

CIRCULAÇÃO EXTRACORPÓREA EM CÃES SUBMETIDOS A CIRURGIA CARDÍACA

EXTRACORPOREAL CIRCULATION IN DOGS UNDERGOING CARDIAC SURGERY

CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA EN PERROS SOMETIDOS A CIRUGÍA CARDÍACA

Victória Gabrielle dos Santos Rocha¹

Raquel Helena dos Santos Silvestrini²

Gabriela Sousa Matos³

Jean Carlo Pascoal Silva Martins⁴

Patrícia Franciscone Mendes⁵

RESUMO: Esse artigo buscou discutir sobre a circulação extracorpórea (CEC) que consiste em um método que assume temporariamente as funções do sistema cardíaco e do sistema respiratório durante cirurgias de alta complexidade, permitindo que correções no coração sejam feitas de forma segura e controlada. Na medicina veterinária, seu uso em cães ainda é limitado devido ao elevado custo, à demanda por equipamentos especializados e à complexidade do procedimento. No entanto, sua relevância tem aumentado, principalmente em casos de valvulopatias, defeitos septais, tetralogia de Fallot, transplantes cardíacos e correções de anomalias congênitas. A presente pesquisa oferece uma revisão da literatura sobre o uso da CEC em cães submetidos a cirurgias cardíacas, discutindo aspectos históricos, técnicos, fisiológicos, anestésicos e clínicos, além de enfatizar suas principais aplicações e complicações relatadas na literatura científica. A revisão reúne informações sobre a anatomia e a fisiologia cardíaca aplicadas à técnica, descrevendo também os componentes básicos do circuito extracorpóreo, como bombas, oxigenadores e permutadores de calor, e ressaltando a importância da escolha de protocolos anestésicos adequados para animais cardiopatas. Além disso, são discutidas complicações frequentemente associadas ao uso da CEC, incluindo alterações hemodinâmicas, metabólicas e inflamatórias, bem como distúrbios que afetam os pulmões, rins e sistema neurológico, o que evidencia a necessidade de monitoramento rigoroso em todas as fases do procedimento.

3406

Palavras-chave: Cirurgia cardíaca. Circulação extracorpórea. Suporte cardiopulmonar.

¹ Graduanda em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário das Américas (FAM).

² Graduada em psicologia pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Graduanda em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário das Américas (FAM).

³ Graduanda em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário das Américas (FAM).

⁴ Graduando em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário das Américas (FAM).

⁵ Médica Veterinária - CRMV-SP 30.901. Mestre e Doutora - Departamento de Patologia - FMVZ-USP. Profa. em Tempo Integral (TI). Centro Universitário das Américas (FAM).

ABSTRACT: This article sought to discuss cardiopulmonary bypass (CPB) which is a method that temporarily takes over the functions of the cardiac and respiratory systems during highly complex surgeries, allowing corrections in the heart to be performed in a safe and controlled manner. In veterinary medicine, its use in dogs is still limited due to high costs, the demand for specialized equipment, and the complexity of the procedure. However, its relevance has increased, especially in cases of valvular diseases, septal defects, tetralogy of Fallot, heart transplants, and corrections of congenital anomalies. The present study provides a literature review on the use of CPB in dogs undergoing cardiac surgery, discussing historical, technical, physiological, anesthetic, and clinical aspects, while emphasizing its main applications and complications reported in scientific literature. The review gathers information on cardiac anatomy and physiology applied to the technique, also describing the basic components of the extracorporeal circuit, such as pumps, oxygenators, and heat exchangers, and highlighting the importance of selecting appropriate anesthetic protocols for cardiac patients. Furthermore, it discusses complications frequently associated with the use of CPB, including hemodynamic, metabolic, and inflammatory alterations, as well as disorders affecting the lungs, kidneys, and nervous system, which demonstrates the need for strict monitoring at all stages of the procedure.

Keywords: Cardiac surgery. Cardiopulmonary bypass. Cardiopulmonary support.

RESUMEN: Este artículo buscó discutir sobre la circulación extracorpórea (CEC), que consiste en un método que asume temporalmente las funciones del sistema cardíaco y del sistema respiratorio durante cirugías de alta complejidad, permitiendo que se realicen correcciones en el corazón de forma segura y controlada. En medicina veterinaria, su uso en perros aún es limitado debido al alto costo, la demanda de equipos especializados y la complejidad del procedimiento. Sin embargo, su relevancia ha aumentado, principalmente en casos de valvulopatías, defectos septales, tetralogía de Fallot, trasplantes cardíacos y correcciones de anomalías congénitas. La presente investigación ofrece una revisión de la literatura sobre el uso de la CEC en perros sometidos a cirugías cardíacas, discutiendo aspectos históricos, técnicos, fisiológicos, anestésicos y clínicos, además de enfatizar sus principales aplicaciones y complicaciones reportadas en la literatura científica. La revisión recopila información sobre la anatomía y fisiología cardíaca aplicadas a la técnica, describiendo también los componentes básicos del circuito extracorpóreo, como bombas, oxigenadores e intercambiadores de calor, y destacando la importancia de elegir protocolos anestésicos adecuados para animales con cardiopatías. Además, se discuten las complicaciones frecuentemente asociadas al uso de la CEC, incluyendo alteraciones hemodinámicas, metabólicas e inflamatorias, así como trastornos que afectan los pulmones, riñones y sistema neurológico, lo que evidencia la necesidad de un monitoreo riguroso en todas las fases del procedimiento.

3407

Palabras clave: Cirugía cardíaca. Circulación extracorpórea. Soporte cardiopulmonar.

INTRODUÇÃO

A cirurgia cardíaca em cães tem apresentado avanços significativos nas últimas décadas, especialmente com a introdução de técnicas como a circulação extracorpórea (CEC), que possibilita a realização de procedimentos intracardíacos complexos. Essa técnica baseia-se no

uso de um circuito artificial que oxigena e circula o sangue enquanto os pulmões e o coração são temporariamente excluídos da função fisiológica. Para garantir sua eficácia e segurança, exige-se o controle rigoroso de parâmetros fisiológicos e a administração de anticoagulantes, como a heparina, a fim de evitar a coagulação provocada pelo contato do sangue com superfícies não biológicas (Chalégré ST, et al., 2011). Além disso, recursos como soluções cardioplégicas e hipotermia são empregados com o objetivo de proteger o miocárdio durante o procedimento (Abdouni A, 2020).

Na medicina veterinária, entretanto, a evolução das técnicas cirúrgicas cardíacas ocorreu de forma mais lenta em comparação à medicina humana, onde a CEC já era amplamente utilizada desde a década de 1950. Até a década de 1970, procedimentos torácicos, especialmente cardíacos, eram raramente realizados e, quando o eram, apresentavam prognóstico bastante reservado. Somente a partir da década de 1980, com o avanço e maior acessibilidade de exames como o eletrocardiograma e o ecocardiograma, houve maior interesse e desenvolvimento na área de cirurgia cardíaca veterinária (Freitas RR, 2004).

A técnica da CEC em cães permanece em constante estudo e aperfeiçoamento, sendo considerada fundamental para o avanço da cirurgia cardíaca veterinária. Dominar esse recurso permitirá que diversas intervenções, como cardioplegia otimizada, substituição valvar e

3408

inserção de próteses, possam ser realizadas com maior segurança e eficácia, oferecendo melhor qualidade de vida aos animais acometidos por enfermidades cardíacas (Freitas RR, 2004).

Diante desse contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre a utilização da circulação extracorpórea em cães submetidos à cirurgia cardíaca, abordando os aspectos fisiológicos, técnicos, benefícios, complicações e perspectivas futuras dessa prática na medicina veterinária.

MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, será realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados eletrônicos: Google Acadêmico, Periódicos Capes, PubMed, Scielo, PubVet, além de livros e teses publicadas em português e inglês. A seleção da pesquisa contemplará as seguintes palavras-chave: cirurgia cardíaca, circulação extracorpórea; anestesia em cães cardiopatas, anatomia e fisiologia do sistema cardiovascular; disponibilizadas em publicações científicas dos últimos 44 anos, conforme a disponibilidade de produções intelectuais durante o processo de desenvolvimento do projeto.

REVISÃO DE LITERATURA

Cirurgia cardíaca veterinária

As cirurgias cardíacas estão se tornando cada vez mais comuns na medicina veterinária, e por consequência, em constante evolução. Não há relatos precisos de quando ocorreu a primeira cirurgia cardíaca em um cão, mas há registros de diversas pesquisas feitas durante os anos 50 e 60, incluindo o primeiro transplante ortotópico de coração bem-sucedido em um canino no ano de 1960, realizado pelos médicos Dr. Norman Shumway e Dr. Richard Lower, da Universidade de Stanford (Shumway; Stinson, 1979). Esse caso também foi parte de um estudo, buscando aprimorar técnicas de transplante de coração em humanos, afinal, Shumway e Lower et al eram médicos não veterinários. Reforçando que ainda nessa época, eram raros os casos de intervenções cirúrgicas com intenção de curar quaisquer patologias cardíacas em cães de companhia. No mesmo ano, houve outro importante estudo de Shumway et al, foi o desenvolvimento da técnica de Ross, que também envolveram cães para seu desenvolvimento. A técnica consiste em substituir a valva aórtica. No caso, a técnica aplicada foi excisar a valva pulmonar, transplantá-la para a aorta descendente e aplicar uma aorta homóloga no lugar da valva pulmonar nativa excisada. 2 Cães sobreviveram durante 12 a 14 meses, e foram acompanhados frequentemente para acompanhar o prognóstico cirúrgico deles, embora sofressem com certa insuficiência pulmonar, os resultados foram animadores para a evolução da técnica em humanos adultos.

3409

Desde então, houve inúmeros avanços tecnológicos e técnicos de todas as áreas que compõem a clínica cirúrgica (Stanford Medicine; Department of Cardiothoracic Surgery).

Classificação

A cirurgia cardíaca é composta por duas classificações: procedimentos cardíacos fechados e procedimentos cardíacos abertos. Os procedimentos executados em pericárdio, ventrículos, átrios, veias cavas, aorta e artéria pulmonar principal são classificados como fechados, já que não necessitam de abertura das grandes estruturas do coração. Já nos casos de comunicação interventricular (CIV), comunicação interatrial (CIA) e Tetralogia de Fallot (Consequentemente haverá CIV), será requerida a abertura do coração para correção de tais afecções, sendo fortemente recomendado o auxílio da circulação extracorpórea para manter a perfusão de órgãos. (Fossum TW, 2021).

Pré-operatório

Em animais que necessitam de cirurgia cardíaca, o ideal é avaliar o paciente com anamnese específica detalhada, exame físico, eletrocardiograma e ecocardiograma para identificar se há presença de quaisquer comprometimentos cardiovasculares ou respiratórios, e estabilizá-lo para ter maior segurança ao realizar o procedimento cirúrgico. Caso não haja exames pré-operatórios, as consequências podem ser devastadoras. Em caso de insuficiências cardíacas congestivas, particularmente o edema pulmonar, deve-se iniciar o protocolo medicamentoso com diuréticos (p. ex, furosemida), inibidores da enzima conversora de angiotensina (ECA) (p. ex, enalapril, benazepril e lisinopril) e um inodilatador (pimobendan).

Deve-se também, diagnosticar e tratar quaisquer arritmias cardíacas, como a taquicardia ventricular, que devem ser controladas através do uso de substâncias antiarrítmicas de classe I (p. ex, lidocaína e procainamida). Em caso de taquicardias supraventriculares, é indicado o uso de digoxina, bloqueadores β -adrenérgicos (p. ex, esmolol, propranolol e atenolol) e bloqueadores do canal de cálcio (p. ex, diltiazem). Em fibrilação atrial, segue o mesmo protocolo para taquicardias supraventriculares, porém, não necessariamente haverá o uso da digoxina para reduzir a frequência da resposta ventricular para menos de 140 bpm.

3410

Em animais que apresentam bradicardia, é indicada a realização do teste de atropina ou glicopirrolato antes do procedimento cirúrgico. Se a bradicardia não for responsiva, pode ser necessário o uso de marcapasso transvenoso temporário. (Fossum TW, 2018).

Técnica cirúrgica

Fundamentalmente, a cirurgia cardíaca não é diferente de outras abordagens cirúrgicas de tecidos moles, porém, por ser um dos mais sensíveis e importantes órgãos do corpo, uma técnica mal-feita pode ter consequências devastadoras. Um grande desafio da cirurgia cardíaca, é a movimentação vinda da contração do coração e da ventilação, dificultando ainda mais a técnica. As ligaduras são de extrema importância em procedimentos do sistema cardiovascular, e o mais indicado para abordagens em tórax.

Geralmente, o cirurgião tem preferência em realizar ligadura à mão, ao invés do uso de instrumentais, por serem mais rápidos, firmes e seguros, em relação às ligaduras feitas com instrumentais. O fechamento de estruturas cardiovasculares, deve ser feita com precisão e boa técnica de sutura, para minimizar a hemorragia. É importante o uso de suturas delicadas e com agulhas atraumáticas curvadas (lembrando que suturas de vísceras, são sempre feitas com o uso

de instrumentos cirúrgicos, diferente das ligaduras, que o uso ou não, vai da preferência do cirurgião (Fossum TW, 2018).

Cicatrização das estruturas cardiovasculares

As estruturas vasculares apresentam elevado potencial de reparação com deposição quase imediata de fibrina, que constitui uma matriz cicatricial em poucos minutos. Nas veias utilizadas com enxertos, observa-se epitelização e restauração endotelial precoce. A ocorrência de trombose é frequente em vênulas submetidas a oclusão traumática transitória. Pelo ponto de vista clínico, tal evento não foi observado com a mesma intensidade quando há oclusão de veias mais calibrosas. Para prevenir trombose de estruturas vasculares, as mesmas devem ser manuseadas delicadamente e da forma menos traumática possível, afinal, quando há trauma em vasos, pode ocorrer a deposição de plaquetas, fibrina e hemácias na superfície da camada íntima. Quando há descolamento ou elevação da camada íntima, pode-se originar um retalho intraluminal capaz de obstruir parcial ou totalmente o fluxo distal. Esse processo favorece o acúmulo de sangue na parede do vaso, com consequente aumento da viscosidade intraluminal e subsequente trombose (Fossum TW, 2021).

3411

Materiais de sutura e instrumentos especiais

Fios de polipropileno e poliéster trançado são os padrões para uso em procedimentos cardiovasculares. Os tamanhos mais comuns são 3-0, 4-0 e 5-0 (os menores podem ser utilizados para anastomoses vasculares). Os fios devem estar disponíveis com agulhas cardiovasculares curvas e de diversos tamanhos.

Para uma cirurgia torácica bem-sucedida, é essencial o instrumental cirúrgico adequado. A maioria dos instrumentos utilizados em cirurgia geral, são utilizados na cirurgia cardíaca, porém, alguns especiais são de extrema importância para sua realização com maestria. É sempre recomendado que haja pelo menos dois de cada instrumental, tanto para auxiliar no procedimento, quanto para se houver algum incidente que um deles se contamine. O afastador torácico padrão é o Finochietto (Os afastadores ortopédicos autorretentores podem substituir os torácicos para cães e gatos pequenos). A pinça padrão para a cirurgia torácica é a DeBakey (é recomendado que pelo menos uma pinça DeBakey possua superfície de carbureto para prender agulhas de sutura). A tesoura padrão da cirurgia cardíaca é a Metzembau, sendo mais versáteis as tesouras curtas. Os porta-agulhas de escolha são o Mayo-Hegar, Crile-Wood e Castroviejo.

Devem ser longos, e de vários tamanhos, para se adequarem aos diversos tamanhos de agulhas que requerem a cirurgia cardíaca. Pinças hemostáticas são de extrema importância para tal procedimento, visando a oclusão temporária de estruturas cardiovasculares e pulmonares. Tais pinças devem ser atraumáticas, sendo uma excelente escolha a pinça Satinsky. (Fossum TW, 2021).

Pós-operatório

A monitorização do paciente constitui um dos aspectos mais relevantes da cirurgia cardíaca, sendo os cuidados pós-operatórios determinantes para o prognóstico. Animais submetidos a procedimentos torácicos devem permanecer hospitalizados após a intervenção, sob supervisão contínua de um médico veterinário intensivista, durante 3 dias em unidade de terapia intensiva (UTI) e com a devida autorização do tutor (Andrade JNBM, 2016). O suporte necessário varia conforme a condição clínica, considerando variáveis como idade, escore corporal, presença de comorbidades, tipo de cirurgia realizada, intercorrências transoperatórias e, principalmente, a função cardiopulmonar.

Entre os parâmetros críticos, a avaliação da ventilação é de fundamental importância, uma vez que a deficiência ventilatória é comum no pós-operatório imediato. A hipoventilação pode ser secundária a alterações fisiológicas ou ao manejo inadequado da dor. O marcador mais confiável da ventilação alveolar é a pressão parcial de dióxido de carbono no sangue arterial (PaCO_2). Valores superiores a 40 mmHg caracterizam hipoventilação alveolar, exigindo intervenção voltada à correção da causa desencadeante.

A administração de fármacos depressores da ventilação, como opioides e bloqueadores neuromusculares, deve ser realizada com cautela, ponderando-se os riscos de depressão respiratória frente à hipoventilação induzida pela dor. Em situações de hipoventilação grave, a intubação orotraqueal imediata é indicada para restabelecer a oxigenação arterial (PaO_2), normalizar a PaCO_2 , corrigir distúrbios de pH, estabilizar a pressão arterial (PA) e a frequência cardíaca (FC). Após a estabilização e a redução do comprometimento ventilatório, procede-se à extubação. Infusões contínuas de propofol e fentanil podem promover conforto e estabilidade até a resolução de incompatibilidades, ventilação/perfusão ou quadros de acidose metabólica. Contudo, deve-se considerar que o propofol pode induzir hipotensão, sendo o uso de agentes vasopressores recomendado para correção (Fossum TW, 2021).

Em condições fisiológicas, a troca gasosa alveolocapilar mantém equilíbrio entre as pressões parciais de oxigênio alveolar (PAO_2) e arterial (PaO_2). Entretanto, em pacientes com comprometimento da difusão pulmonar, observa-se hipoxemia, caracterizada pela discrepância entre PAO_2 e PaO_2 . Tal condição pode resultar de desequilíbrios na relação ventilação/perfusão ou da presença de shunts decorrentes de atelectasia por absorção. Durante procedimentos com circulação extracorpórea, a interrupção da ventilação promove colapso alveolar, favorecendo a ocorrência de atelectasia. A reperfusão de áreas pulmonares colapsadas ocasiona o trânsito de sangue não oxigenado, aumentando os shunts intrapulmonares. Nestes casos, a administração de altas concentrações de oxigênio mostra-se ineficaz, sendo necessária ventilação assistida associada à pressão expiratória final positiva (PEEP), indicada exclusivamente em quadros graves e refratários à oxigenoterapia convencional. (Powers K e Dhamoon A, 2023)

Outro aspecto relevante é o monitoramento da pressão arterial sistêmica (PAS), diretamente relacionada ao débito cardíaco e à resistência vascular sistêmica. A cateterização arterial é o método mais preciso para sua aferição, permitindo não apenas mensuração contínua, mas também coleta de sangue para hemogasometria. O aumento do débito cardíaco ou da resistência vascular sistêmica resulta em elevação da PAS, enquanto a correção da hipotensão deve priorizar intervenções que restabeleçam o débito cardíaco (Andrade JNBM, 2016).

3413

O eletrocardiograma à beira leito é igualmente indispensável no acompanhamento de animais submetidos à cirurgia cardíaca, possibilitando a detecção precoce de arritmias. A taquicardia sinusal é a alteração de ritmo mais comumente observada nesses pacientes, e sua abordagem terapêutica deve ser direcionada à correção da causa primária, como hipovolemia, dor, ansiedade, acidose, hipotensão, anemia, hipoxemia ou uso de determinados fármacos, com enfoque na otimização do débito cardíaco. (Fossum TW, 2021).

Circulação extracorpórea veterinária

A circulação extracorpórea (CEC) é uma técnica cirúrgica que permite substituir temporariamente as funções cardíaca e pulmonar durante cirurgias cardíacas em cães (BVS-VET, 2016). Apesar do uso comum na medicina humana, a aplicação na medicina veterinária permanece restrita, em razão do alto custo e da complexidade técnica envolvida (Silva MA, 2006). Nesse contexto, o manejo anestésico assume papel fundamental, garantindo estabilidade hemodinâmica e prevenindo lesões em órgãos vitais ao longo do procedimento (Gonçalves RC, et al., 2011).

Durante a CEC, a hipotermia, seja moderada ou profunda, é frequentemente utilizada com o objetivo de reduzir o metabolismo tecidual. Em cães de pequeno porte, a associação de fluxos de perfusão mais baixos a uma hipotermia leve tem se mostrado eficaz (Uemura K, et al., 2010). Parâmetros como pressão arterial média, pressão venosa central e saturação arterial de oxigênio costumam permanecer dentro de faixas aceitáveis durante as fases de perfusão e reperfusão (Gonçalves RC, et al., 2011).

O procedimento, entretanto, pode ocasionar alterações metabólicas, eletrolíticas e gasométricas, incluindo variações de pH, bicarbonato e glicose (Silva MA, 2006). Para a indução anestésica, recomenda-se o uso de agentes de baixa depressão cardiovascular, como o isoflurano (Uemura et al., 2010). A proteção miocárdica, especialmente durante o clampeamento da aorta, é realizada por meio de soluções cardioplégicas, frequentemente hipercalêmicas (BVS-VET, 2010).

A anticoagulação do circuito é obtida com heparina, monitorada pelo tempo de coagulação ativado, e revertida com protamina ao final da perfusão (Andrade JCS e Soares AM, 1987). O monitoramento do paciente deve englobar parâmetros hemodinâmicos, gasometria, eletrólitos e hematócrito, garantindo segurança e eficácia durante todo o procedimento (Andrade JCS e Soares AM, 1987).

3414

O desmame da CEC requer ajustes cuidadosos de pré-carga, contratilidade e pós-carga, prevenindo episódios de baixo débito cardíaco (BVS-VET, 2016). Alterações histopatológicas em coração e pulmões já foram observadas após a reperfusão em cães (Silva MA, 2006). Relatos clínicos indicam que cães portadores de defeitos cardíacos congênitos conseguiram sobreviver à correção cirúrgica com sucesso utilizando a CEC (Uemura K, et al., 2010).

Contexto histórico

Na medicina humana, a introdução da circulação extracorpórea na década de 1950 representou um marco para a cirurgia cardíaca, permitindo intervenções intracardíacas complexas com maior segurança (Ribeiro SN, 2012). No Brasil, os primeiros procedimentos com CEC foram realizados por Felipozi (1955) e Zerbini (1958), com destaque para a contribuição de Adib Jatene e do Instituto do Coração da Universidade de São Paulo (INCOR-USP), que impulsionaram a técnica ao difundirem o uso da hemodiluição, ampliando sua aplicação clínica (Santos ALS, 2009).

Na medicina veterinária, Andrade JNBM (2016) ressalta que os procedimentos torácicos evoluíram gradativamente: inicialmente restritos ao alívio de efusões e correções simples de ductos persistentes, avançaram para técnicas complexas viabilizadas pela incorporação da CEC e pelo desenvolvimento de novos protocolos. Essa evolução acompanhou o movimento observado na medicina humana, embora ainda limitada por barreiras técnicas, econômicas e logísticas.

Desenvolvimento Técnico

A circulação extracorpórea é uma técnica que substitui temporariamente as funções cardíacas e pulmonares, desviando o sangue para um circuito externo que realiza a oxigenação e a remoção de CO₂, devolvendo-o ao organismo em condições controladas de fluxo e pressão (Santos ALS, 2009; Ribeiro SN, 2012). Esse recurso é fundamental para procedimentos como correção de comunicação interventricular (CIV) e interatrial (CIA), tetralogia de Fallot, valvuloplastias e até transplantes cardíacos (Júnior JOCA e Chiaroni S, 2000).

O circuito da CEC é composto por cânulas venosas e arteriais, bomba arterial (centrífuga ou de roletes), oxigenador de membranas, permutador de calor, reservatórios e filtros (Kwasnicka KL, 2003). Sob o ponto de vista fisiológico, a CEC deve manter a perfusão sistêmica, preservar o equilíbrio ácido básico e garantir condições metabólicas adequadas ao organismo, enquanto, coração e pulmões permanecem inativos. Estratégias como hemodiluição e hipotermia são frequentemente utilizadas para reduzir a viscosidade sanguínea, otimizar a microcirculação e diminuir o metabolismo celular, oferecendo maior proteção aos tecidos (Freitas RR, 2004).

Apesar dos benefícios, a literatura evidencia que a técnica pode desencadear complicações significativas. Entre elas, destacam-se hipotensão, instabilidade circulatória, atelectasia, edema pulmonar, disfunção renal aguda, déficits neurológicos e resposta inflamatória sistêmica, além da lesão por reperfusão decorrente da produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (Kwasnicka KL, 2003; Ribeiro SN, 2012). Tais riscos exigem protocolos perioperatórios rigorosos, que incluem heparinização sistêmica, administração de soluções cardioplégicas e monitoramento intensivo em todas as fases do procedimento (Santos ALS, 2009).

Princípios Técnicos e Fisiológicos da Circulação Extracorpórea

A circulação extracorpórea (CEC) é uma técnica amplamente empregada em procedimentos cirúrgicos intratorácicos de alta complexidade, cujo objetivo é substituir temporariamente as funções cardíacas e pulmonares, permitindo que o cirurgião atue diretamente nas estruturas cardíacas com segurança. O sangue venoso é drenado do paciente e conduzido a um circuito externo, no qual ocorre a oxigenação artificial e a remoção do dióxido de carbono (CO_2). Em seguida, esse sangue é reinfundido na circulação arterial, assegurando a manutenção da perfusão sistêmica e da oxigenação tecidual durante o período de inatividade cardíaca e pulmonar (Kwasnicka KL, 2003).

Sob o ponto de vista fisiológico, a CEC deve preservar a estabilidade hemodinâmica, o equilíbrio ácido-básico e condições metabólicas adequadas ao organismo. Para tanto, são utilizadas estratégias como a hemodiluição, que reduz a viscosidade sanguínea e favorece a microcirculação, e a hipotermia induzida, que diminui o metabolismo celular e confere maior proteção aos tecidos contra lesões isquêmicas (Freitas RR, 2004).

Além dessas medidas, o manejo seguro da CEC exige monitoramento contínuo de parâmetros como pressão arterial média, hematócrito, temperatura corporal, equilíbrio ácido-básico e perfusão coronariana. A aplicação de soluções cardioplégicas desempenha papel essencial, promovendo a paralisação controlada do coração e garantindo a preservação da função miocárdica após o término da perfusão (Freitas RR, 2004; Kwasnicka KL, 2003).

Nesse contexto, a CEC não apenas viabiliza a execução de intervenções intracardíacas de forma segura, como também atua como recurso indispensável para a preservação da homeostase durante a interrupção transitória das funções vitais do coração e dos pulmões.

Quando realizar

A circulação extracorpórea cardíaca pode ser aplicada em praticamente todas as intervenções intra-cardíacas que necessitem da abertura do coração em cães, como a retirada de tumores, correção de defeitos septais, correção cirúrgica da persistência do ducto arterioso, comunicação intra-atrial, correção definitiva da Tetralogia de Fallot e estenoses valvares (Ribeiro SN, 2012; Medeiros LC, et al., 2024).

Uma das principais aplicabilidades da CEC, na rotina veterinária, são as valvuloplastias da mitral, defeitos do septo atrial e ventricular, estenose pulmonar e aórtica, e Tetralogia de Fallot (Ribeiro SN, 2012; Medeiros LC, et al., 2024).

Além disso, a CEC também pode ser indicada em casos de transplante cardíaco (Borges M, 2013), em procedimentos de correção de anomalias congênitas complexas, como a transposição dos grandes vasos (Knupp SNR, et al., 2014), e em reparos cirúrgicos de lesões traumáticas que envolvam o coração (Ribeiro SN, et al., 2010).

Anatomia e fisiologia com relevância para a CEC

O conhecimento da anatomia e fisiologia cardiovascular em cães é essencial para compreender os efeitos sistêmicos da circulação extracorpórea (CEC), técnica utilizada em cirurgias cardíacas complexas. A CEC substitui temporariamente as funções cardíaca e pulmonar, permitindo que o coração seja abordado cirurgicamente em condições de imobilidade e campo operatório livre de sangue. Entretanto, o uso dessa técnica provoca alterações hemodinâmicas, metabólicas e inflamatórias que só podem ser entendidas a partir de uma base sólida sobre a estrutura e a função cardiovascular.

Anatomia cardíaca

O coração dos cães apresenta quatro câmaras interconectadas por válvulas unidirecionais. A compreensão dessa organização é fundamental para cirurgias cardíacas que envolvem correção de defeitos congênitos (como persistência do ducto arterioso e comunicações interventriculares) ou valvulopatias, nas quais a CEC é frequentemente necessária (Kittleson MD e Kienle RD, 1998). O coração é o órgão central do sistema cardiovascular, responsável por impulsionar o sangue através das circulações pulmonar e sistêmica. Nos cães, ele está localizado na cavidade torácica, no mediastino médio, entre os pulmões, e protegido pelas costelas que se estendem aproximadamente do terceiro ao sexto espaço intercostal. A base do coração situa-se em posição dorsal, composta pelos átrios e pelos grandes vasos que nele desembocam (veias) ou dele se originam (artérias), enquanto o ápice está orientado ventralmente, livre dentro do saco pericárdico, apoiado sobre o esterno (Reece WO e Erickson HH, 2017). A posição anatômica pode variar entre as espécies: em cães, o eixo longitudinal do coração apresenta-se oblíquo em relação ao corpo, diferentemente de equinos e ruminantes, nos quais é mais vertical. Essa disposição influencia a interpretação radiográfica e ultrassonográfica do tórax nas avaliações cardiológicas.

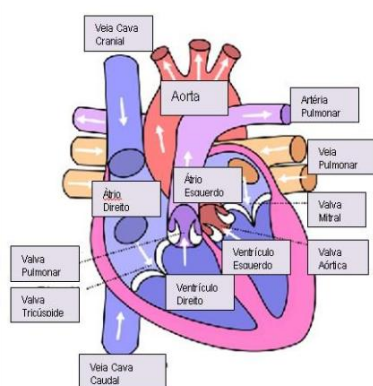
Átrios e ventrículos

O coração é dividido em quatro câmaras: dois átrios (direito e esquerdo), que recebem o sangue proveniente das veias, e dois ventrículos (direito e esquerdo), responsáveis por ejetar o sangue para as artérias. O átrio direito (AD) recebe o sangue venoso proveniente das veias cavas cranial e caudal, bem como do seio coronário, e o conduz para o ventrículo direito através da válvula atrioventricular direita (tricúspide). O ventrículo direito (VD), de paredes mais delgadas, impulsiona o sangue para a artéria pulmonar, conduzindo-o aos pulmões, onde ocorre a hematose. O átrio esquerdo (AE) recebe o sangue oxigenado oriundo das veias pulmonares e o transfere ao ventrículo esquerdo por meio da válvula atrioventricular esquerda (mitral). O ventrículo esquerdo (VE), de paredes espessas e com maior capacidade contrátil, bombeia o sangue para a artéria aorta, distribuindo-o para todos os tecidos corporais (Figura 1). Essa organização reflete a existência de dois sistemas circulatórios em série: a circulação pulmonar, composta por átrio direito, ventrículo direito e pulmões; e a circulação sistêmica, composta por átrio esquerdo, ventrículo esquerdo e órgãos periféricos (Reece WO e Erickson HH, 2017). Esse aspecto anatômico é relevante durante a CEC, pois o ventrículo esquerdo é o principal responsável pelo restabelecimento do débito cardíaco após o desmame da máquina coração-pulmão (Muir WW, 2017).

3418

Representação esquemática do coração canino. O esquema ilustra as principais estruturas anatômicas do coração de cães, incluindo átrios e ventrículos direito e esquerdo, válvulas cardíacas: tricúspide, pulmonar, mitral e aórtica, e grandes vasos: aorta, veias cavas e pulmonares, artéria pulmonar (Figura 1).

Figura 1: Representação esquemática do coração canino



Fonte: Adaptado de pet heart, 2012.

Válvulas cardíacas

Além das cavidades, as válvulas cardíacas têm papel fundamental no direcionamento do fluxo sanguíneo, garantindo sua unidirecionalidade e evitando refluxos. São elas: tricúspide, mitral, pulmonar e aórtica. O funcionamento coordenado dessas estruturas possibilita que o coração atue como uma bomba eficiente, assegurando que o débito cardíaco do ventrículo direito seja equivalente ao do ventrículo esquerdo, mantendo o equilíbrio entre as circulações pulmonar e sistêmica. Alterações em suas estruturas frequentemente demandam correções cirúrgicas, sendo as cirurgias valvares algumas das indicações clássicas para uso de circulação extracorpórea em cães.

Vasos coronários

A circulação coronariana canina é majoritariamente esquerda, fornecendo irrigação crítica ao ventrículo esquerdo (Luboya N, 2016). As artérias coronárias emergem da raiz aórtica e subdividem-se para irrigar o miocárdio epicárdico e intramural. O retorno coronariano drena majoritariamente para o átrio direito através do seio coronariano. Durante a CEC, é necessário interromper temporariamente a perfusão coronariana, o que exige estratégias de proteção miocárdica, como o uso de soluções cardioplégicas e conservação de reserva coronariana (Cardoso B, 2023).

3419

Fisiologia cardiovascular

O Sistema de condução elétrica depende do nó sinoatrial (AS), o nó atrioventricular (AV) e o sistema His-Purkinje, que coordenam a atividade elétrica cardíaca. A ativação elétrica normal inicia no AS, propaga-se pelos átrios (incluindo o feixe de Bachmann), atravessa o AV e segue pelo feixe de His e pelos ramos de Purkinje, assegurando sincronização atrioventricular e recrutamento eficiente do miocárdio ventricular (Reece WO e Erickson HH, 2017). Durante a CEC, o coração é muitas vezes parado por soluções cardioplégicas, e a retomada da atividade elétrica depende da integridade desse sistema. Complicações no pós-operatório, como arritmias, estão diretamente relacionadas à vulnerabilidade do sistema de condução após isquemia e reperfusão (Loen V, 2021).

Ciclo cardíaco e débito cardíaco

O ciclo cardíaco alterna enchimento (diástole) e ejeção (sístole). O débito cardíaco (DC) é o produto da frequência cardíaca (FC) pelo volume sistólico (VS): $DC = FC \times VS$. Esse parâmetro é o principal monitorado durante e após a CEC. Durante o bypass, o oxigenador e as bombas perfundem o organismo artificialmente, sendo imprescindível compreender como pré-carga, pós-carga, inotropismo e ritmo influenciam o DC (Guyton AC; Hall JE, 2017).

Eventos: pressão-volume e trabalho ventricular

O ciclo cardíaco inclui fases de enchimento diastólico (rápido e lento), contração isovolumétrica, ejeção e relaxamento isovolumétrico. Curvas pressão-volume ilustram relações entre pressão intraventricular e volume, permitindo avaliação objetiva de complacência, contratilidade e trabalho sistólico. Em contexto de CEC, alterações na pós-carga e na contratilidade (por isquemia, reperfusão ou efeitos farmacológicos) alteram o ponto de operação dessas curvas, exigindo ajustes durante o desmame do bypass (Muir WW, 2017).

Acoplamento: excitação-contração

O potencial de ação cardíaco desencadeia a entrada de Ca^{2+} e a liberação subsequente de Ca^{2+} do retículo sarcoplasmático, promovendo a interação actina-miosina e a geração de força contrátil. A entrada de cálcio extracelular é particularmente importante para a fase de plateau do potencial de ação ventricular e para o controle da contratilidade. Alterações iônicas e lesão isquêmica reperfusional interferem nesse processo, com impacto direto na recuperação da função ventricular após CEC.

Atividade elétrica e arritmias

Existem potenciais de ação de resposta rápida (miócitos ventriculares e fibras de Purkinje) e de resposta lenta (células nodais — AS/AV), caracterizando diferentes propriedades de excitabilidade e condução. A proteção do sistema de condução e o manejo de arritmias peri e pós-operatórias são essenciais em pacientes submetidos à CEC (Loen V, 2021).

Regulação cardiovascular e o impacto na cec

O mecanismo de Frank-Starling (heterometria) descreve o aumento da força contrátil em resposta a maior estiramento pré-sistólico (précarga), ajustando o débito ao retorno venoso.

A regulação homeométrica (mudanças intrínsecas na contratilidade) também influencia a capacidade de o ventrículo responder às mudanças hemodinâmicas durante o desmame da CEC.

Controle neural e hormonal

A estimulação simpática aumenta frequência cardíaca, velocidade de condução e contratilidade (efeito β_1), enquanto a atividade vagal reduz ritmo e condução, principalmente nos nós AS e AV. Durante a CEC, a resposta autonômica é parcialmente alterada pela circulação artificial e pela anestesia, exigindo ajustes farmacológicos e ventilatórios (Guyton AC; Hall JE, 2017). A ativação do sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA) e a liberação de catecolaminas ocorrem em resposta ao estresse cirúrgico e à alteração hemodinâmica, influenciando retenção hídrica, vasoconstrição e resistência vascular no pós-operatório.

Circulação coronariana e metabolismo miocárdico

A perfusão coronariana é regulada por pressão perfusional, compressão miocárdica (especialmente durante a sístole), autorregulação metabólica e demanda miocárdica. A reserva coronariana tem capacidade de aumentar o fluxo de acordo com necessidade, é um determinante da tolerância isquêmica e da recuperação após reperfusão, fatores críticos em procedimentos com CEC (Luboya N, 2016).

3421

Biomarcadores e reperfusão

Biomarcadores como troponina cardíaca e peptídeos natriuréticos são utilizados para monitorar lesão miocárdica associada à isquemia e reperfusão após CEC, sendo ferramentas importantes no acompanhamento pós-operatório (Gavazza A, 2020). Cães apresentam particularidades: dominância coronariana esquerda, frequência cardíaca basal distinta e predisposições raciais a cardiomiopatias, o que demanda protocolos específicos em medicina veterinária.

Particularidades em cães e sua importância clínica

Embora a anatomia e fisiologia cardíaca sejam semelhantes às humanas, cães apresentam peculiaridades relevantes: a dominância coronariana esquerda, diferenças na frequência cardíaca basal e predisposições raciais para cardiomiopatias (Buchanan W, 2013). Essas

diferenças impactam diretamente o manejo da circulação extracorpórea em veterinária, exigindo protocolos específicos.

A compreensão da anatomia e fisiologia do sistema cardiovascular fornece a base indispensável para a prática de cirurgias cardíacas com CEC. Aspectos como a dominância coronariana, o papel central do ventrículo esquerdo, a vulnerabilidade do sistema de condução elétrica e os mecanismos regulatórios devem ser cuidadosamente considerados no planejamento cirúrgico e no manejo anestésico. Esse conhecimento é essencial para minimizar complicações, orientar estratégias de proteção miocárdica e otimizar o prognóstico dos pacientes.

Materiais utilizados na CEC

O circuito de circulação extracorpórea (CEC) é formado por um conjunto de dispositivos que atuam de maneira integrada para substituir temporariamente as funções cardíaca e pulmonar durante procedimentos cirúrgicos intratorácicos de alta complexidade. Esses componentes simulam a dinâmica fisiológica do coração e dos pulmões, garantindo a manutenção da perfusão e da oxigenação tecidual enquanto o coração permanece inativo (Santos ALS, 2009). Entre os principais elementos do circuito, destacam-se:

Cânulas venosas e arteriais: responsáveis pela drenagem do sangue venoso e por sua reinfusão no sistema arterial após a oxigenação, assegurando o fluxo extracorpóreo adequado (Kwasnicka KL, 2003).

Reservatório venoso: compartimento que coleta e armazena o sangue drenado antes de seu bombeamento para o circuito (Kwasnicka KL, 2003).

Bomba arterial: pode ser do tipo centrífuga ou de roletes, substituindo a função de bombeamento cardíaco e garantindo fluxo sanguíneo contínuo no sistema (Kwasnicka KL, 2003).

Oxygenador de membranas: dispositivo que realiza as trocas gasosas de maneira semelhante ao alvéolo pulmonar, promovendo a oxigenação sanguínea e a remoção de dióxido de carbono. Comparado aos antigos oxygenadores de bolhas, apresenta menor trauma hemático, reduzindo complicações associadas (Kwasnicka KL, 2003).

Permutador de calor: possibilita o controle da temperatura corporal, sendo fundamental tanto para a indução da hipotermia intraoperatória quanto para o reaquecimento gradual do paciente (Kwasnicka KL, 2003).

Filtros e aspiradores: atuam na prevenção de embolismos, na remoção de detritos cirúrgicos e na reintegração do sangue aspirado ao sistema (Kwasnicka KL, 2003).

De acordo com Kwasnicka KL (2003), a correta seleção, montagem e preparo desses componentes são fatores determinantes para a segurança e eficácia da circulação extracorpórea, visto que falhas nesse processo podem comprometer a estabilidade do paciente e o sucesso do circuito.

Controle de temperatura na circulação extracorpórea

A temperatura interna ou central de animais homeotérmicos, em condições normais, se mantém constante e independente das variações da temperatura ambiente. A regulação da temperatura é controlada pela porção anterior ao tálamo e hipotálamo, o centro termorregulador que identifica alterações de temperatura na pele e no sangue.

Durante a CEC, é indicado o uso de resfriamento do paciente como técnica para a preservação de órgãos e tecidos (Vander AJ, et al., 1975). A vasoconstrição dos vasos da pele, que diminui a perda de calor por convecção, ocorre simultaneamente à vasodilatação dos leitos vasculares do músculo esquelético, o que aumenta a atividade muscular para produzir calor por meio de tensão e tremores. Quando ocorre a hipotermia, o sistema endócrino é ativado, o consumo de energia aumenta e a frequência cardíaca, débito cardíaco e PAS aumentam (Gravlee GP, et al., 2015).

3423

O intuito de induzir o paciente, submetido a CEC, à hipotermia é a proteção dos órgãos, pois a redução da taxa metabólica, e menor consumo de oxigênio subsequente da baixa temperatura corporal, gera uma margem de segurança do paciente submetido a CEC. A hipotermia também ajuda a preservar os estoques de fosfato de alta energia e reduz a liberação de neurotransmissores excitatórios, tal efeito que é de extrema importância para a proteção do sistema nervoso central (SNC) (Cameron DE e Gardner TJ, 1988).

Normalmente as células neurais isquêmicas, liberam aminas neuroexcitatórias, especialmente o glutamato (Rothman, 1988). O acúmulo das aminas excitatórias, gera abertura dos canais de cálcio e a ativação de diversos sistemas enzimáticos destrutivos. A hipotermia ajuda a prevenir a entrada de cálcio na célula e restringe a permeabilidade da membrana (Busto R, et al., 1989).

A alteração de temperatura causa uma mudança na taxa de reação de todos os processos bioquímicos, principalmente as reações enzimáticas. Alguns processos bioquímicos,

especialmente aqueles localizados nas membranas celulares, apresentam uma mudança abrupta nas taxas de reação e, determinadas temperaturas críticas. Esses processos foram denominados como fase de transição, onde a membrana celular sofre uma mudança em sua consistência de fluido para gel (Hearse DJ, et al., 1981). Nos mamíferos, as transições de fase ocorrem em aproximadamente 25° C a 28 ° C. A hipotermia possui um limite para seus benefícios, que é o ponto de congelamento (0°C), condição não tolerada pelo organismo dos mamíferos, afinal, o tecido não recupera a função ao descongelar o corpo.

Em cirurgia cardíaca, a CEC em conjunto com a hipotermia sistêmica permite fluxos de bombeamento mais baixos, protegendo o miocárdio, gerando menos trauma sanguíneo e ofertando melhor proteção de vísceras em relação a perfusão normotérmica (Cameron DE e Gardner TJ, 1988). Segundo Teixeira GF (1997), os graus de hipotermia podem ser classificados como leve, moderada ou profunda, como descrito na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Classificação dos graus hipotermia

Relação dos graus de hipotermia

Hipotermia leve	36,5 a 31,0°C
Hipotermia moderada	30,0 a 21,0°C
Hipotermia profunda	20,0 a 15,0°C

Fonte: TEIXEIRA, 1997.

3424

Fonte: Teixeira GF (1997).

Normalmente, em cirurgias que necessitam de CEC, é induzida a hipotermia moderada. A hipotermia profunda, é aplicada quase que exclusivamente em casos de algum tipo de defeito no maquinário ou incidente no centro cirúrgico, onde o paciente é induzido temperaturas extremamente baixas para poder corrigir tal problema, sem ter que pausar o procedimento cirúrgico (Gravlee GP, et al., 2015).

Alterações na função dos órgãos

Por conta da diminuição de fluxo sanguíneo causada pela hipotermia, o organismo do cão começa a apresentar alterações no músculo esquelético e extremidades, seguidos pelos rins, leito esplênico coração e cérebro. Porém, segundo Reed et al, apesar da diminuição de fluxo, o

conteúdo arteriovenoso continua inalterado, indicando que o suprimento de oxigênio é adequado para tais estruturas.

Com o resfriamento, a FC diminui, porém, ainda há contratilidade adequada. Disritmias podem ocorrer conforme a temperatura diminui. Pode ocorrer também, batimentos ventriculares prematuros nodais, bloqueio atrioventricular, fibrilação atrial e ventricular e assistolia.

O sistema pulmonar é caracterizado pela diminuição progressiva da ventilação.

Os rins apresentam a maior redução de fluxo sanguíneo proporcional de todo organismo. Há diminuição de transporte tubular de sódio, água e cloreto, e a capacidade de concentração fica prejudicada. Pode apresentar glicose na urina, por conta da capacidade de processamento da glicose nos rins prejudicada. Lesões hepáticas são raras na CEC hipotérmica. (Gravlee GP, et al., 2015).

Alteração ácido-base com mudança de temperatura

A hipotermia leva a alcalose relativa (pH sobe) e diminuição da PCO_2 , devido ao aumento da solubilidade dos gases e menor dissociação de ácidos/bases. O manejo clínico pode ser feito pelo método α -stat ou pH-stat (Gravlee GP, et al., 2015).

3425

Complicações associadas à circulação extracorpórea

A aplicação da circulação extracorpórea (CEC), embora indispensável em procedimentos cardíacos complexos, pode desencadear uma série de complicações fisiológicas que exigem atenção rigorosa da equipe multiprofissional. Essas alterações envolvem diferentes sistemas orgânicos e estão relacionadas tanto à natureza do procedimento quanto à interação do sangue com os componentes do circuito extracorpóreo (Freitas RR, 2004).

Alterações Hemodinâmicas, Respiratórias, Renais e Neurológicas

Durante a perfusão extracorpórea, a ausência de fluxo pulsátil somada à hemodiluição pode ocasionar queda da resistência vascular sistêmica, resultando em episódios de hipotensão e instabilidade circulatória (Freitas RR, 2004). No sistema respiratório, são relatadas complicações como atelectasia, edema pulmonar, hemorragia alveolar e síndrome do desconforto respiratório agudo, principalmente em perfusões prolongadas (Freitas RR, 2004).

O sistema renal apresenta elevada suscetibilidade, uma vez que a redução do fluxo

sanguíneo pode levar à oligúria e à disfunção renal aguda, comprometendo a manutenção da homeostase hídrica e eletrolítica do paciente. Já no sistema nervoso central, alterações da perfusão cerebral estão associadas ao desenvolvimento de déficits cognitivos, crises convulsivas e, em situações mais graves, acidentes vasculares encefálicos (Kwasnicka KL, 2003).

Resposta Inflamatória Sistêmica e Lesão por Reperfusão

Outro efeito adverso relevante da CEC é a resposta inflamatória sistêmica, desencadeada pelo contato do sangue com superfícies não endoteliais do circuito extracorpóreo. Esse processo estimula a ativação de leucócitos e plaquetas, bem como a liberação de citocinas pró-inflamatórias e espécies reativas de oxigênio. Em consequência, pode haver intensificação das lesões teciduais e predisposição à disfunção multiorgânica, sobretudo em pacientes com comorbidades pré-existentes (Freitas RR, 2004). A lesão por reperfusão, observada no restabelecimento do fluxo sanguíneo após o período de isquemia induzida, constitui outra complicação crítica. Caracterizada pela produção exacerbada de radicais livres e pela infiltração de células inflamatórias, culminando em necrose celular, disfunção endotelial e comprometimento da integridade vascular (Freitas RR, 2004).

3426

Protocolos Perioperatórios da Circulação Extracorpórea

A realização segura e eficaz da circulação extracorpórea (CEC) em procedimentos cardíacos exige a adoção de protocolos rigorosos em todas as suas fases: pré, trans e pós-perfusão. Cada etapa é fundamental para garantir a estabilidade hemodinâmica, a preservação da função orgânica e a redução de complicações associadas ao procedimento.

Fase Pré-CEC

A etapa pré-perfusional envolve a avaliação clínica detalhada do paciente, com atenção especial ao peso corporal, hematócrito e condição cardiovascular, fatores que influenciam diretamente na escolha do circuito e na composição do perfusato (Santos ALS, 2009). A montagem e preparação da máquina de CEC incluem a separação completa do sistema e o preparo adequado da solução perfusora, visando minimizar riscos de embolismo gasoso e garantir a eficiência da oxigenação extracorpórea. Para prevenir eventos tromboembólicos, realiza-se a heparinização sistêmica do paciente, promovendo anticoagulação eficaz durante todo o procedimento (Kwasnicka KL, 2003).

Fase Trans-CEC

Durante a perfusão extracorpórea, o controle do fluxo sanguíneo é essencial. Em condições de normotermia, recomenda-se manter o fluxo entre 2,2 e 2,4 L/min/m², com ajustes conforme os parâmetros gasométricos do paciente (Freitas RR, 2004). O fluxo de gases é geralmente regulado na proporção 1:1 em relação ao sangue, sendo adaptado conforme a necessidade metabólica. A hipotermia é frequentemente empregada como estratégia de proteção orgânica, reduzindo o metabolismo celular e preservando a integridade tecidual (Freitas RR, 2004).

A monitorização contínua inclui variáveis como pressão arterial média, retorno venoso, saturação de oxigênio, equilíbrio ácido-básico, hematócrito e parâmetros de coagulação. A proteção miocárdica é assegurada por meio da administração de soluções cardioplégicas, que promovem a paralisação segura do coração, além da manutenção da perfusão coronariana durante o procedimento (Kwasnicka KL, 2003).

Fase Pós-CEC

Na fase final, realiza-se a retirada gradual do suporte extracorpóreo, acompanhada do reaquecimento progressivo do paciente até atingir a normotermia. A reversão da anticoagulação é feita com a administração de protamina, neutralizando os efeitos da heparina (Santos ALS, 2009). Em seguida, procede-se à correção dos distúrbios eletrolíticos e ácido-básicos, bem como à reinfusão do volume residual do circuito. A avaliação final da perfusão tecidual é realizada por meio da análise de parâmetros clínicos como pressão arterial, diurese e oxigenação periférica, garantindo a estabilidade fisiológica do paciente após o término da CEC (Freitas RR, 2004).

3427

Anestesia na CEC

Avaliação pré-anestésica

A avaliação anestésica é o primeiro ponto a ser considerado para a realização de uma anestesia segura e de qualidade. A melhor anestesia é a que o paciente precisa (Massone F, p.9). Para o animal cardiopata, a avaliação pré-anestésica feita de forma rigorosa é de extrema importância, para avaliar a gravidade da doença e o impacto sobre os sistemas cardiovascular, renal e hepático, que são potencialmente afetados pela doença de base (Guedes ACA, 2022) e

visando a diminuição da possibilidade de morbidade e de mortalidade durante a cirurgia (Gilio BA, 2021). Com ela, é feita uma interpretação prévia dos desequilíbrios do animal, permitindo pensar de forma antecipada possíveis correções (Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2022).

O risco anestésico é definido por diferentes índices. O mais utilizado é o estabelecido pelo American Society of Anesthesiologist, que possui categorias de I a V para pacientes com disfunção miocárdica. A classificação do New York Heart é utilizada como avaliação objetiva (Dolgin, 1994; Gilio BA, 2021; Guedes ACA, 2022; Schaumburg, 2014). Estas classificações estão citadas nas Figura 2 e 3 abaixo:

Figura 2: Classificação do risco anestésico

CLASSIFICAÇÃO NEW YORK HEART ASSOCIATION	
CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
I	Paciente sem limitações na atividade física; atividades ordinárias não causam fadiga, palpitação, falta de ar ou dor anginosa.
II	Paciente com limitações leves a moderadas na atividade física; confortáveis em repouso, mas atividades ordinárias causam sintomas.
III	Paciente com limitações marcantes na atividade física; confortáveis em repouso, mas menos que atividades ordinárias causam sintomas.
IV	Paciente incapazes de realizar qualquer atividade física sem sintomas; sintomas de insuficiência cardíaca podem estar presentes mesmo em repouso.

3428

Fonte: Adaptado de New York Heart Association (1994).

Figura 3: Classificação da limitação funcional

CLASSIFICAÇÃO AMERICAN SOCIETY OF ANESTHEIOLOGIST	
CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
ASA I	Paciente saudável, sem doença sistêmica significativa.
ASA II	Paciente com doença sistêmica leve, sem limitação funcional significativa.
ASA III	Paciente com doença sistêmica grave, porém sem risco iminente de morte.
ASA IV	Paciente com doença sistêmica grave que representa risco constante de vida.
ASA V	Paciente com risco de morte sem a cirurgia, em estado crítico ou comatoso.

Fonte: Adaptado de American Society of Anesthesiologists (2014).

Para auxiliar na avaliação, o animal deve passar numa consulta com o anestesista. Deve ser solicitado hemograma, bioquímico sérico, principalmente as enzimas hepáticas e renais, radiografia torácica, eletrocardiograma, ecocardiograma, medição não invasivas da pressão arterial para a avaliação da condição geral do paciente. Se possível, realizar o teste de coagulação, que deve estar relacionada ao grau da cardiopatia e o tipo de procedimento que será feito (Borges B et al., 2022; Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2022).

As medicações de uso contínuo devem ser notificadas ao anestesista para evitar interações medicamentosas com os anestésicos (Borges B et al., 2022). O animal, pode seguir com o uso até o momento da cirurgia, contudo animais que fazem uso de inibidores de enzima conversora de angiotensina podem ter hipotensão no trans operatório, e nessa situação o anestesista deve ter agentes inotrópicos e vasoconstritores por perto (Guedes ACA, 2022). Os agentes anestésicos podem causar uma depressão cardiopulmonar, que desencadeia um distúrbio fisiológico acentuado, proveniente da anestesia (Gilio BA, 2021).

Medicação pré- anestésica (MPA)

A medicação pré-anestésica (MPA) apresenta vantagens como a facilitação do manejo do paciente, promoção de analgesia e miorrelaxamento, sinergismo por potencialização de fármacos indutores anestésicos, indução suave a anestesia geral e redução da resposta autonômica reflexa (Fantoni et al, 2008; Massone F, 2023). Os medicamentos utilizados na MPA podem ser divididos em várias categorias, a depender do efeito desejado, destacando-se os benzodiazepínicos, fenotiazínicos, anticolinérgicos, agonistas de receptores alfa-2 adrenérgicos e opioides (Massone F, 2023).

Os opioides são a base das medicações pré- anestésicas em pacientes cardiopatas, pois tendem a causar depressão vascular mínima, mantendo o débito cardíaco e a pressão arterial sistêmica estáveis (Johnson RA, et al., 2022; Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2022). A principal consequência do uso de opioides é a bradicardia, pelo aumento da atividade parassimpática, porém pode ser controlada com tratamento ou pré- medicação de antimuscarínicos (Johnson RA, et al., 2022; Gilio BA, 2021).

Os benzodiazepínicos, como o diazepam e midazolam, são boas escolhas em cardiopatas: têm mínimo ou nenhum efeito na frequência cardíaca e, contratilidade, não conduzem à hipotensão. Mas, deve o profissional deve ter atenção à velocidade da administração, já que a

infusão rápida pode gerar depressão cardiopulmonar e trombos (Borges B et al., 2022; Johnson RA, et al., 2022).

Anticolinérgicos, como a atropina e o glicopirrolato, são anticolinérgicos parassimpáticos, usados para aumentar a frequência cardíaca associada a bradicardia sinusal (Borges B et al., 2022). Uma associação frequentemente usada é a aplicação prévia de atropina com um fármaco agonista alfa-2 adrenérgico. Essa combinação promove aumento da pressão arterial a níveis deletérios ao paciente, que, somado à taquicardia, diminui o preenchimento sistólico e aumento de O₂ pelo miocárdio. O glicopirrolato não ultrapassa a barreira hematoencefálica e tem efeitos mais lentos, com menos chances de gerar taquicardia sinusal (Massone F, 2023).

Fenotiazínicos, como a acepromazina, são excelentes tranquilizantes para animais. Apesar do uso comum, é um potente antagonista de receptores alfa-1- adrenérgicos, e conduz à vasodilatação periférica e à hipotensão, por isso devem ser evitados em cardiopatas (Johnson RA, et al., 2022; Medeiros LC, et al., 2024). A medicação pode proteger o miocárdio de arritmias induzidas pela epinefrina e por barbitúrico, mas deve-se considerar os efeitos hipotensores quando considerado o uso com o objetivo de atender a esse benefício (Borges B et al., 2022).

Os agonistas dos receptores alfa-2 adrenérgicos, como a xilazina, são contraindicados em cardiopatas, pois promovem o aumento da resistência vascular sistêmica, bradicardia para
3430
tentar manter a pressão arterial, redução do débito cardíaco e hipotensão. Em alguns pacientes, podem causar vasodilatação e hipotensão arterial, seguida da hipertensão inicial (Johnson RA, et al., 2022; UFMG, 2024).

Anestesia inalatória

A aplicação da anestesia inalatória garante um controle melhor do plano anestésico, por sua rápida ação e duração, além de ter poucos efeitos na frequência cardíaca, tem efeitos mínimos no débito cardíaco (UFMG, 2024). Contudo, o principal efeito cardiovascular é a vasodilatação dependente, principal mecanismo de hipotensão, causado pelo isoflurano e sevoflurano (Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2022).

Os principais anestésicos inalatórios são o Isoflurano e o Sevoflurano. O primeiro é mais indicado para pacientes de alto risco, por ter melhor manutenção do débito cardíaco, pois a frequência cardíaca se eleva e compensa as alterações de pressão arterial; no entanto causa vasodilatação. Se o paciente é dependente de volume para o débito cardíaco e pressão de perfusão é necessário realizar fluidoterapia (UFMG, 2024; Massone F, 2023; Borges B et al., 2022).

Geralmente esses efeitos colaterais são gerenciados pela diminuição da dose administrada ou pela neutralização dos efeitos colaterais, com o devido suporte cardiovascular (Johnson RA, et al., 2022). O sevoflurano é semelhante ao Isoflurano, em seus efeitos cardíacos e respiratórios (Borges B et al., 2022).

Anestésicos dissociativos

Anestésicos dissociativos, como a cetamina e a tiletamina, dissociam os centros responsáveis pela consciência e inconsciência. O efeito cardiovascular é a estimulação do sistema nervoso central, aumentando a frequência cardíaca, contratilidade e a pressão arterial, podendo causar piora do sistema e arritmias (Johnson RA, et al., 2022). Não é recomendado seu uso em pacientes com choque hemorrágico ou hipovolêmico grave, e seu uso isolado também deve ser evitado devido seus efeitos no sistema cardiovascular (Borges B et al., 2022).

Anestésicos intravenosos

O propofol é um anestésico intravenoso, de curta duração e rápida volta de consciência, muito utilizado na rotina (Massone F, 2023). É um vasodilatador dose-dependente que, em doses moderadas a altas, pode levar a hipotensão. É contraindicado em pacientes cardiopatas pela diminuição cardiovascular. Mas há indicação de realizar a dose elevada de forma lenta, reduzindo a ocorrência de efeitos profundos no sistema cardíaco, porém em doses baixas e com baixa infusão, permite boa manutenção anestésica, principalmente em pacientes com doenças cardíacas leves; naqueles com doença grave deve ser induzido cautelosamente (Gilio BA, 2021; Johnson RA, et al., 2022).

O etomidato é um agente amplamente utilizado pois possui poucos efeitos adversos, possuindo grande estabilidade cardiovascular (Massone F, 2023; Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2022). Sua vantagem é ter mínima ou nenhuma depressão cardiovascular, não alterando a frequência cardíaca, contratilidade ou retorno venoso (Johnson RA, et al., 2022). Seu uso é indicado na indução anestésica de pacientes cardiopatas (Borges B et al., 2022).

RESULTADOS

A análise da literatura disponível sobre a circulação extracorpórea (CEC) em cães submetidos à cirurgia cardíaca revela que, embora seja uma técnica consolidada na medicina humana, seu uso em medicina veterinária ainda se encontra em expansão e enfrenta desafios

técnicos e logísticos. Os resultados de estudos experimentais e clínicos revisados demonstram que a CEC permite correções intracardíacas com elevada precisão e controle hemodinâmico, ampliando o prognóstico de pacientes com cardiopatias congênitas e adquiridas.

Segundo Freitas RR (2004) e Kwasnicka KL (2003), a implementação da CEC possibilitou avanços significativos na correção de defeitos septais, estenoses valvares e na realização de transplantes cardíacos experimentais. Os dados apontam que a manutenção do fluxo sanguíneo extracorpóreo, associada ao uso de soluções cardioplégicas e à hipotermia controlada, é eficaz na preservação da função miocárdica e na redução da lesão isquêmica durante o período de parada cardíaca. No entanto, a literatura evidencia que complicações como hipotensão, disfunção renal e resposta inflamatória sistêmica ainda representam limitações importantes para a aplicação clínica rotineira (Freitas RR, 2004; Ribeiro SN, 2012).

Os resultados dos estudos também reforçam a relevância da seleção criteriosa de anestésicos e do monitoramento contínuo durante todo o procedimento. Guedes ACA (2022) e Gilio BA (2021) destacam que anestésicos de baixo impacto cardiovascular, como o etomidato e os opioides, contribuem para maior estabilidade hemodinâmica, reduzindo o risco de arritmias e falência circulatória. Além disso, a fase de reaquecimento e o desmame da CEC exigem protocolos específicos para evitar distúrbios metabólicos e reperfusão abrupta dos tecidos.

3432

Do ponto de vista fisiológico, a literatura revisada evidencia que a CEC altera a hemodinâmica sistêmica e o equilíbrio ácido-básico, sendo essencial o controle de variáveis como temperatura corporal, hematócrito e pressão arterial média. A indução de hipotermia moderada demonstrou benefícios na proteção de órgãos vitais, especialmente cérebro e rins, por reduzir a demanda metabólica e o consumo de oxigênio tecidual (Gravlee GP, et al., 2015). Entretanto, temperaturas excessivamente baixas estão associadas a arritmias e distúrbios na coagulação, exigindo manejo preciso.

Em relação às complicações, observou-se que a resposta inflamatória sistêmica, a hemólise mecânica e a ativação de cascatas de coagulação continuam sendo desafios técnicos, decorrentes do contato do sangue com superfícies não biológicas do circuito (Kwasnicka, 2003). Estratégias modernas de perfusão, como o uso de oxigenadores de membrana e circuitos revestidos com heparina, têm reduzido significativamente esses efeitos adversos, demonstrando avanço tecnológico relevante.

De forma geral, os resultados comparativos sugerem que a aplicação da CEC em cães é viável e segura quando realizada sob condições controladas e por equipes capacitadas. Contudo,

seu uso ainda é restrito a centros de pesquisa e hospitais universitários, devido ao custo elevado e à necessidade de perfusionistas especializados. Estudos recentes indicam tendência de expansão do uso clínico, especialmente em países com programas de cirurgia cardíaca veterinária avançados, como Japão, Estados Unidos e França (Medeiros LC, et al., 2024; Loen V, 2021).

Assim, a discussão evidencia que a CEC representa uma fronteira tecnológica importante para a medicina veterinária. A consolidação dessa prática depende do aprimoramento dos protocolos anestésicos, da miniaturização dos equipamentos e da capacitação de profissionais. O impacto positivo na qualidade de vida e na sobrevida dos cães com cardiopatias reforça o potencial dessa técnica como ferramenta essencial para o futuro da cirurgia cardíaca veterinária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da literatura sobre a circulação extracorpórea em cães submetidos à cirurgia cardíaca evidencia que essa técnica representa um importante avanço para a medicina veterinária, permitindo intervenções antes consideradas inviáveis. Seu desenvolvimento tem contribuído para ampliar as possibilidades terapêuticas em cardiopatias complexas, oferecendo maior segurança cirúrgica e melhores condições de recuperação aos pacientes. No entanto, nota-se que a implementação da CEC em animais ainda se depara com obstáculos consideráveis, principalmente no que diz respeito à disponibilidade de equipamentos apropriados, à demanda por profissionais qualificados e aos altos custos do procedimento. Ademais, a literatura ressalta que a resposta fisiológica dos cães à CEC pode variar de acordo com fatores como tempo de perfusão, temperatura corporal, anestesia e condições clínicas prévias, o que reforça a importância de protocolos padronizados e de monitoramento rigoroso durante todas as etapas cirúrgicas.

Os estudos analisados ressaltam a importância de uma equipe multidisciplinar, composta por cirurgiões, anestesistas e perfusionistas, cuja colaboração é fundamental para o sucesso do procedimento e redução de complicações, como distúrbios hemodinâmicos, metabólicos e inflamatórios. Dessa forma, a circulação extracorpórea se estabelece como uma técnica promissora na cirurgia cardíaca veterinária, com a capacidade de aumentar a sobrevida e melhorar a qualidade de vida dos animais com doenças cardíacas. Pesquisas futuras são essenciais para melhorar as técnicas de perfusão, anestesia e manejo pós-operatório, permitindo que a CEC se torne mais acessível, segura e eficiente na prática clínica.

REFERÊNCIAS

ABDOUNI, A. A. **Proteção miocárdica na cirurgia cardíaca: qual o método ideal?** Arquivos Brasileiros de Cardiologia, São Paulo, v. 115, n. 2, p. 251-252, ago. 2020.

AMERICAN SOCIETY OF ANESTHESIOLOGISTS. *ASA Physical Status Classification System*. Schaumburg, 2014.

ANDRADE, J. C. S.; SOARES, A. M. **Cardiopulmonary bypass in dogs: clinical and hemodynamic observations**. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v. 20, n. 4, p. 497-503, 1987.

ANDRADE, J. N. B. M. **Cirurgia extracorpórea em cães**. Boletim Apamvet, São Paulo, v. 17, p. 17-19, 2016.

BORGES, B. et al. **Anestesia em cães e gatos geriátricos e cardiopatas**. Pubvet, [S. l.], v. 16, n. 06, 2022.

BORGES, M. **Abordagem cirúrgica para o tratamento de cardiopatias em medicina veterinária: uso do desvio cardiopulmonar**. 2013.

BUCHANAN, W. **The history of veterinary cardiology**. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, v. 43, n. 6, p. 1223-1233, 2013.

BUSTO, R; GLOBUS, M. Y. T; DIETRICH, W. D.; **Effect of Mild Hypothermia on Ischemia-Induced Release of Neurotransmitters and Free Fatty Acids in Rat Brain**. *Stroke* 1989. 3434

BVS-VET. **Circulação extracorpórea em cão: relato de caso**. *Medvep – Revista Científica de Medicina Veterinária*, v. 8, n. 26, 2010.

BVS-VET. **Cirurgia extracorpórea em cães**. *Boletim APAMVET*, v. 7, n. 2, 2016.

CAMERON, D. E; GARDNER, T. J; **Principles of Clinical Hypothermia. Cardiac Surgery**. 1988.

CARDOSO, B. **Morphogeometric evaluation of the left ventricle and left atrioventricular ring of normal dogs**. *Animals (Basel)*, v. 13, n. 15, p. 2380, 2023.

CHALÉGRÉ, S. T.; SALERNO, P. R.; SALERNO, L. M. V. O.; MELO, A. R. S., PINHEIRO, A. C., C. S. **Drenagem venosa assistida a vácuo na circulação extracorpórea e necessidade de hemotransfusão: experiência de serviço**. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2011;26(1):122-7.

CUNNINGHAM, J. G.; KLEIN, B. G. **Tratado de fisiologia veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

ENCONTRO CIENTÍFICO CULTURAL INTERINSTITUCIONAL, 20., 2022, Cascavel. **Anestesia Em Animais Cardiopatas: Do Pré Ao Pós-operatório - Revisão De Literatura**. Paraná: Centro Fag, 2022.

FANTONI, D. T.; CORTOPASSI, S. R. G. **Tranquilizantes e sedativos**. In: FANTONI, D. T. (Org.). *Manual de terapêutica veterinária*. São Paulo: Roca, 2008. CADET 109.

FOSSUM, T. W. **Cirurgia De Pequenos Animais**. 5. ed. Rio de Janeiro: GEN Guanabara Koogan, 2021.

FREITAS, R. R. **Avaliação de alterações ocasionadas pela circulação extracorpórea em cães: estudo clínico, laboratorial e anátomo-histopatológico do coração e pulmões**. 2004. 122 f. Tese (Doutorado em Cirurgia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GAVAZZA, A. **Canine traditional laboratory tests and cardiac biomarkers**. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7. 2020

GILIO, B. A. **Cuidados Para Elaboração De Protocolo Anestésico Em Cães Com Doença Cardiovascular**. 2021. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Medicina Veterinária, Faculdade Metropolitana de Anápolis, Anápolis, 2021.

GONÇALVES, R. C. *et al.* **Parâmetros fisiológicos em cães submetidos à circulação extracorpórea**. *Revista de Medicina Veterinária e Zootecnia da UFG*, v. 14, n. 2, p. 45-53, 2011.

GRAVLEE, G. P; DAVIS, R. F; HAMMON, J; KUSSMAN, B. **Cardiopulmonary Bypass and Mechanical Support Principles and Practice**. 4. ed. Pensilvânia: Lippincott Williams & Wilkins (LWW), cap 8, p 158 - 174, 2015.

GUEDES, A. C. A. **Anestesia em cães cardiopatas**. 2022. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Medicina Veterinária, Anhaguera, Anápolis, 2022.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 3435

HEARSE, D. J; BRAIMBRIDGE, M. V; JYNGE, P. **Protection of the Ischemic Myocardium: Cardioplegia**. Nova Iorque: Raven Press, 1981.

JOHNSON, R. A. *et al.* **Canine and Feline Anesthesia and Co-Existing Disease**. 2. ed. Wisconsin: Wiley-Blackwell, 2022.

JÚNIOR, J. O. C. A.; CHIARONI, S. **Circulação extracorpórea: prevenção e manuseio de complicações**. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, v. 06, n. 50, 2000. Traduzido.

KITTLESON, M. D.; KIENLE, R. D. **Small animal cardiovascular medicine**. St. Louis: Mosby, 1998.

KNUPP, S. N. R. *et al.* **Aspectos hemodinâmicos da circulação extracorpórea em cães**. *Ciência Animal Brasileira*, / *Brazilian Animal Science*, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 200-209, 2014.

KWASNICKA, K. L. **Procedimentos básicos padronizados aplicados nos períodos pré, trans e pós-circulação extracorpórea em cães**. Dissertação (Mestrado em cirurgia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, 2003.

LOEN, V. **The canine chronic atrioventricular block model in cardiovascular research**. *Journal of Cardiovascular Translational Research*, v. 14, n. 3, p. 655-667, 2021.

LUBOYA, N. **Anatomic study of coronary arteries in dogs: applications in veterinary and human medicine.** *Anatomical Record*, v. 299, n. 8, p. 1045–1054, 2016.

MASSONE, F. **Anestesiologia Veterinária - Farmacologia e Técnicas.** 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2023.

MEDEIROS, L. C. *et al.* **Manejo anestésico em paciente canino cardiopata submetido à hemilaminectomia: relato de caso.** *Sinapse Múltipla*, v. 13, n. 1, p. 176–181, jul. 2024.

MUIR, W. W. **Cardiovascular physiology.** In: TRANQUILLI, W. J.; GRIMM, K. A.; LAMONT, L. A. (ed.). *Veterinary anesthesia and analgesia.* 5. ed. Ames: Wiley Blackwell, 2017.

NEW YORK HEART ASSOCIATION. **Nomenclature and Criteria for Diagnosis of Diseases of the Heart and Great Vessels.** 9. ed. Boston: Little, Brown and Company, 1994.

POWERS, K.; DHAMMOON, A.; **Physiology, Pulmonary Ventilation and Perfusion.** National Library Of Medicine

REECE, W. O.; ERICKSON, H. H. **Dukes. Fisiologia dos animais domésticos.** 13. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

RIBEIRO, S. N. *et al.* **Circulação extracorpórea em cão: relato de caso.** *Medvep - Revista Científica de Medicina Veterinária - Pequenos Animais e Animais de Estimação*, Curitiba, v. 8, n. 26, p. 390–393, 2010.

RIBEIRO, S. N. **Circulação extracorpórea em cão: avaliação dos efeitos e efetivação da técnica em Medicina Veterinária.** 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

SANTOS, A. L. S. **Avaliação da expressão da conexina 43 no miocárdio de cães indenes submetidos ou não à técnica de circulação extracorpórea.** Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SILVA, M. A. **Alterações gasométricas, eletrolíticas e histopatológicas em cães submetidos à circulação extracorpórea.** 2006. Tese (Doutorado em Clínica Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

STANFORD; Departmental Highlights Archive (1995-1958).

TEIXEIRA, G. F; **Temas Atuais em Circulação Extracorpórea.** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Circulação Extracorpórea, 1997. 305 p.

UEMURA, K. *et al.* **Clinical application of cardiopulmonary bypass in small dogs with cardiac disease.** *Journal of Veterinary Medical Science*, v. 72, n. 5, p. 665–672, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Escola de Veterinária. Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia. **Cadernos Tecnicos de Veterinaria e Zootecnia: Anestesia em pacientes especiais.** Belo Horizonte; FEPMVZ Editora; 2024.

VANDER, A. J.; SHERMAN, J. H.; LUCIANO, D. S. **The mechanisms of body function. Human Physiology.** Nova Iorque: McGraw-Hill, 1975.