecanismos fisiopatológicos envolvidos e as estratégias de prevenção e manejo. Optou-se por uma revisão narrativa por permitir integrar evidências de estudos com diferentes delineamentos (ensaios clínicos, coortes, revisões sistemáticas e artigos de revisão), oferecendo uma visão ampla e crítica sobre o tema, adequada ao escopo de um Trabalho de Conclusão de Curso em Biomedicina.

A busca dos estudos foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, SciELO, Web of Science e Google Acadêmico, por serem fontes amplamente utilizadas na área da saúde e contemplarem periódicos nacionais e internacionais de relevância. Foram utilizados descritores em português e em inglês, isolados e combinados com operadores booleanos AND e OR, tais como: “circulação extracorpórea”, “cirurgia cardíaca”, “complicações pós-operatórias”, “resposta inflamatória sistêmica”, “lesão pulmonar aguda”, “disfunção cognitiva pós-operatória”, “cardiopulmonary bypass”, “postoperative complications”, “systemic inflammatory response”, “pulmonary dysfunction” e “cognitive dysfunction”. As buscas foram conduzidas entre os meses de março e maio de 2025.

Como critérios de inclusão, foram selecionados artigos científicos que: (a) abordassem pacientes adultos submetidos à cirurgia cardíaca com uso de CEC; (b) descrevessem, de forma direta, complicações inflamatórias, hematológicas, pulmonares, renais ou neurocognitivas relacionadas à circulação extracorpórea; (c) estivessem disponíveis na íntegra em formato eletrônico; e (d) fossem publicados em português, inglês ou espanhol. Foi priorizado o período das últimas duas décadas (2000–2025), porém estudos clássicos anteriores a esse recorte foram incluídos quando considerados fundamentais para compreender os mecanismos fisiopatológicos da CEC ou marcos históricos da técnica.

Foram excluídos artigos que: (a) envolvessem exclusivamente cirurgias cardíacas sem uso de CEC (off-pump), sem análise comparativa com a técnica convencional; (b) se restringissem a relatos de caso isolados ou séries muito pequenas sem discussão aprofundada dos mecanismos envolvidos; (c) versassem sobre população pediátrica sem possibilidade de extrapolação para adultos; e (d) revisões narrativas ou textos opinativos sem clareza metodológica. Trabalhos duplicados entre as bases foram identificados pela comparação de título, autores e

ano de publicação, sendo mantida apenas uma versão.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em duas etapas. Na primeira, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos encontrados nas buscas, com eliminação dos artigos que, de forma evidente, não atendiam aos critérios de inclusão. Na segunda etapa, os textos potencialmente relevantes foram lidos na íntegra para confirmação da elegibilidade. Nessa fase, foi verificada a aderência dos estudos ao tema central da revisão, a clareza na descrição das complicações relacionadas à CEC e a pertinência das informações para os objetivos propostos.

Para cada artigo selecionado, foram extraídas e organizadas em planilha as seguintes informações: autores, ano de publicação, país de realização, tipo de estudo, população avaliada, tipo de procedimento cirúrgico, características da CEC (tempo de circulação, tipo de circuito, estratégias de perfusão), principais complicações descritas (inflamatórias, hematológicas, pulmonares, renais e neurocognitivas) e estratégias de prevenção ou manejo relatadas. A partir dessa matriz de dados, os resultados foram organizados em eixos temáticos, contemplando: resposta inflamatória sistêmica, alterações hematológicas, complicações pulmonares, disfunção cognitiva e avanços tecnológicos/estratégias de mitigação dos efeitos adversos da CEC.

Por se tratar de uma revisão bibliográfica baseada exclusivamente em fontes secundárias, sem envolvimento direto de seres humanos, não houve necessidade de submissão do estudo a Comitê de Ética em Pesquisa, respeitando-se, contudo, os princípios éticos de integridade acadêmica, com citação adequada de todos os autores e periódicos consultados e sem qualquer tipo de plágio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos selecionados evidenciou que as complicações associadas à circulação extracorpórea (CEC) em cirurgias cardíacas resultam de uma interação complexa entre fatores técnicos do procedimento, características do circuito extracorpóreo e condições clínicas prévias dos pacientes. Em consonância com revisões clássicas e atualizadas, observou-se que a resposta inflamatória sistêmica, as alterações hematológicas, as complicações pulmonares e a disfunção cognitiva pós-operatória (DCPO) se destacam como os principais eixos de morbidade no pós-operatório imediato e tardio.

No que se refere à resposta inflamatória sistêmica, os estudos convergem ao demonstrar que a CEC desencadeia uma síndrome inflamatória aguda, mediada pelo contato do sangue com superfícies não endoteliais, pela ativação do sistema complemento, pela endotoxemia e pelo fenômeno de isquemia-reperusão. Paparella, Yau e Young (2002) descrevem que múltiplos mediadores pró e anti-inflamatórios (citocinas, moléculas de adesão e fatores de transcrição como NF- κ B) são ativados, promovendo uma cascata inflamatória que pode evoluir para disfunção de múltiplos órgãos em pacientes suscetíveis. Revisões mais recentes reforçam que essa resposta inflamatória é redundante e autorreforçada, interagindo com as vias de coagulação e fibrinólise e ampliando o risco de choque, lesão de órgãos-alvo e complicações infecciosas no pós-operatório.

A revisão crítica conduzida por Landis *et al.* (2014) mostra que, embora existam inúmeras intervenções farmacológicas (corticosteroides, antifibrinolíticos, antioxidantes), cirúrgicas e mecânicas propostas para atenuar a resposta inflamatória à CEC, a evidência ainda é heterogênea e nenhuma estratégia isolada se mostra suficiente para eliminar o risco. De forma complementar, Banerjee, Feng e Sellke (2024) destacam que a combinação de medidas técnicas (otimização do

circuito, mini-CEC), remoção de mediadores inflamatórios e terapias farmacológicas pode representar uma abordagem multimodal mais promissora, ainda que a padronização dessas estratégias permaneça um desafio na prática clínica de rotina.

As complicações pulmonares surgem como desfecho particularmente frequente na literatura analisada. Huffmyer e Groves (2015) relatam que as alterações pulmonares pós-CEC variam desde hipoxemia transitória e atelectasias até quadros de lesão pulmonar aguda e síndrome da angústia respiratória aguda (SARA), tendo como principais mecanismos a inflamação sistêmica, a lesão de reperfusão e o estresse oxidativo. Revisão publicada por Zheng *et al.* (2022) reforça essa visão, destacando que a lesão pulmonar está associada a maior tempo de ventilação mecânica, maior incidência de infecções respiratórias e prolongamento da permanência em unidade de terapia intensiva, o que impacta diretamente a utilização de recursos hospitalares e os custos assistenciais.

Entre as estratégias de proteção pulmonar identificadas, destacam-se a ventilação protetora intraoperatória, a manutenção de recrutamento alveolar, o uso de oxigenadores de alta performance e a otimização da perfusão pulmonar durante a CEC. Alguns estudos recentes sugerem que intervenções como ventilação mecânica contínua durante a CEC e protocolos específicos de “lung-protective ventilation” podem reduzir a incidência de atelectasias e melhorar a oxigenação, embora a evidência ainda seja considerada de qualidade moderada e dependente do contexto institucional.

Do ponto de vista hematológico, os trabalhos revisados apontam que a coagulopatia associada à CEC resulta da combinação entre hemodiluição, consumo de fatores de coagulação, trombocitopenia e hemólise mecânica. Esses fenômenos se traduzem em maior risco de sangramento, necessidade de transfusão de hemoderivados e, conseqüentemente, exposição a eventos adversos transfusionais. Uma contribuição relevante de Ranucci *et al.* (2009), frequentemente citada em revisões de prática clínica, é a demonstração de que o uso de circuitos revestidos com superfícies biocompatíveis reduz a ativação plaquetária e a necessidade de transfusões, ainda que o impacto sobre mortalidade global permaneça limitado.

A introdução de circuitos heparinizados e de materiais com menor capacidade de ativação de complemento também se mostra promissora na redução da resposta inflamatória e das alterações hematológicas. Estudos observacionais sugerem menor drenagem torácica, menor uso de hemoderivados e recuperação mais rápida em pacientes operados com esses sistemas, comparados à CEC convencional. No entanto, as revisões enfatizam que tais benefícios dependem de protocolos de anticoagulação bem estabelecidos, treinamento adequado da equipe e monitorização rigorosa dos parâmetros de coagulação durante e após o procedimento.

Em relação às complicações neurológicas, a disfunção cognitiva pós-operatória (DCPO) aparece como um dos desfechos mais relevantes, especialmente em pacientes idosos e com múltiplas comorbidades. Vu e Smith (2022) ressaltam que a DCPO é a manifestação neurológica mais frequente após cirurgia cardíaca com CEC, podendo se manifestar por déficits em atenção, memória e funções executivas, com impacto significativo na qualidade de vida e na autonomia funcional. Outras revisões, como a de Bhushan *et al.* (2021), apontam incidência elevada de DCPO em pacientes de meia-idade e idosos, associando esse quadro a mecanismos de neuroinflamação, microembolização e hipoperfusão cerebral intraoperatória.

Os estudos analisados indicam que o monitoramento da perfusão cerebral por espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), associado ao controle rigoroso da pressão arterial e do fluxo da bomba, pode reduzir episódios de dessaturação

cerebral e, potencialmente, a incidência de DCPO. Ainda que os dados não sejam completamente conclusivos, há consenso de que a proteção neurológica deve envolver um conjunto de medidas, incluindo manejo anestésico individualizado, aquecimento gradual na reperfusão, controle glicêmico e correção de fatores de risco modificáveis no pré-operatório.

Outra constatação importante dos estudos é que o perfil de risco dos pacientes que se submetem à cirurgia cardíaca com CEC tem se tornado progressivamente mais complexo, em função do envelhecimento populacional e da maior prevalência de comorbidades. Ball, Costantino e Pelosi (2016) destacam que complicações cardiovasculares, respiratórias, renais e neurológicas no pós-operatório são particularmente frequentes nesse contexto, e que a estratificação pré-operatória de risco, aliada a protocolos de cuidados intensivos, é fundamental para reduzir morbimortalidade. Estudos mais recentes também indicam que marcadores laboratoriais e biomarcadores inflamatórios, como a heparin-binding protein, podem auxiliar na distinção entre inflamação estéril induzida pela CEC e infecção pós-operatória, contribuindo para decisões terapêuticas mais precisas.

De forma geral, os resultados desta revisão mostram que, embora a CEC permaneça indispensável para a realização de grande parte das cirurgias cardíacas, seu uso está intrinsecamente ligado a um conjunto de complicações que exigem monitorização minuciosa e aplicação de estratégias de prevenção e manejo baseadas em evidências. A literatura aponta avanços consistentes em termos de tecnologia de circuitos, estratégias protetoras pulmonares e cerebrais e intervenções anti-inflamatórias; contudo, também evidencia lacunas relacionadas à padronização de protocolos, à definição de biomarcadores preditores de risco e à avaliação de longo prazo dos desfechos.

Nesse sentido, os achados reforçam a necessidade de uma abordagem multiprofissional e individualizada na condução do paciente submetido à CEC, integrando perfusionistas, cirurgiões, anesthesiologistas, intensivistas e profissionais da área biomédica. A síntese crítica das evidências disponíveis indica que a redução das complicações associadas à CEC depende não apenas de inovações tecnológicas, mas também da consolidação de práticas assistenciais sistematizadas, da educação continuada das equipes e do fortalecimento de protocolos institucionais voltados para segurança do paciente e qualidade do cuidado em cirurgia cardíaca.

CONCLUSÃO

A circulação extracorpórea permanece como um recurso indispensável para a realização de cirurgias cardíacas de média e alta complexidade, permitindo a correção de cardiopatias estruturais e a realização de procedimentos extensos com segurança hemodinâmica. Entretanto, a síntese dos estudos analisados demonstra de forma consistente que o uso da CEC está intrinsecamente associado a um conjunto de complicações inflamatórias, hematológicas, pulmonares e neurocognitivas, que repercutem diretamente na morbimortalidade, no tempo de internação e na qualidade de vida dos pacientes no período pós-operatório. Assim, a compreensão dos mecanismos fisiopatológicos envolvidos e das variáveis técnicas que modulam essas respostas é fundamental para a prática clínica contemporânea em cirurgia cardíaca.

Os resultados desta revisão evidenciam que a resposta inflamatória sistêmica desencadeada pelo contato do sangue com o circuito extracorpóreo e pelo fenômeno de isquemia-reperfusão constitui o eixo central de grande parte das complicações observadas, interagindo com as vias de coagulação, a função

endotelial e a integridade de órgãos-alvo. Alterações hematológicas, como coagulopatia, hemólise e trombocitopenia, bem como a ocorrência de lesão pulmonar aguda e disfunção cognitiva pós-operatória, emergem como desfechos recorrentes, especialmente em pacientes idosos e portadores de múltiplas comorbidades. Esses achados reforçam a necessidade de uma abordagem perioperatória baseada na estratificação de risco, na monitorização intensiva e na adoção de estratégias protetoras multimodais.

Do ponto de vista tecnológico e organizacional, observa-se avanço importante na incorporação de circuitos extracorpóreos revestidos com superfícies biocompatíveis, na difusão da circulação extracorpórea minimamente invasiva (MiECC) e na utilização de ferramentas de monitorização avançada, como a espectroscopia no infravermelho próximo para avaliação da perfusão cerebral. Tais inovações têm demonstrado potencial para reduzir a magnitude da resposta inflamatória, a necessidade de hemoderivados e a incidência de complicações pulmonares e neurocognitivas. Contudo, os estudos ainda apontam heterogeneidade metodológica, ausência de padronização de protocolos e limitações na avaliação de desfechos em longo prazo, o que indica que esses recursos devem ser interpretados com cautela e integrados a fluxos assistenciais bem estruturados.

Como revisão narrativa, este trabalho apresenta limitações inerentes a esse delineamento, como a impossibilidade de quantificar de forma robusta o efeito das intervenções e a dependência da qualidade metodológica dos estudos incluídos. Além disso, apesar do esforço em contemplar publicações recentes e relevantes, não se pode excluir a possibilidade de que alguns estudos pertinentes não tenham sido identificados. Ainda assim, a análise crítica do conjunto de evidências permite delinear tendências consistentes e identificar pontos de convergência importantes para a prática clínica.

Diante do exposto, conclui-se que a redução das complicações associadas à circulação extracorpórea não depende apenas de avanços tecnológicos no circuito e na perfusão, mas, sobretudo, da consolidação de práticas assistenciais baseadas em evidências, da atuação integrada de equipes multiprofissionais e da implementação de protocolos institucionais voltados para a segurança do paciente. Para a Biomedicina, este tema revela um campo relevante de atuação e pesquisa, seja na investigação de biomarcadores inflamatórios e preditores de risco, seja no apoio ao monitoramento laboratorial e na validação de novas estratégias de proteção orgânica. Recomenda-se que futuras investigações aprofundem a avaliação de desfechos em longo prazo, explorem perfis específicos de pacientes de alto risco e contribuam para o desenvolvimento de diretrizes mais precisas, capazes de tornar o uso da CEC cada vez mais seguro, eficaz e alinhado aos princípios de cuidado humanizado.

REFERÊNCIAS

BANERJEE, D.; FENG, J.; SELLKE, F. W. Strategies to attenuate maladaptive inflammatory response associated with cardiopulmonary bypass. **Frontiers in Surgery**, Lausanne, v. 11, art. 1224068, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsurg.2024.1224068/full>. Acesso em: 26 nov. 2025.

LANDIS, R. C. *et al.* Attenuating the systemic inflammatory response to adult cardiopulmonary bypass: a critical review of the evidence base. **The Journal of Extra-Corporeal Technology**, [S.l.], v. 46, n. 3, p. 197–211, 2014. Disponível em: <https://europepmc.org/article/pmc/4566828>. Acesso em: 26 nov. 2025.

PAPARELLA, D.; YAU, T. M.; YOUNG, E. Cardiopulmonary bypass induced inflammation: pathophysiology and treatment. An update. **European Journal of Cardio-thoracic Surgery**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 232–244, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1010-7940\(01\)01099-5](https://doi.org/10.1016/S1010-7940(01)01099-5). Acesso em: 26 nov. 2025.

HUFFMYER, J. L.; GROVES, D. S. Pulmonary complications of cardiopulmonary bypass. **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 163–175, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.04.002>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BALL, L.; COSTANTINO, F.; PELOSI, P. Postoperative complications of patients undergoing cardiac surgery. **Current Opinion in Critical Care**, [S.l.], v. 22, n. 4, p. 386–392, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000319>. Acesso em: 26 nov. 2025.

ZHENG, X.-M. *et al.* Lung injury after cardiopulmonary bypass: alternative treatment prospects. **World Journal of Clinical Cases**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 777–794, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8790450/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

VU, T.; SMITH, J. A. An update on postoperative cognitive dysfunction following cardiac surgery. **Frontiers in Psychiatry**, [S.l.], v. 13, art. 884907, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.884907>. Acesso em: 26 nov. 2025.

KIRKLIN, J. K. *et al.* Complement and the damaging effects of cardiopulmonary bypass. **Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, [S.l.], v. 86, n. 6, p. 845–857, 1983. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Complement+and+the+damaging+effects+of+cardiopulmonary+bypass>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BANERJEE, D.; FENG, J.; SELLKE, F. W. Strategies to attenuate maladaptive inflammatory response associated with cardiopulmonary bypass. **Frontiers in Surgery**, Lausanne, v. 11, art. 1224068, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsurg.2024.1224068/full>. Acesso em: 26 nov. 2025.

LANDIS, R. C. *et al.* Attenuating the systemic inflammatory response to adult cardiopulmonary bypass: a critical review of the evidence base. **The Journal of**

Extra-Corporeal Technology, [S.l.], v. 46, n. 3, p. 197–211, 2014. Disponível em: <https://europepmc.org/article/pmc/4566828>. Acesso em: 26 nov. 2025.

PAPARELLA, D.; YAU, T. M.; YOUNG, E. Cardiopulmonary bypass induced inflammation: pathophysiology and treatment. An update. **European Journal of Cardio-thoracic Surgery**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 232–244, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1010-7940\(01\)01099-5](https://doi.org/10.1016/S1010-7940(01)01099-5). Acesso em: 26 nov. 2025.

HUFFMYER, J. L.; GROVES, D. S. Pulmonary complications of cardiopulmonary bypass. **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 163–175, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.04.002>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BALL, L.; COSTANTINO, F.; PELOSI, P. Postoperative complications of patients undergoing cardiac surgery. **Current Opinion in Critical Care**, [S.l.], v. 22, n. 4, p. 386–392, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000319>. Acesso em: 26 nov. 2025.

ZHENG, X.-M. *et al.* Lung injury after cardiopulmonary bypass: alternative treatment prospects. **World Journal of Clinical Cases**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 777–794, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8790450/>. Acesso em: 26 nov. 2025.

VU, T.; SMITH, J. A. An update on postoperative cognitive dysfunction following cardiac surgery. **Frontiers in Psychiatry**, [S.l.], v. 13, art. 884907, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.884907>. Acesso em: 26 nov. 2025.

KIRKLIN, J. K. *et al.* Complement and the damaging effects of cardiopulmonary bypass. **Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, [S.l.], v. 86, n. 6, p. 845–857, 1983. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Complement+and+the+damaging+effects+of+cardiopulmonary+bypass>. Acesso em: 26 nov. 2025.