



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**FUNDAMENTOS ANATÔMICOS, FISIOLÓGICOS E DE
DIAGNÓSTICO NA CARDIOLOGIA DE RÉPTEIS: revisão de
literatura**

Elane Barboza da Silva

Orientadora: Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano

BRASÍLIA – DF
OUTUBRO/2021



ELANE BARBOZA DA SILVA

**FUNDAMENTOS ANATÔMICOS, FISIOLÓGICOS E DE
DIAGNÓSTICO NA CARDIOLOGIA DE RÉPTEIS: revisão de
literatura**

Trabalho de conclusão de curso de
graduação em Medicina Veterinária
apresentado junto à Faculdade de
Agronomia e Medicina Veterinária
da Universidade de Brasília

Orientadora: Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano

BRASÍLIA - DF
OUTUBRO/2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Elane Barboza da

Fundamentos anatômicos, fisiológicos, e de diagnóstico na cardiologia de répteis: revisão de literatura / Elane Barboza da Silva; orientação de Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano. – Brasília, 2021.

48 p.: il.

Trabalho de conclusão de curso de graduação – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2021.

Cessão de Direitos

Nome do Autor: Elane Barboza da Silva

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: Fundamentos anatômicos, fisiológicos e de diagnóstico na cardiologia de répteis: revisão de literatura.

Ano:2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Elane Barboza da Silva

Elane Barboza da Silva

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: SILVA, Elane Barboza da

Título: Fundamentos anatômicos, fisiológicos e de diagnóstico na cardiologia de répteis: revisão de literatura.

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a conclusão do curso de Medicina Veterinária da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília.

Aprovado em: 19/10/2021

Banca examinadora:

Profa. Dra. Líria Queiroz Luz Hirano

Julgamento: Aprovada

Instituição: UnB

Assinatura: 

Profa. Dra. Gláucia Bueno Pereira Neto

Julgamento: Aprovada


Instituição: UnB

Assinatura: 

M. V. Júlia Vieira Herter

Julgamento: Aprovada

Instituição: UnB

Assinatura: 

Ao meu pai Francisco Mendes,
por seu amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu refúgio e sustento nos momentos de dificuldade.

À minha família por ser meu alicerce, por todo o apoio dos meus pais Maria Edileuza e Francisco, e meus irmãos Eliane e Edelson. Sem eles, eu não seria nada.

À minha orientadora, professora Dra. Líria Hirano, por toda a paciência, ensinamentos e conhecimentos compartilhados. Sua orientação foi essencial. Sempre será uma inspiração para minha vida profissional.

A todos os meus professores por toda dedicação, pelos conhecimentos e conselhos compartilhados.

Aos meus amigos por todo incentivo, especialmente a minha amiga Gisele Simpson, que esteve presente desde o início dessa jornada, e que sempre me motivou a continuar e por me ouvir durante os momentos de insegurança e estresse.

Aos meus colegas de curso, em especial a Gabriela, Aryane, Ana Paula, Natielle e Vitória, Paulo e Letícia, pessoas que vou levar para a vida toda. Obrigada por todo o apoio, conversas, risadas, momentos de estudo e companheirismo.

Ao Maycon, Ana Lúcia, Jailson, por toda compreensão e apoio.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Características cardíacas de répteis.....	3
2.1.1 Localização do coração	3
2.1.2 Tamanho e formato cardíaco.....	4
2.1.3 Câmaras cardíacas.....	4
2.1.4 Vasos da base	9
2.2 Fisiologia cardíaca.....	11
2.2.1 Fluxo sanguíneo no coração tricavitário.....	11
2.2.2 Fluxo sanguíneo no coração tetracavitário.....	11
2.2.3 <i>Shunts</i> cardíacos.....	14
2.2.4 Sistema de condução elétrico cardíaco.....	17
2.2.5 Ritmo cardíaco	18
2.3 Avaliação cardiológica.....	20
2.3.1 Exame cardíaco	20
2.3.2 Auscultação.....	21
2.3.3 Radiografia.....	22
2.3.4 Eletrocardiograma.....	23
2.3.5 Ecocardiografia.....	28
2.3.6 Exames de imagem avançados.....	30
3. CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	átrio direito
AE	átrio esquerdo
AN	anastomose
AoD	arco aórtico direito
AoE	arco aórtico esquerdo
AP	artéria pulmonar
BL	<i>bulbuslamelle</i>
bpm	batimentos por minuto
CA	<i>cavum arteriosum</i>
CM	crista muscular
cm	centímetro
CP	<i>cavum pulmonale</i>
CV	<i>cavum venosum</i>
D	dorsal
E	esquerda
ECG	eletrocardiograma
FC	frequência cardíaca
FP	forame de Panizza
g	grama
kg	quilograma
MHz	mega-hertz
RM	ressonância magnética
SpV	<i>septum vertical</i>
SV	seio venoso
TC	tomografia computadorizada
V	ventrículo
VAv	valva atrioventricular
VC	veia cava
VCc	veia cava caudal
VP	veia pulmonar

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Valvas de coração crocodiliano. Fonte: COOK et al. (2017).....	5
FIGURA 2 – Divisão das câmaras e distribuição dos vasos da base do coração de réptil não crocodiliano. Fonte: adaptado de HICKS (1993).....	6
FIGURA 3 – Anatomia interna do coração de pítons. (A): Vista cranial da base do ventrículo de <i>Python regius</i> . A crista muscular (MR) e a <i>bulbuslamelle</i> (BL) separam o <i>cavum venoso</i> e o <i>cavum pulmonar</i> durante a sístole ventricular (Fonte: JENSEN et al., 2010b). (B): Imagem de ressonância magnética nuclear do corte transversal da base do coração de <i>Python molurus</i> (Fonte: JENSEN et al., 2014).....	7
FIGURA 4 – Localização do seio venoso cardíaco em répteis. (A) Vista ventral do coração de lagartixa (<i>Hemidactylus mabouia</i>) (Fonte: REZENDE, 2011). (B) Vista lateral direita do coração de serpente viperídea (<i>Bothrops asper</i>) (Fonte: BOGAN, 2017).....	8
FIGURA 5 – Vasos da base em coração crocodiliano. Fonte: COOK et al. (2017).....	9
FIGURA 6 – Vasos da base de coração de jacaré-do-pantanal (<i>Caiman yacare</i>). Fonte: ALVES et al. (2016).....	10
FIGURA 7 – Desenho esquemático do fluxo sanguíneo intracardíaco de <i>Python regius</i> . (A) início da diástole ventricular; (B) diástole ventricular tardia; (C) sístole ventricular com contração da crista muscular. Fonte: adaptado de STARCK et al (2009).....	12
FIGURA 8 – Circulação sanguínea em coração crocodiliano. Fonte: adaptado de KARDONG (2016).....	13
FIGURA 9 – Esquema da circulação sanguínea nos répteis não crocodilianos. (A) Fluxo sanguíneo durante a respiração pulmonar. (B) Fluxo sanguíneo durante a apneia. Setas vermelhas indicam fluxo de sangue oxigenado, enquanto setas azuis indicam sangue desoxigenado. Fonte: adaptado de Kardong (2012).....	15
FIGURA 10 – Esquema da circulação sanguínea intracardíaca dos répteis crocodilianos. (A) Desenho esquemático do fluxo sanguíneo durante a respiração	

normal. (B) Desenho esquemático do fluxo sanguíneo durante a apneia/mergulho. Fonte: adaptado de Kardong (2012).....	17
FIGURA 11 – Radiografias em projeções lateral direita (A, B) e dorso-ventral (C) de iguana. Fonte: GUSTAVSEN et al. (2014). Radiografia lateral de serpente (D). Fonte: BOGAN, 2017.....	23
FIGURA 12 – Posicionamento para fixação de eletrodos durante exame eletrocardiográfico com triângulo Einthoven modificado em cobra-do-milho (<i>Pantherophis guttatus</i>) (A), (LEWIS et al., 2020), em dragão-barbudo (<i>Pogona vitticeps</i>) (B) (SCHILLIGER & GIRLING, 2019) e <i>Trachemys scripta elegans</i> (C) (GIANNICO et al., 2012).....	25
FIGURA 13 - Traçados eletrocardiográficos de uma iguana (<i>Iguana iguana</i>) (A) e de uma serpente boa-de-dumeril (<i>Acrantophis dumerili</i>) (B). No segundo traçado (B) nota-se o registro de onda SV. Fonte: adaptado de SCHILLIGER & GIRLING (2019).....	27

RESUMO

A medicina de répteis e suas subespecialidades estão em desenvolvimento constante. A cardiologia voltada a essa classe de animais impõe desafios aos médicos veterinários por exigir conhecimentos sobre as particularidades relacionadas à anatomia e à fisiologia do sistema cardiovascular, domínio das técnicas diagnósticas e adequada interpretação dos exames, além da pouca disponibilidade de dados padronizados para os parâmetros da maioria das espécies. Os sinais clínicos em répteis portadores de afecções cardíacas muitas vezes são inespecíficos, o que exige uma avaliação física e anamnese bem executadas, consideração do histórico do animal e exames complementares direcionados, como o eletrocardiograma e o ecocardiograma. Além disso, a análise laboratorial de hemograma, bioquímica e quantificação eletrolítica são úteis na avaliação do estado geral do animal, além de permitir identificar possíveis distúrbios nutricionais e metabólicos como causa primária. Ainda podem ser realizados exames de imagem avançados como tomografia e ressonância magnética. Neste trabalho objetiva-se abordar tópicos relacionados à anatomia e à fisiologia cardíaca, bem como descrever as técnicas empregadas no diagnóstico cardiológico em répteis.

PALAVRAS-CHAVES: Reptilia, diagnóstico cardiológico, anatomia cardiovascular, fisiologia cardíaca

ABSTRACT

Reptile medicine and its subspecialties are in constant development. Cardiology of this Reptilia class is a challenge to veterinarians because it requires knowledge about basic concepts and the particularities related to the anatomy and physiology of the cardiovascular system, mastery of diagnostic technique and proper interpretation of exams, in addition to the limited availability of standardized data for the parameters of most species. Usually, clinical signs in reptiles with cardiac affections are nonspecific, which requires a well-executed physical examination and anamnesis, consideration of the animal's history and complementary exams such as electrocardiogram and echocardiogram. Laboratory exams like hemogram, biochemical and electrolyte hematological analysis are useful in the assessment of the animal's general condition, in addition to allow the identification of possible nutritional and metabolic disorders as an underlying or primary cause. Advanced imaging exams such as tomography and magnetic resonance can still be performed. In this work, topics related to anatomy, cardiac physiology and techniques used in the cardiac diagnosis in reptiles will be addressed.

KEYWORDS: Reptilia, cardiac diagnosis, cardiovascular anatomy, cardiac physiology

1. INTRODUÇÃO

A classe Reptilia subdivide-se em quatro ordens taxonômicas: Rhynchocephalia (tuataras), Squamata (serpentes e lagartos), Crocodylia (crocodilos, aligátors, jacarés e gaviais) e Testudines (tartarugas, cágados e jabutis) (DIVERS & STAHL, 2019). Os répteis são vertebrados ectotérmicos, ou seja, dependem de fontes externas de calor para se aquecerem, e como consequência, apresentam menores taxas metabólicas quando comparados a mamíferos e aves (BAUER & BAUER, 2014). Esses animais também toleram bem a hipóxia, pois conseguem intensificar e compensar o metabolismo anaeróbico durante os períodos de apneia (LONGLEY, 2008).

Quando se trata da cardiologia de répteis, os profissionais necessitam de conhecimentos acerca das particularidades anatômicas e fisiológicas do sistema cardiovascular, bem como de padrões e parâmetros basais para que o diagnóstico seja preciso e a conduta terapêutica mais bem aplicada (KIK & MITCHELL, 2005; BOGAN, 2017). Exames complementares associados à correta interpretação dos parâmetros são essenciais na detecção de desordens orgânicas cardíacas e prevenção de danos irreversíveis ao paciente crítico (CORTOPASSI & YANAI, 2014).

Apesar de haver disponibilidade de ferramentas diagnósticas e de parâmetros de referência publicados para algumas espécies, a cardiologia de répteis é uma especialidade que ainda está em desenvolvimento (KIK & MITCHELL, 2005; BOGAN, 2017). As publicações de relatos de cardiopatias são escassas e ainda há pouca compreensão sobre a etiologia, diagnóstico e tratamento das enfermidades da especialidade nesses animais (RISHNIW & CARMEL, 1999; BOGAN, 2017; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Há descrição de afecções cardiológicas clínicas tanto primárias quanto secundárias em répteis, entretanto, a maior parte são achados de necropsia (STUMPEL et al., 2012). Além da dificuldade de se estabelecer o diagnóstico exato das causas (DAHAN, 2006; BOGAN, 2017), muitos sinais clínicos atribuídos a possíveis doenças cardíacas em mamíferos, como regurgitação valvar, derrame pericárdico e mineralização de vasos, ainda não têm sua relevância clínica bem determinada para a classe Reptilia (GUSTAVSEN et al., 2014).

Como os sinais clínicos muitas vezes são inespecíficos e notados tardiamente em répteis, um acompanhamento regular é importante, sendo interessante a realização de exames diagnósticos periódicos (PARÉ & LENTINI, 2010). Nessa avaliação de rotina podem ser incluídos o eletrocardiograma e o ecocardiograma, que são ferramentas eficazes na detecção de alterações cardíacas (DAHAN, 2006; STUMPEL et al., 2012; CAMPOLO et al., 2019).

A quantidade limitada de pesquisas clínicas sobre a cardiologia pode ser um dos motivos para as cardiopatias serem subestimadas nos répteis. Entretanto, esse cenário tende a mudar com o aperfeiçoamento da medicina da herpetofauna, baseada em maior conhecimento das enfermidades nas diferentes espécies e do seu processo de envelhecimento, além do emprego de exames diagnósticos específicos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão literária sobre a cardiologia na classe Reptilia, com direcionamento aos aspectos referentes à anatomia e fisiologia do coração, e ferramentas diagnósticas utilizadas na identificação de desordens e afecções cardíacas nesses animais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características cardíacas de répteis

2.1.1 Localização do coração

O coração dos répteis é envolvido pela membrana pericárdica, que se liga ao ápice cardíaco por meio do ligamento *gubernaculum cordis* nos testudines, crocodilianos e na maioria dos lagartos. Excepcionalmente, nas serpentes e nos lagartos varanídeos, não há um ligamento e o coração permanece livre na cavidade pericárdica, o que aumenta a mobilidade do órgão e pode auxiliar na deglutição de presas maiores (WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Quanto à localização, o coração dos répteis está situado na metade cranial da cavidade celomática, no plano sagital mediano. Nos testudines o coração está posicionado ao nível das junções ou das placas umerais e torácicas. Nos lagartos, como dragões-barbudos (*Pogona vitticeps*), se localiza próximo à região gular, ou mais caudalmente em algumas espécies, como iguanas e camaleões (MITCHELL, 2009; WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). No caso dos crocodilianos, o coração é encontrado no terço médio do corpo, entre as cinturas peitoral e pélvica (SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Em serpentes, o coração se localiza cranialmente à bifurcação dos brônquios e ao fígado, e caudalmente à tireoide, próximo aos anéis traqueais caudais e ao polo cranial dos pulmões (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Nesses répteis, o posicionamento cardíaco pode variar de acordo com o nicho ecológico e a posição filogenética. Em espécies arborícolas e terrestres, o coração se posiciona ao nível de 15 a 25% do comprimento corporal a partir das narinas, enquanto nas espécies aquáticas, entre 25 e 45% (GREGO et al., 2014; BOGAN, 2017).

A diferença no posicionamento cardíaco em serpentes arborícolas pode ser parcialmente explicada pelo fato da vascularização entre o coração e a cabeça ser mais curta nessas espécies, o que faz com que o órgão se posicione mais cranialmente e garanta maior estabilização da pressão intracraniana (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Tais serpentes apresentam pressão arterial média mais elevada, em torno de 40 a 70 mmHg, que pode ser um mecanismo adaptativo para

evitar que o posicionamento verticalizado do animal, com cabeça dorsal ao restante do corpo, prejudique a perfusão cerebral devido à redução da pressão hidrostática (LILLYWHITE, 1987; LILLYWHITE et al., 2012; BOGAN, 2017).

2.1.2 Tamanho e formato cardíaco

Na maior parte dos representantes da classe Reptilia, o coração corresponde a cerca de 0,2 a 0,3% da massa corporal total, mas essa porcentagem pode variar de acordo com o nível de atividade física da espécie (WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Nos ofídios arborícolas, o coração pode representar até 0,45% da massa corporal, como por exemplo na serpente da espécie *Dispholidus typus*, em que se presume que tal achado pode ser um mecanismo para melhorar a agilidade e resistência física da espécie, uma vez que essa preda principalmente camaleões, que são animais ativos e combativos (POUPA & LINDSTRÖM, 1983).

O formato cardíaco é alongado em ofídios, ovoide em lagartos e crocodilianos, e amplo e globoide em testudines (WYNEKEN, 2009; BOGAN, 2017; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Não há muita variação entre as ordens de répteis quanto à anatomia externa do coração, apenas algumas particularidades relacionadas ao posicionamento das artérias e veias, bem como estruturas internas (SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

2.1.3 Câmaras cardíacas

Anatomicamente, o coração dos répteis pode ser classificado em tricavitário ou tetracavitário, quando se considera o número de câmaras cardíacas. Os répteis não crocodilianos possuem o coração dividido em três câmaras, sendo dois átrios e um ventrículo. Em contraposto, exemplares da ordem Crocodylia possuem o coração com quatro câmaras, sendo dois átrios e dois ventrículos, pois o septo interventricular é completo, assim como ocorre em aves e mamíferos (KIK & MITCHELL, 2005).

Nas serpentes e nos crocodilianos, o átrio direito costuma ser maior do que o esquerdo. Essa diferença de tamanhos atriais nos ofídios forma um sulco coronário pronunciado entre os átrios e o ventrículo que se orienta obliquamente em sentido longitudinal (KIK & MITCHELL, 2005; BOGAN, 2017).

A separação do átrio e do ventrículo em répteis ocorre por meio de valvas atrioventriculares que podem ser classificadas como monocúspides, com formato de sino, nos grupos não crocodilianos, e como bicúspide nos crocodilianos. Em algumas espécies, as valvas atrioventriculares podem estar ligadas à musculatura ventricular através de ligamentos fibrosos semelhantes às cordas tendíneas (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Em relação aos vasos da base, entre o seio venoso e o átrio direito, bem como entre o ventrículo e os arcos aórticos e artéria pulmonar, há valvas semilunares bicúspides, enquanto a abertura que comunica a veia pulmonar ao átrio esquerdo não apresenta valva (WYNEKEN, 2009) (Figura 1).

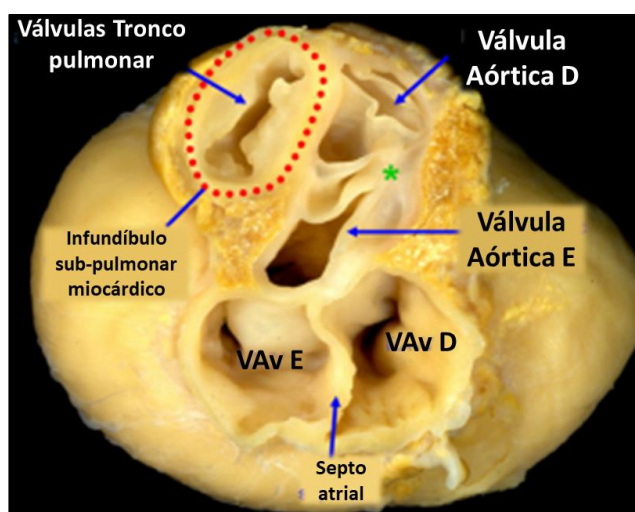


FIGURA 1 – Valvas de coração crocodiliano. Fonte: COOK et al. (2017). Legenda : D (direita); E (esquerda); VAv D (valva atrioventricular direita) ; VAv E (valva atrioventricular esquerda).

Em répteis não crocodilianos, apesar do ventrículo ser um compartimento único, há pregas, cristas e septos incompletos que o subdivide em três subcâmaras: *cavum pulmonale*, *cavum arteriosum* e *cavum venosum*.

(WYKENEN, 2009; JENSEN et al., 2010a; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). O *cavum pulmonale* está localizado ventrocranialmente e se estende até a artéria pulmonar, enquanto os *cavuns arteriosum* e *venosum* se posicionam dorsalmente (SCHILLIGER & GIRLING, 2019) (Figura 2).

Nas pítons, o *cavum arteriosum* está localizado dorsalmente às outras duas subcâmaras e se separa dessas por um septo horizontal incompleto (WYNEKEN, 2009). Nesses ofídios e nos lagartos varanídeos, o *cavum arteriosum* é amplo e o *cavum venosum* reduzido (JENSEN et al., 2010; 2013).

Nos répteis não crocodilianos, o septo interventricular incompleto é denominado de *septum* vertical e separa parcialmente o *cavum arteriosum* e o *cavum venosum*. O pequeno espaço de comunicação entre esses dois compartimentos se localiza próximo às valvas atrioventriculares e é denominado de canal interventricular (KIK & MITCHELL, 2005; JENSEN et al., 2010; BOGAN, 2017).

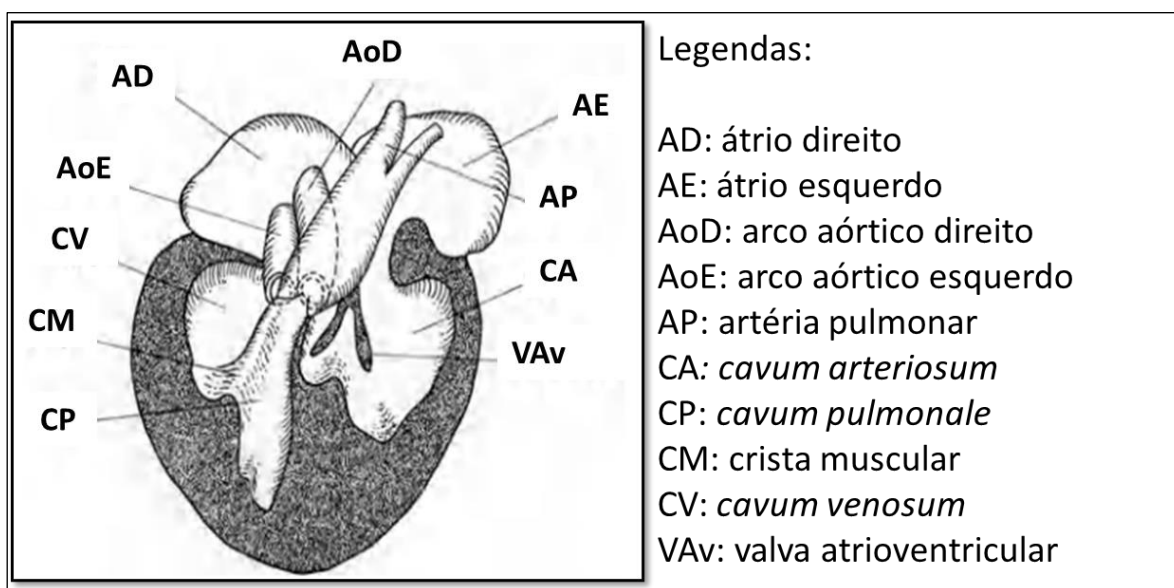


FIGURA 2 – Divisão das câmaras e distribuição dos vasos da base do coração de réptil não crocodiliano. Fonte: adaptado de HICKS (1993).

Além disso, no coração reptiliano tricavitário há uma crista muscular localizada na parede dorsal do ventrículo, que se estende da base da artéria aorta até o ápice cardíaco e separa o *cavum pulmonale* do *cavum venosum* durante a

sístole ventricular (WYNEKEN, 2009). Essa crista é espiralada e possui uma porção incompleta no terço cranial e uma porção completa no ápice ventricular (JENSEN et al., 2013), sendo mais desenvolvida em lagartos varanídeos, pítons, tartarugas marinhas e tartarugas gigantes, e pouco desenvolvida nas demais espécies de testudines e squamatas (KIK & MITCHELL, 2005; WYNEKEN, 2009; GREGO et al., 2014; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Uma outra estrutura muscular presente no ventrículo dos répteis não crocódilianos é a *bulbuslamelle*. Essa se localiza lateralmente ao canal atrioventricular direito e curva-se sobre e ao redor da crista muscular previamente descrita, interceptando a porção cranial do *cavum pulmonale*. Durante a sístole ventricular, a *bulbuslamelle* aproxima-se da crista muscular e, dessa forma, auxilia na separação o *cavum pulmonale* do *cavum venosum* (JENSEN et al., 2010; 2013) (Figura 3).

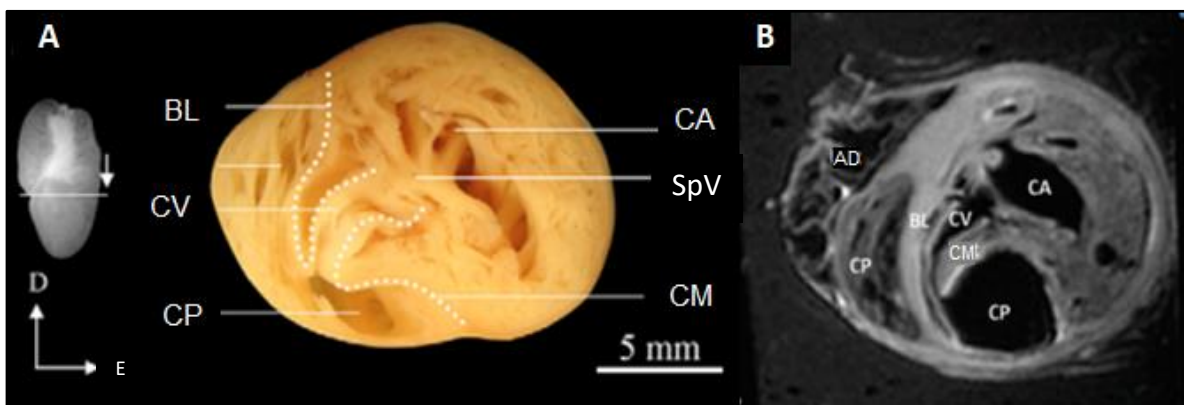


FIGURA 3 - Anatomia interna do coração de pítons. (A): Vista frontal da base do ventrículo de *Python regius*. A crista muscular (CM) e a *bulbuslamelle* (BL) separam o *cavum venoso* e o *cavum pulmonar* durante a sístole ventricular (Fonte: JENSEN et al., 2010b). (B): Imagem de ressonância magnética nuclear do corte transversal da base do coração de *Python molurus* (Fonte: JENSEN et al., 2014). Legenda: AD: átrio direito; BL: *bulbuslamelle*; CA: *cavum arteriosum*; CM: crista muscular; CP: *cavum pulmonale*; CV: *cavum venosum*; D: dorsal; E: esquerda; SpV: *septum vertical*.

Lagartos do gênero *Varanus* (JENSEN et al., 2013) e a espécie de píton *Python molurus* possuem a parede ventricular ao redor do *cavum arteriosum* mais espessa e mais trabeculada do que a do *cavum pulmonale* (WANG et al., 2003). Há uma rede de tecido conjuntivo localizada no *cavum venosum*, caudalmente à valva atrioventricular, que auxilia no direcionamento do sangue desoxigenado para o *cavum pulmonale* (JENSEN et al., 2013). No ventrículo das pítons, o miocárdio é majoritariamente esponjoso, mas há uma porção compacta bem desenvolvida no *cavum arteriosum* (JENSEN et al., 2010a; BETTEX et al., 2014).

O coração dos répteis possui ainda uma câmara adicional de preenchimento, localizada na região dorsal do coração, denominada de seio venoso (Figura 4) (KIK & MITCHELL, 2005). Esse compartimento é revestido por uma fina parede muscular contrátil e se conecta ao átrio direito através da abertura sinoatrial (WYNEKEN, 2009; BOGAN, 2017). Nos crocodilianos, o seio venoso é reduzido e tem um septo interno (SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

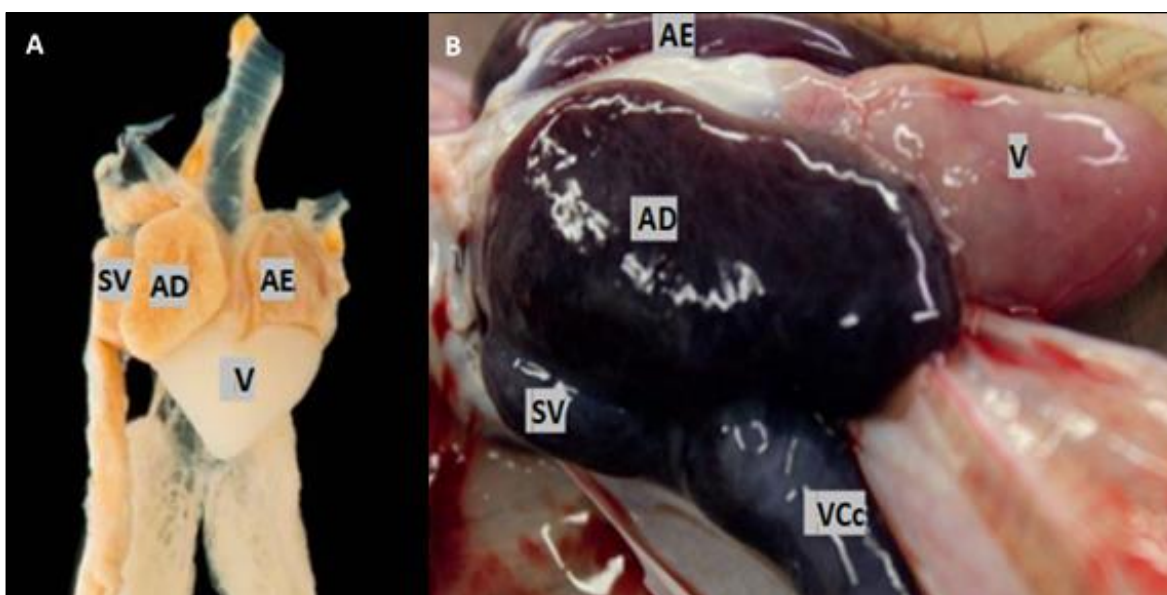


FIGURA 4 – Localização do seio venoso cardíaco em répteis. (A) Vista ventral do coração de lagartixa (*Hemidactylus mabouia*) (Fonte: REZENDE, 2011). (B) Vista lateral direita do coração de serpente viperídea (*Bothrops asper*) (Fonte: BOGAN, 2017). Legenda: AD: átrio direito; AE: átrio esquerdo; SV: seio venoso; V: ventrículo; VCc: veia cava caudal.

2.1.4 Vasos da base

Em répteis, as veias pré-cavas ou veias cavas craniais esquerda e direita, veia pós-cava ou veia cava caudal, veias coronárias drenam sangue venoso sistêmico e desembocam no coração por meio do seio venoso, conectado ao átrio direito. Em algumas espécies, o seio venoso recebe sangue também da veia hepática esquerda ou da veia jugular. Por outro lado, a veia pulmonar drena o sangue oxigenado do pulmão que é direcionado ao átrio esquerdo (WYNEKEN, 2009; JENSEN et al., 2010; BOGAN, 2017). Os crocodilianos possuem uma veia pulmonar direita e uma esquerda (COOK et al., 2017) (Figura 5).

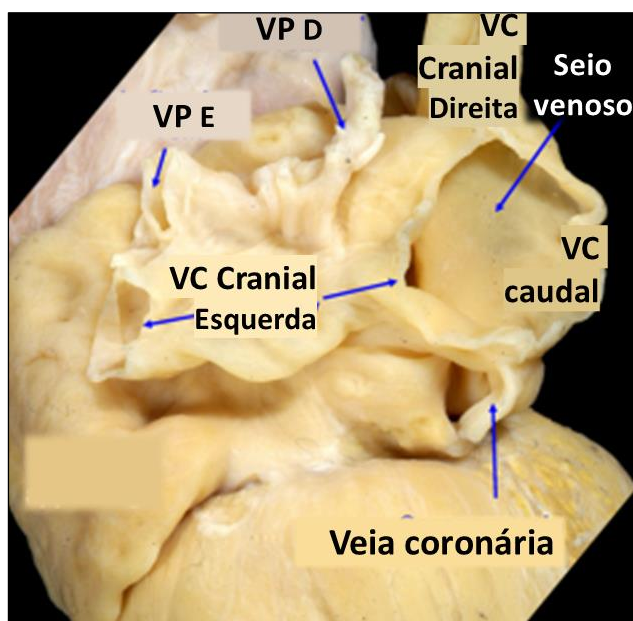


FIGURA 5 - Vasos da base em coração crocodiliano. Fonte: COOK et al. (2017).
 Legenda: VC: veia cava; VP D: veia pulmonar direita; VP E: veia pulmonar esquerda.

Em relação às vias de ejeção cardíaca, essas incluem a artéria pulmonar comum e as artérias aortas direita e esquerda, cujas paredes se unem e formam o tronco arterial. No coração tricavitário, a artéria pulmonar parte do *cavum pulmonale* (JENSEN et al., 2010; SCHILLIGER & GIRLING, 2019), enquanto os arcos aórticos direito e esquerdo emergem do *cavum venosum*. Após ramificação das artérias

aortas direita e esquerda, elas se fundem caudalmente e formam a artéria aorta abdominal comum ou artéria aorta dorsal (SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

No coração tetracavitário dos crocódilios há duas artérias aortas que surgem cada uma de um ventrículo. O cone arterial é composto pela artéria aorta esquerda, tronco sistêmico direito e tronco pulmonar. O tronco sistêmico direito emerge do ventrículo esquerdo e inclui a artéria aorta direita e as artérias subclávias direita e esquerda. A artéria aorta esquerda e o tronco pulmonar se originam no ventrículo direito. Do tronco pulmonar são emitidas as artérias pulmonares direita e esquerda (Figura 6). As duas artérias aortas se comunicam em sua base através do Forame de Panizza, que consiste em um canal estreito em formato de fenda (ALVES et al., 2016), bem como caudalmente por meio de uma anastomose localizada na região média da cavidade celomática (WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

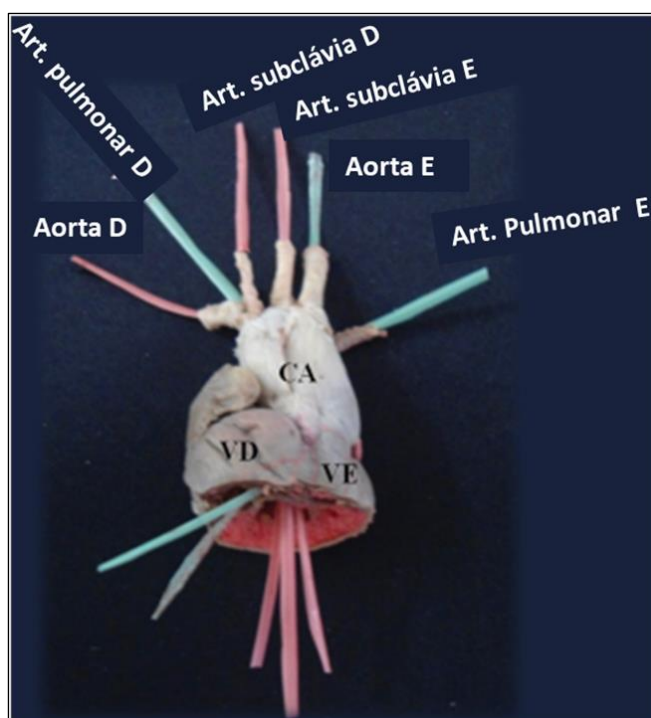


FIGURA 6 – Vasos da base de coração de jacaré-do-pantanal (*Caiman yacare*).
Fonte: ALVES et al. (2016).

Vasos coronários intramurais e extramurais irrigam o miocárdio compacto externo. A artéria coronária principal tem origem na artéria aorta direita e

se ramifica em ramos dorsal e ventral. O ramo ventral irriga a porção ventral direita do miocárdio, enquanto o ramo dorsal percorre o sulco coronário dorsalmente e se ramifica na artéria pós-truncal, irrigando a região ventral do ventrículo, os arcos aórticos e os átrios. A artéria coronária principal ainda irriga as superfícies dorsais do ventrículo, átrio e seio venoso (JENSEN et al., 2010; BOGAN, 2017).

2.2 Fisiologia cardíaca

2.2.1 Fluxo sanguíneo no coração tricavitário

Para o melhor entendimento do fluxo sanguíneo no coração tricavitário, é importante ressaltar que ele possui mecanismos para que a mistura de sangue desoxigenado e oxigenado no ventrículo seja ínfima. As valvas atrioventriculares, quando abertas simultaneamente durante a sístole atrial obstruem parcial ou completamente a passagem do canal interventricular. Além disso, devido à presença de cristas musculares e a contração ventricular em fases com variação de pressão ajudam para que não haja mistura. A sístole ventricular é longa, enquanto a diástole é curta (KIK & MITCHELL, 2005; GREGO et al., 2014).

No coração dos répteis não-crocodilianos o seio venoso recebe o sangue sistêmico, que posteriormente é direcionado para o átrio direito durante a diástole atrial (KIK & MITCHELL, 2005; WYNEKEN, 2009). A sístole atrial conduz o sangue venoso através do óstio atrioventricular para o *cavum venosum* no lado direito do ventrículo e, em seguida, ocorre a passagem para o *cavum pulmonale*. No final da sístole ventricular a crista muscular move-se cranialmente, e promove a separação do *cavum venosum* e do *cavum pulmonale*, então o sangue é direcionado deste último para o pulmão através da artéria pulmonar (MITCHELL, 2009).

Após a hematose no pulmão, o sangue oxigenado retorna ao átrio esquerdo através da veia pulmonar. Com a sístole atrial esquerda, o sangue oxigenado é direcionado ao *cavum arteriosum*. No final da diástole ventricular e início da sístole ventricular, ocorre o fechamento das valvas atrioventriculares, o que promove a desobstrução do canal interventricular e permite o fluxo de sangue do *cavum arteriosum* para o *cavum venosum*, e em seguida para a grande

circulação através das artérias aorta direita e esquerda, quando há a sístole ventricular (MITCHELL, 2009).

Nos lagartos varanídeos a diferença de pressão entre os lados ventriculares direito e esquerdo, juntamente à presença da crista muscular faz com que aconteça separação entre os fluxos de sangue arterial e venoso durante a sístole. O ventrículo exerce uma ação de bombeamento duplo durante a sístole, sendo uma bomba sistêmica de alta pressão e uma bomba pulmonar de baixa pressão (BURGGREN & JOHANSEN, 1982). As pressões são maiores no *cavum venosum* e no arco sistêmico do que no *cavum pulmonale* e artérias pulmonares (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Nas pítons, a crista muscular e a *bulbuslamelle*, previamente descritas, dividem os fluxos sistêmico e pulmonar durante a sístole ventricular (STARCK, 2009; WYNEKEN, 2009) (Figura 7).

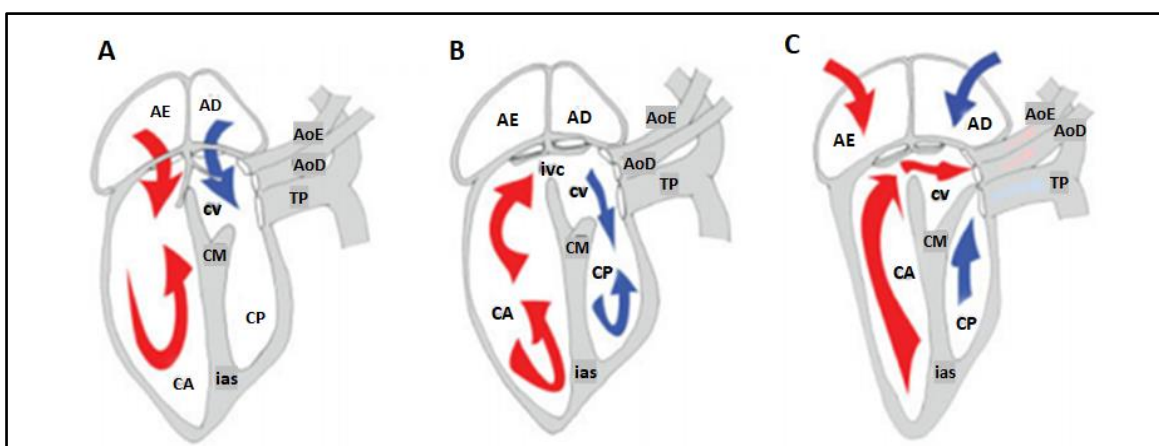


FIGURA 7 – Desenho esquemático do fluxo sanguíneo intracardíaco de *Python regius*. (A) início da diástole ventricular; (B) diástole ventricular tardia; (C) sístole ventricular com contração da crista muscular. Fonte: adaptado de STARCK et al (2009). Legenda: Setas vermelhas: sangue oxigenado; setas azuis: sangue desoxigenado; AD: átrio direito; AE: átrio esquerdo; AoD: aorta direita; AoE: aorta esquerda; CA: *cavum arteriosum*; CM: crista muscular; CP: *cavum pulmonale*; CV: *cavum venosum*; ias: septo interatrial; ivc: canal interventricular; TP: tronco pulmonar.

2.2.2 Fluxo sanguíneo no coração tetracavitário

Nos répteis crocodilianos, o septo interventricular completo impede a mistura de sangue venoso e arterial ao nível do coração e a circulação sistêmica e pulmonar assemelha-se a dos mamíferos. Nesses animais, a pressão no ventrículo direito também é menor do que a do esquerdo. Nas aortas as pressões são equalizadas por conta das anastomoses. O sangue desoxigenado do ventrículo direito é bombeado para a circulação pulmonar através da artéria pulmonar, mas também há ejeção para a circulação sistêmica por meio da artéria aorta esquerda. Em contrapartida, o sangue oxigenado do ventrículo esquerdo segue principalmente para a artéria aorta direita, pois uma das valvas bicúspides de transição, dobra-se e recobre o Forame de Panizza durante a sístole ventricular (MITCHELL, 2009; WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019) (Figura 8).

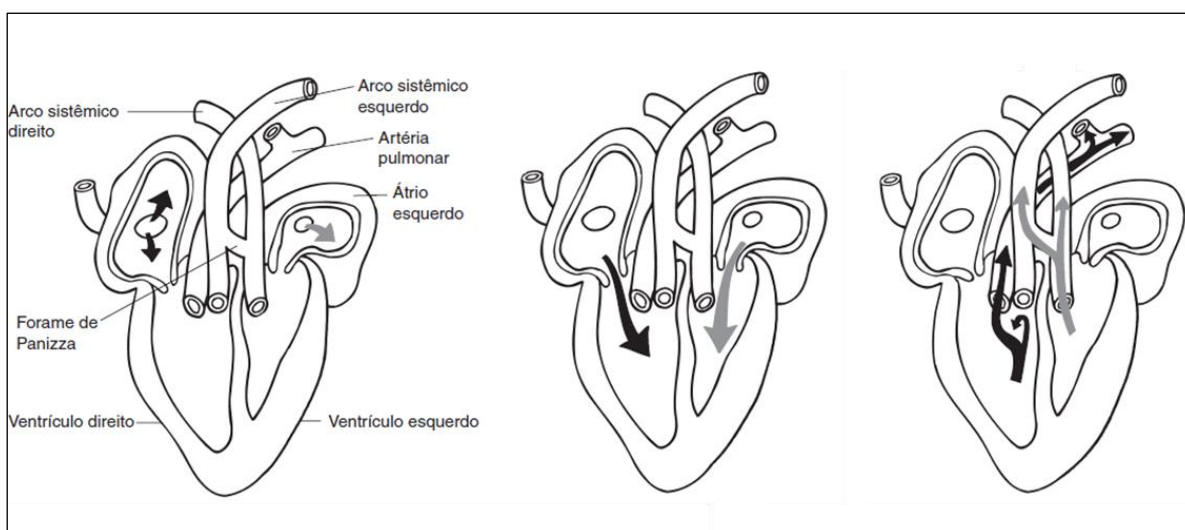


FIGURA 8 – Circulação sanguínea em coração crocodiliano. Fonte: adaptado de KARDONG (2016). Legenda: setas pretas indicam circulação de sangue desoxigenado, setas cinzas indicam circulação de sangue oxigenado.

2.2.3 *Shunts* cardíacos

Nos répteis, os *shunts* podem ocorrer por mecanismos que dependem da diferença de resistências vascular pulmonar e sistêmica. O equilíbrio entre os *shunts* da direita para a esquerda e vice-versa depende do estado ventilatório do réptil (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). O coração tricavitário de répteis não crocodilianos funciona como uma bomba de ejeção de câmara única e a diferença de pressão pode resultar em *shunts* cardíacos da esquerda para a direita, no qual o sangue ingressa pelo átrio esquerdo do coração e segue novamente na circulação pulmonar através da artéria pulmonar. Em contrapartida, o mecanismo mais comum de *shunts* é o da direita para a esquerda, em que o sangue venoso que alcançou o átrio direito é forçado à circulação sistêmica através do tronco aórtico (LONG, 2016; STEPHENSON et al., 2017).

O aumento da resistência pulmonar que ocorre durante o mergulho induz o *shunt* da direita para a esquerda, com aumento do volume sanguíneo para a circulação sistêmica e redução do fluxo sanguíneo pulmonar (LONG, 2016) (Figura 9). Esse *shunt* ocorre em momentos em que o tônus parassimpático está aumentado e garante a perfusão de órgãos vitais durante situações de anoxia como a apneia de mergulho. Nessas condições, a frequência cardíaca, o débito cardíaco e o consumo de oxigênio são reduzidos, mantêm-se a resistência vascular periférica e a pressão arterial central, e ocorre vasoconstrição periférica (HICKS, 2002; DUTRA, 2014). Esse tipo de *shunt* permite que os répteis não crocodilianos conservem energia e oxigênio enquanto estão debaixo d'água (BETTEX et al, 2014; STEPHENSON et al, 2017).

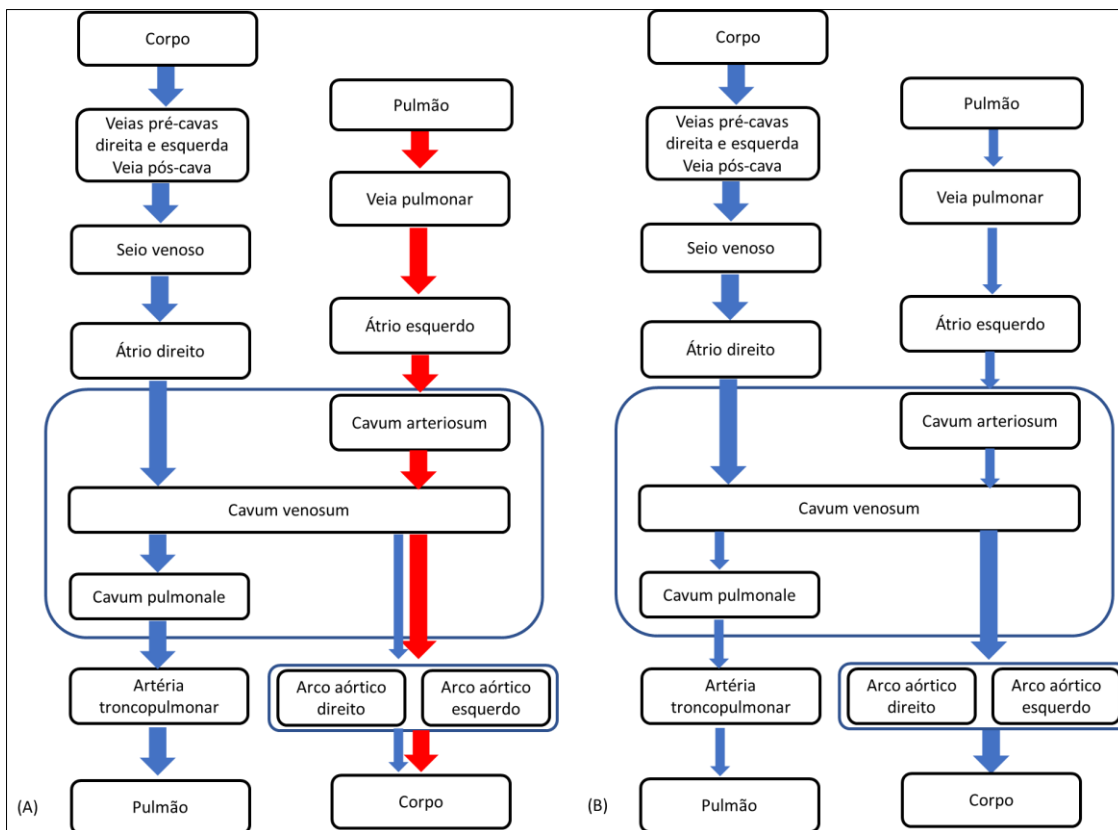


FIGURA 9 - Esquema da circulação sanguínea nos répteis não crocodylianos. (A) Fluxo sanguíneo durante a respiração pulmonar. (B) Fluxo sanguíneo durante a apneia. Setas vermelhas indicam fluxo de sangue oxigenado, enquanto setas azuis indicam sangue desoxigenado. Fonte: adaptado de Kardong (2012).

Por outro lado, em situações em que o tônus simpático está exacerbado, com conseqüente aumento do metabolismo, o *shunt* da esquerda para direita pode estar presente e tem como vantagens facilitar a perfusão pulmonar, aumentar a oxigenação sanguínea e as trocas gasosas. Esse tipo de mecanismo é baseado em diferenças de pressão e ocorre em situações de ventilação normal ou aumentada, como em casos de aumento de temperatura, exercício e digestão. Nessas situações, há aumento da frequência cardíaca, aumento do fluxo sanguíneo pulmonar e redução da resistência pulmonar (HICKS, 2002; WYNEKEN, 2009; DUTRA, 2014).

Adicionalmente, varanídeos e pítons possuem um coração do tipo bomba de pressão dupla, em que pode haver “*shunt* de lavagem”. Esse decorre de uma porção de sangue residual, arterial ou venoso, persistente no *cavum venosum* após a sístole ventricular (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Vale lembrar que essa

câmara ventricular é um local de passagem comum entre as circulações pulmonar e sistêmica. A extensão desse tipo de *shunt* será influenciada pela pré-carga, pós-carga e contratilidade cardíaca (HEISLER et al., 1983; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Entretanto, considera-se que o *shunt* de lavagem promove mínima mistura de sangue venoso e arterial, pois presume-se que o volume residual no *cavum venosum* após ejeção sistêmica seja pequeno (BURGGREN & JOHANSEN, 1982). Em lagartos *Varanus exanthematicus* estimou-se que esse volume médio remanescente do “*shunt* de lavagem” da direita para a esquerda é de 16% e o da esquerda para a direita, 13% (BERGER & HEISLER, 1977).

O *shunt* por diferença de pressão também ocorre nos crocodilianos, ao nível do forame de Panizza, principalmente também durante a apneia de mergulho, em que há aumento da resistência pulmonar e restrição do fluxo sanguíneo por vasoconstrição da artéria pulmonar. Nessa situação, a pressão arterial do ventrículo direito se torna maior do que a pressão da aorta esquerda e, dessa forma, uma parte do sangue ejetado segue para a artéria pulmonar, mas a maior parte é direcionada para a artéria aorta esquerda. Ao nível do Forame de Panizza e da anastomose em cavidade celomática, uma parte do sangue é desviada para a artéria aorta direita e resulta em mistura de sangue na circulação sistêmica (MITCHELL, 2009; WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019) (Figura 10).

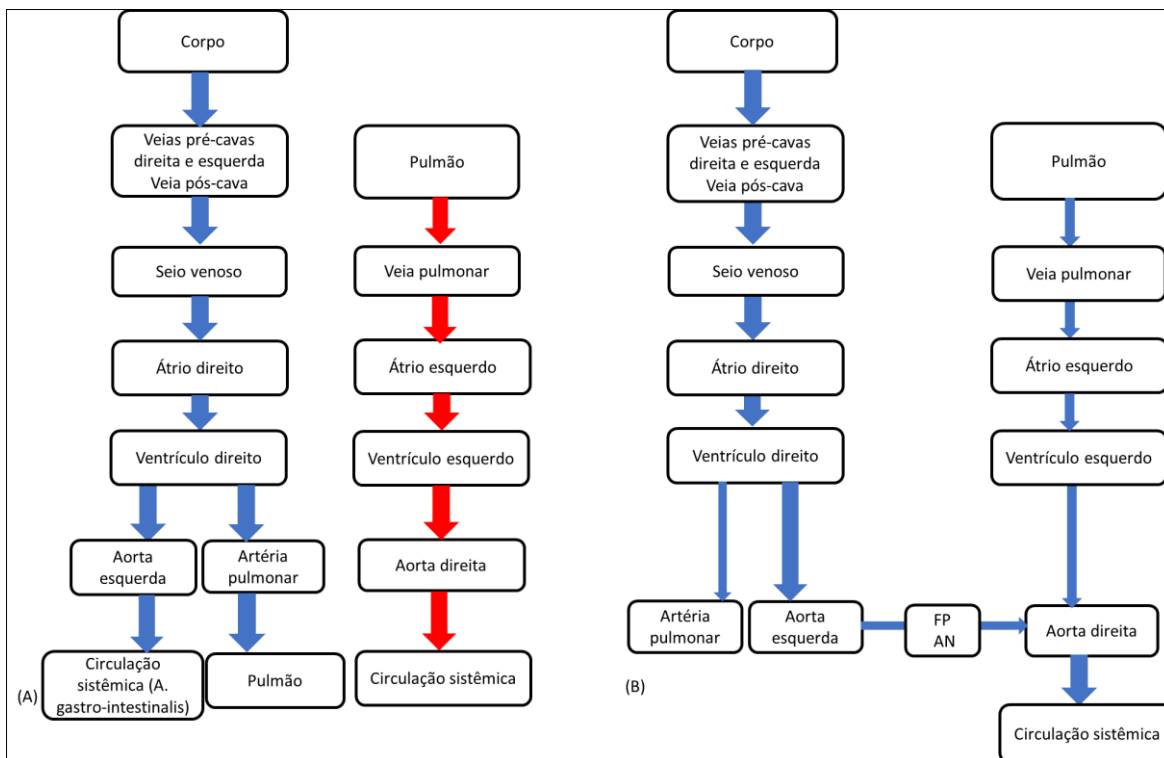


FIGURA 10 - Esquema da circulação sanguínea intracardíaca dos répteis crocodilianos. (A) Desenho esquemático do fluxo sanguíneo durante a respiração normal. (B) Desenho esquemático do fluxo sanguíneo durante a apneia/mergulho. Legenda: setas vermelhas: sangue oxigenado; setas azuis: sangue desoxigenado; FP: Forame de Panizza; AN: anastomose. Fonte: adaptado de Kardong (2012).

2.2.4 Sistema de condução elétrico cardíaco

Os répteis não possuem um sistema de condução elétrica especializado no coração, com ausência dos nodos sinoatrial e atrioventricular, feixe de His e fibras de Purkinje. As contrações cardíacas nesses animais iniciam-se no seio venoso ligado ao átrio direito, a partir de células marca-passo que despolarizam espontaneamente em toda a sua extensão. O impulso elétrico é propagado do átrio direito para o esquerdo e para o ápice cardíaco (GEDDES, 2002; BURKHARD et al., 2017).

A junção atrioventricular em répteis tem contração lenta e não há tecido fibroso-adiposo isolante entre essas câmaras (WYNEKEN, 2009; JENSEN et al., 2012; SCHILLIGER & GIRLING, 2019; LEWIS et al., 2020). A condução da

despolarização ocorre através de fibras musculares cardíacas especializadas que promovem a condução do estímulo na região da transição atrioventricular. O tecido esponjoso ventricular exerce a função de contração muscular, permitindo alta fração de ejeção, além conduzir a despolarização ventricular (MULLEN, 1965; JENSEN et al., 2012).

A ativação ventricular acontece da base para o ápice geralmente, mas pode ocorrer também da esquerda para a direita em algumas espécies de testudines de coração largo (GRAY, 1950; (MULLEN, 1965; JENSEN et al., 2012). Há também descrição de condução a partir do ápice para a base no crocodilo-de-água-doce-australiano (*Crocodylus johnstoni*) e aligátor-americano (*Alligator mississippiensis*) (CHRISTIAN & GRIGG, 1999; SYME et al., 2002). A despolarização ventricular se inicia na base do coração e prossegue para a esquerda, enquanto a repolarização se inicia na base e segue de forma simétrica para a esquerda e a direita, em direção ao ápice. Atrasos na condução elétrica são causados por retardos de transmissão entre os cardiomiócitos dos diferentes compartimentos cardíacos (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). A coordenação das contrações sequenciais é feita pelos arranjos de fibras musculares presentes ao redor e nas aberturas de cada câmara cardíaca (WYNEKEN, 2009).

2.2.5 Ritmo cardíaco

O ritmo cardíaco nos répteis geralmente é sinusal, mas arritmias sinusais também podem ser registradas no ECG (GIANNICO et al., 2012). Ritmo de parada sinusal foi registrado em tartaruga-de-ouvido-vermelho (*Trachemys scripta elegans*), sendo esse mais frequente e acentuado em indivíduos submetidos à menor temperatura ambiental que, conseqüentemente, apresentam menores temperatura corporal e taxa metabólica basal (GIANNICO et al., 2012). Kaplan & Schwartz (1963) relataram arritmias cardíacas causadas por jejum alimentar em testudines.

A frequência e o débito cardíacos são reduzidos nos répteis quando comparados aos mamíferos e aves, como reflexo do baixo metabolismo de animais ectotérmicos (DAWSON & BARTHOLOMEW, 1958; MITCHELL, 2009; LONG,

2016). Entretanto, o volume sistólico assemelha-se ao dos endotérmicos, e em temperaturas mais baixas, o incremento do volume sistólico garante a manutenção do débito cardíaco (DAWSON & BARTHOLOMEW, 1958).

A variação do volume sistólico e da frequência cardíaca podem compensar e aumentar o débito cardíaco (LILLYWHITE et al., 1999). Sob resfriamento, o *shunt* da esquerda para direita reduz o fluxo sanguíneo para a periferia (SEEBACHER & FRANKLIN, 2004). Durante o exercício, a taquicardia associada a nenhuma ou pouca mudança no volume sistólico mantém o débito cardíaco. A taquicardia ocorre por redução do tônus vagal ou por aumento do tônus simpático, e o volume sistólico aumenta devido à elevação do retorno venoso. Em situações de repouso, o volume sistólico é determinado pela vasculatura periférica (WANG et al., 2019).

Nos répteis, a frequência cardíaca é influenciada por diversos fatores intrínsecos e extrínsecos. Dentre eles podem ser citados taxa metabólica, temperatura ambiental, tamanho corporal, taxas ventilatória e respiratória, equilíbrio hemodinâmico, volume sanguíneo, estresse, estímulos sensoriais, postura, digestão, fármacos sedativos e anestésicos (DAWSON & BARTHOLOMEW, 1958; LILLYWHITE et al., 1999; CABANAC & BERNIERI, 2000; MITCHELL, 2009; DUTRA, 2014; LONG, 2016).

Durante a apneia de mergulho (WANG et al., 1991; OKUYAMA et al., 2020), assim como em baixas temperaturas (AKERS & DAMM, 1963; GIANNICO et al., 2012), a frequência cardíaca é reduzida nos répteis (LONG, 2016). Em contrapartida, quando submetidos a altas temperaturas, esses animais desenvolvem taquicardia e vasodilatação periférica, semelhantemente aos mamíferos e aves. Perdas sanguíneas por hemorragia também podem desencadear taquicardia compensatória em répteis (KIK & MITCHELL, 2005).

A frequência cardíaca média varia de acordo com as espécies e com as condições de temperatura em que é aferida. Em dragões barbudos (*Pogona vitticeps*) a frequência cardíaca média é de 90 bpm, variando entre 24 e 170 bpm em temperatura de 26 a 35°C (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Na faixa de temperatura entre 22 e 26°C, as frequências cardíacas em serpentes podem variar de 11 a 136 bpm (MULLEN, 1965), entre 45 e 230 em lagartos (SCHILLIGER &

GIRLING, 2019), e média entre 17,86 e 37 bpm para testudines (HOLZ & HOLZ, 1995; MONTENEGRO, 2004; GIANNICO et al, 2012).

2.3 Avaliação cardiológica

2.3.1 Exame cardíaco

Os sinais clínicos em répteis com doenças cardíacas são inespecíficos e uma anamnese bem realizada é muito importante na triagem desses casos (KIK & MITCHELL, 2005). Os répteis cardiopatas podem apresentar sinais clínicos como letargia, depressão, intolerância a exercícios, respiração com a boca aberta, edema periférico, edema em região gular, ascite, edema pulmonar, cianose, anorexia, perda de peso, aumento de volume na área cardíaca, arritmias e morte súbita (BOGAN, 2017). Um histórico detalhado também ajuda na identificação de erros de manejo que podem levar ao desenvolvimento de desordens cardíacas (KIK & MITCHELL, 2005). Desequilíbrios nutricionais desencadeados por erro de manejo na dieta, por exemplo, podem levar ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares como a aterosclerose, hipercolesterolemia, estreitamento arterial, aneurisma da aorta, aneurisma ventricular, calcificação das artérias, mineralização distrófica do miocárdio, mineralização metastática dos grandes vasos associada a deficiência de vitamina D e hiperparatireoidismo nutricional secundário (ALLEN & OFTEDAL, 2003; KIK & MITCHELL, 2005; PARÉ & LENTINI, 2010; BOGAN, 2017).

O exame cardiovascular em répteis deve ser o mais completo possível, apesar das limitações referenciais (NÓGRÁDI & BALOGH, 2018). A temperatura ambiental nunca deve ser negligenciada durante o exame cardíaco desses animais, pois influencia diretamente nos parâmetros. Por isso, é importante que os pacientes sejam mantidos em sua zona de temperatura ótima preferida durante a avaliação (KIK & MITCHELL, 2005).

As principais ferramentas diagnósticas utilizadas na avaliação cardíaca são auscultação, eletrocardiografia, ecocardiografia, radiografia, ultrassonografia e tomografia computadorizada (NÓGRÁDI & BALOGH, 2018). Além disso, os exames laboratoriais de hemograma e bioquímica sérica auxiliam na avaliação fisiológica do paciente. Por exemplo, em casos de infecções como endocardite

vegetativa ou séptica e neoplasia hematopoiética com repercussão cardíaca, algumas alterações que podem ser encontradas são leucocitose, linfocitose e heterofilia.

Adicionalmente, alterações nos níveis de enzimas como creatina quinase e aspartato aminotransferase podem indicar lesões ou danos na musculatura cardíaca (KIK & MITCHELL, 2005; MITCHELL, 2009). Hipercolesterolemia foi relacionada à aterosclerose em dragões barbudos (SHILLIGER & GIRLING, 2019).

2.3.2 Auscultação

A ausculta cardíaca com o uso de estetoscópio padrão em répteis pode ser limitada devido ao contato inadequado entre o aparelho e a pele do animal, e aos sons cardíacos de baixa amplitude pela presença de escudos ósseos e osteodermos que recobrem o corpo de algumas espécies (KIK & MITCHELL, 2005; LEWIS et al., 2020). A auscultação com o emprego de estetoscópio é possível em squamatas, como serpentes e iguanas marinhas (*Amblyrhynchus cristatus*) (KIK & MITCHELL, 2005).

O doppler vascular permite a avaliação de sons cardíacos e da frequência cardíaca. A probe do doppler pode ser posicionada diretamente sobre a área cardíaca em serpentes, próxima à axila em lagartos e crocodilianos, e na região entre o pescoço e o membro torácico em testudines (MITCHELL, 2009; NÓGRÁDI & BALOGH, 2018). Nos lagartos varanídeos, a probe é colocada na lateral do corpo, no comprimento aproximado de um quarto de distância em relação à cabeça (MITCHELL, 2009).

A confirmação do óbito em répteis por meio da ausência de batimentos cardíacos não é fácil de ser estabelecida, por ser difícil a auscultação em algumas espécies, mesmo em condições fisiológicas (COSTELLO, 2004). Além disso, os traçados eletrocardiográficos e o uso do doppler vascular para análise de fluxo sanguíneo não são plenamente confiáveis, uma vez que os batimentos do coração podem continuar por algumas horas após a morte cerebral (HANLEY & HERNANDEZ-DIVERS, 2003; NEVAREZ, 2019; UNDERWOOD & ANTHONY, 2020). Em casos de suspeita de parada cardiorrespiratória em répteis, recomenda-

se que o óbito não seja declarado antes que tenham se passado pelo menos 24 horas sem registro de batimento cardíaco, pois há relatos de animais que retornaram e tiveram recuperação completa de paradas respiratórias e cardíacas depois de decorridas várias horas (COSTELLO, 2004).

A continuidade dos batimentos cardíacos poderia ser explicada pelo fato desses animais possuírem uma maior resposta somática ao nível de medula espinhal, com alta tolerância tecidual à hipóxia e à hipotensão por parte dos nervos periféricos, medula espinhal e músculos, inclusive o cardíaco (CLOSE et al., 1997; WARREN, 2014). Os répteis também possuem a capacidade de realizar metabolismo anaeróbico e garantir a sobrevivência tecidual após várias horas de hipóxia severa (COSTELLO, 2004). Dessa forma, podem sobreviver em situações em que os batimentos se tornam espaçados a ponto de a frequência ser contada por “minutos por batimento”, ao invés do normal “batimentos por minuto” (CLOSE et al., 1997; GARTRELL & KIRK, 2005).

2.3.3 Radiografia

A radiografia é útil na avaliação do tamanho do coração em serpentes, crocodilianos e lagartos varanídeos (KIK & MITCHELL, 2005; MITCHELL, 2009). Em algumas espécies essa técnica pode não ser tão eficiente por conta de características anatômicas, como por exemplo, nos demais lagartos em que o coração é circundado pela cintura peitoral, e nos testudines por conta da sobreposição de escudos ósseos do casco na radiografia (MITCHELL, 2009).

Nos testudines, o coração é visualizado na radiografia como uma estrutura opaca com bordas indistintas, ventral à terminação traqueal (HOLMES & DIVERS, 2019c). Para os crocodilianos recomenda-se as projeções laterais direita e esquerda, dorsoventral e ventrodorsal, com os membros torácicos estendidos cranialmente para reduzir as sobreposições, mas a silhueta cardíaca não é tão distinguível pelo fato desses animais possuírem osteodermos na região dorsal e ventral do corpo (RADEMACHER & NEVAREZ, 2019).

Nos lagartos, a silhueta cardíaca pode ser avaliada cranioventralmente na cavidade celomática, e nos lagartos varanídeos, mais caudalmente. A silhueta

cardíaca em lagartos não tem margens bem distintas, especialmente na projeção dorsoventral, e o coração e grandes vasos são mais bem visualizados em projeção radiográfica látero-lateral. O aumento da silhueta cardíaca normalmente está associado a derrame pericárdico e cardiopatia estrutural (HOLMES & DIVERS, 2019b) (Figura 11).

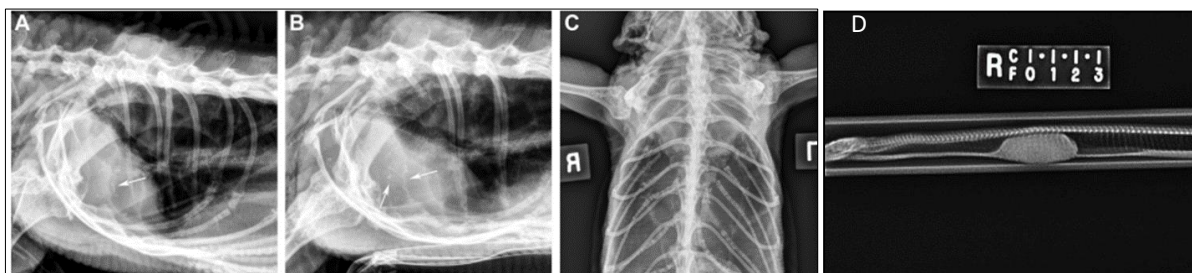


FIGURA 11 – Radiografias em projeções lateral direita (A, B) e dorso-ventral (C) de iguana. Fonte: GUSTAVSEN et al. (2014). Radiografia lateral de serpente (D). Fonte: BOGAN, 2017.

2.3.4 Eletrocardiograma

O eletrocardiograma (ECG) é um exame bastante útil na avaliação cardiológica, assim como na monitoração do ritmo cardíaco durante a anestesia geral (LEWIS et al., 2020). Entretanto, a sua interpretação muitas vezes fica limitada devido à falta de valores e parâmetros de referência para determinadas espécies, o que reforça a importância da realização de eletrocardiogramas como exame de rotina em animais saudáveis para melhor definição dos padrões eletrocardiográficos normais (MITCHELL, 2009). Devido às baixas amplitudes das ondas captadas pelo ECG em répteis, os aparelhos utilizados na realização do exame devem ter boa sensibilidade ou pré-amplificação para a medição da atividade elétrica cardíaca de forma adequada (NÓGRÁDI & BALOGH, 2018).

O ECG deve ser realizado com o réptil em sua faixa de temperatura ótima preferida (MITCHELL, 2009). A temperatura é um parâmetro que influencia no eletrocardiograma, especialmente na onda T e na duração do intervalo QT

(VALENTINUZZI et al., 1969; GIANNICO et al., 2012). Diferentes tipos de eletrodos podem ser usados nos répteis, como os adesivos, pinça, jacaré, conectados a agulhas hipodérmicas fixadas à epiderme ou fixados a material de sutura de aço inoxidável. Neste último exemplo, o animal deve estar sob anestesia (KIK & MITCHELL, 2005; MITCHELL, 2009; NÓGRÁDI & BALOGH, 2018; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

O posicionamento dos eletrodos deve ser adaptado de acordo com a espécie (KIK & MITCHELL, 2005; LEWIS et al., 2020). Nas serpentes, os eletrodos são posicionados baseados no triângulo de Einthoven modificado (Figura 12), na derivação 2, na qual o eletrodo vermelho é posicionado cranial ao coração no lado direito do corpo (eletrodo negativo), o eletrodo amarelo também cranial ao coração, porém na lateral esquerda, e o eletrodo verde posicionado caudal ao coração na lateral esquerda do corpo (eletrodo positivo) (LEWIS et al., 2020). O eletrodo neutro pode ser colocado no lado direito em frente ao eletrodo positivo (SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Nos testudines, lagartos e crocodilianos, os eletrodos amarelo e vermelho podem ser posicionados nos antímeros esquerdo e direito, respectivamente, com fixação na pele dos membros torácicos ou bases do pescoço. No caso dos eletrodos verde e preto, esses podem ser posicionados respectivamente nos antímeros esquerdo e direito do corpo, na região cranial à pelve (KIK & MITCHELL, 2005; SCHILLIGER & GIRLING, 2019; CERMAKOVA et al., 2021) (Figura 12). Em testudines também foi descrita a utilização de eletrodos adesivos e do tipo pinça com o mesmo posicionamento descrito, mas fixados diretamente no plastrão ou na carapaça (NÓGRÁDI & BALOGH, 2018).

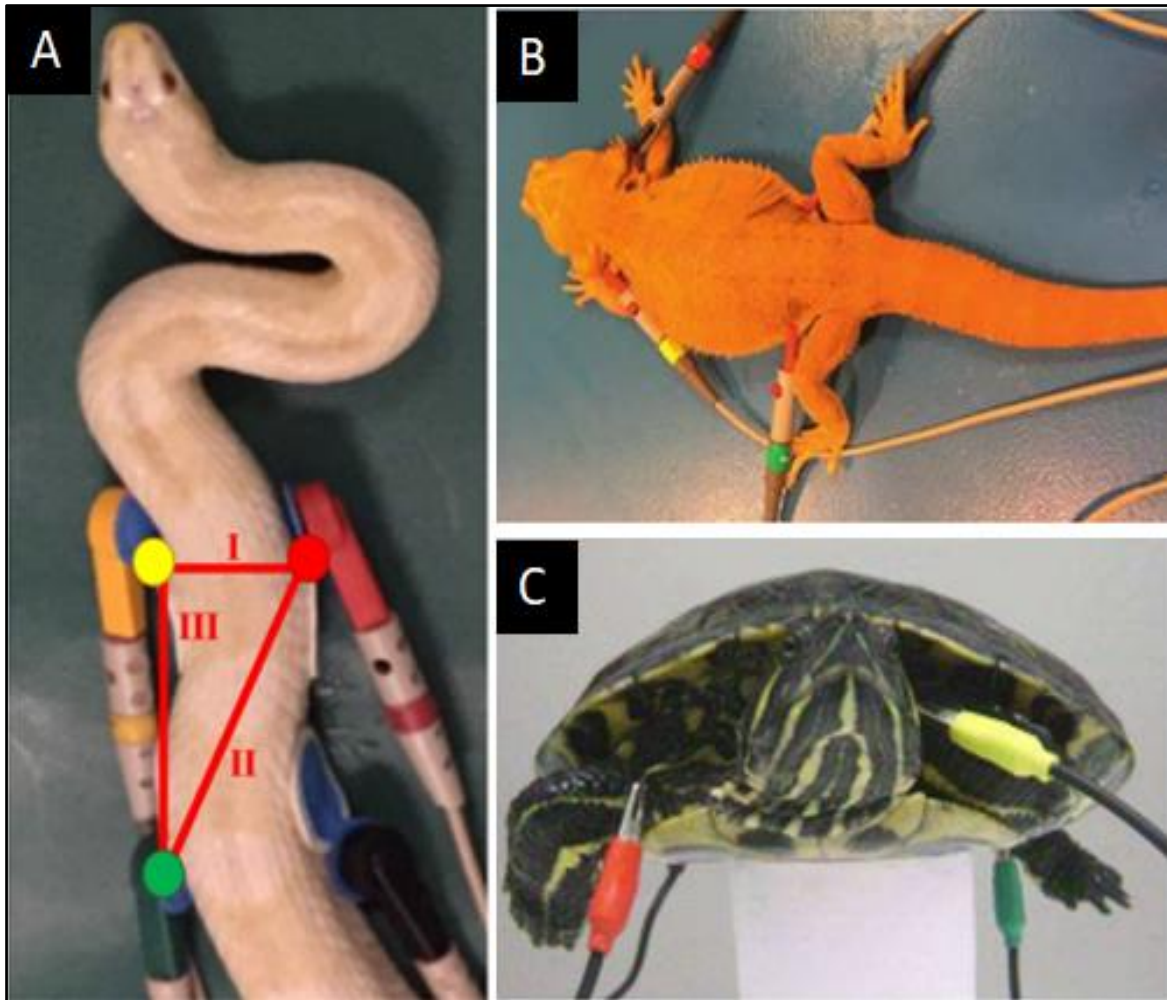


FIGURA 12 – Posicionamento para fixação de eletrodos durante exame eletrocardiográfico com triângulo Einthoven modificado em cobra-do-milho (*Pantherophis guttatus*) (A), (LEWIS et al., 2020), em dragão-barbudo (*Pogona vitticeps*) (B) (SCHILLIGER & GIRLING, 2019) e tartaruga-de-ouvido-vermelho (*Trachemys scripta elegans*) (C) (GIANNICO et al., 2012)

No ECG, a frequência cardíaca (FC) pode ser calculada pela quantidade de ondas R em um período aleatório de 30 segundos em 50 mm/s (LEWIS et al., 2020). Outra maneira de determinar a FC em registro a velocidade do papel 50 mm/s é medir os intervalos R-R em milímetros e dividir o valor por 3.000 (CARVALHO & SANTOS, 2006).

Outra avaliação realizada no exame eletrocardiográfico é o eixo cardíaco médio. Esse consiste no ângulo entre o eixo elétrico dominante e a derivação I do triângulo de Einthoven (HOWARD, 1946; VALENTINUZZI et al., 1969; BOUKENS et al., 2018) e pode ser estimado pela soma das amplitudes das

deflexões positivas e negativas nas derivações 1 e 3 (LEWIS et al., 2020). Entretanto, o valor é limitado em répteis devido ao baixo potencial e pela falta de consistência na colocação dos eletrodos (SCHILLIGER & GIRLING, 2019). O valor de eixo cardíaco em tartaruga-de-ouvido-vermelho (*Trachemys scripta elegans*) varia entre 60 e 90 graus (GIANNICO et al., 2012). Wang et al. (1991) estimaram o eixo cardíaco em jacaré-da-china (*Alligator sinensis*) pela amplitude das ondas R nas derivações DII e DIII, e obtiveram no plano frontal, um eixo que variou entre os graus +75 e +89.

O batimento cardíaco nos répteis é representado no ECG por uma onda P, um complexo QRS e uma onda T, semelhante ao que é registrado para aves e mamíferos. As ondas P, QRS e T correspondem à despolarização atrial, despolarização ventricular e repolarização ventricular, respectivamente (SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Uma onda SV pode estar presente entre as ondas T e P seguinte, e representa a despolarização do seio venoso e da veia cava caudal (Figura 13) (MITCHELL, 2009; WYNEKEN, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). O registro da onda SV depende do posicionamento dos eletrodos e pode sofrer interferência da atividade da musculatura esquelética, de forma que algumas vezes pode ser difícil distingui-la da onda T anterior (VALENTINUZZI et al., 1969; HOLZ & HOLZ, 1995; SCHILLIGER & GIRLING, 2019; LEWIS et al., 2020).

A ocorrência da onda SV varia entre as espécies e foi registrada em cerca de 25% dos ECG das serpentes da espécie *Chionactis occipitalis* (MULLEN, 1965), 45% em jiboias (*Constrictor constrictor*) (VALENTINUZZI et al., 1969a) e numa porcentagem menor do que 10% dos registros em lagartos (MULLEN, 1965). Há registros de ondas SV também nas espécies cobra-rei-do-deserto (*Lampropeltis getulus*) e sucuri-verde (*Eunectes murinus*) (VALENTINUZZI et al., 1969b). Por outro lado, estudos eletrocardiográficos com cobra-do-milho (*Pantherophis guttatus*) e tartaruga-de-ouvido-vermelho (*Trachemys scripta elegans*) relataram ausência de ondas Q, S e SV (KAPLAN & SCHWARTZ, 1963; HOLZ & HOLZ, 1995; GIANNICO et al., 2012; LEWIS et al., 2020).

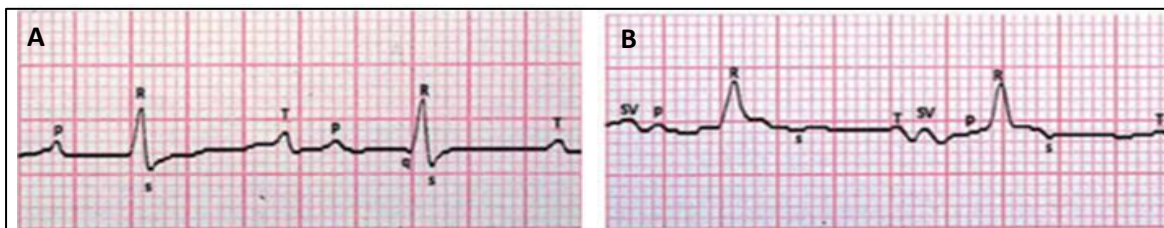


FIGURA 13 - Traçados eletrocardiográficos de uma iguana (*Iguana iguana*) (A) e de uma serpente boa-de-dumeril (*Acrantophis dumerili*) (B). No segundo traçado (B) nota-se o registro de onda SV. Fonte: adaptado de SCHILLIGER & GIRLING (2019).

A onda P típica é monofásica, tem baixa amplitude e curta duração com deflexão positiva na derivação D2, mas também pode se apresentar com deflexão negativa ou bifásica (VALENTINUZZI et al., 1969; LEWIS et al., 2020). O intervalo PQ é compreendido do início da onda P até o início do complexo QRS, mas nos répteis muitas vezes não se visualiza as ondas Q e S, então este intervalo é denominado PR. Nesses animais o intervalo PR tem média de $0,44 \pm 0,04$ s (KAPLAN & SCHWARTZ, 1963; HOLZ & HOLZ, 1995; GIANNICO et al., 2012; BOUKENS et al., 2019; LEWIS et al., 2020). Consequentemente tem-se um intervalo RT, medido do início da onda R até o final da onda T. Os intervalos PR e RT são proporcionalmente longos (LEWIS et al., 2020), com duração do complexo QRS maior do que a duração da onda P (CERMAKOVA et al., 2021).

A onda T é monofásica e tem amplitude moderada a baixa, pode ter deflexão negativa ou positiva na derivação D2 (HOLZ & HOLZ, 1995; CARVALHO & SANTOS, 2006; GIANNICO et al., 2012; LEWIS et al., 2020). Em estudo realizado com tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*), as ondas T apresentaram amplitude superior à do complexo QRS, que por sua vez tiveram deflexão bimodal (CARVALHO & SANTOS, 2006) e em tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), ondas T bifásicas foram registradas (OKUYAMA et al., 2020).

Nos répteis, os segmentos TP, do final da onda T ao começo da P, são curtos (HOLZ & HOLZ, 1995; KIK & MITCHELL, 2005; GIANNICO et al., 2012), de forma que em tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*) o intervalo representa um quarto do ciclo cardíaco (CARVALHO & SANTOS, 2006), com possibilidade de ocorrência de fusão precoce de ondas T e P (LEWIS et al., 2020). O encurtamento

do intervalo TP juntamente com um aumento da frequência cardíaca foi interpretado como estresse durante a realização de ECG em cobra-do-milho (*Pantherophis guttatus*) (LEWIS et al., 2020). Por outro lado, observou-se que temperaturas baixas causam aumentam a duração do segmento TP (GIANNICO et al., 2012).

2.3.5 Ecocardiografia

A ecocardiografia é uma técnica ultrassonográfica não invasiva de eleição para a avaliação cardíaca estrutural e de fluxo sanguíneo, mas que especialmente no caso dos répteis, ainda é subutilizada devido às limitações como disponibilidade do equipamento e falta de treinamento dos médicos veterinários (MITCHELL, 2009). Para a realização e interpretação de ecocardiografia em répteis, conhecimentos acerca das particularidades da fisiologia e anatomia cardíaca desses animais são essenciais (PEREIRA & PIZZI, 2012; AUGUSTO & HILDEBRANDT, 2014).

O exame ecocardiográfico permite a avaliação do movimento e da função do coração e das valvas cardíacas. Ele é útil na identificação de cardiomegalia, cardiomiopatia, derrame pericárdico, déficits estruturais e presença de massas cardíacas e de cristais de urato (MITCHELL, 2009; PEREIRA, PIZZI, 2012; AUGUSTO, HILDEBRANDT, 2014). Além disso, com o doppler colorido, pode-se avaliar o fluxo sanguíneo intracardíaco e dos vasos, sendo importante na detecção de anomalias de enchimento das câmaras cardíacas, defeitos nas valvas e afecções em grandes vasos (MITCHELL, 2009). A avaliação anatômica é realizada através dos modos B e M, enquanto a do fluxo sanguíneo no coração e nos vasos da base é feita através do modo Doppler (PEREIRA & PIZZI, 2012; AUGUSTO & HILDEBRANDT, 2014).

Não existem diretrizes para exame ecocardiográfico de algumas espécies de répteis. A extrapolação de padrões de animais domésticos requer cuidado, devido às diferenças de tamanho e de parâmetros cardiovasculares, e transdutores com equipamentos adequados são necessários. A técnica ecocardiográfica exige modificações para a obtenção de janela acústica viável, pois nos répteis há particularidades anatômicas das vísceras e esqueleto, como por

exemplo, a presença de casco em tartarugas, que pode influenciar ou dificultar a obtenção de imagens. Ocasionalmente, a sedação é necessária para animais não cooperativos (PEREIRA & PIZZI, 2012), ou pode-se ainda cobrir a cabeça e pressionar o globo ocular em testudines, crocodilianos e lagartos, para realizar o estímulo vagal e reduzir as atividades dos animais (DAHAN, 2006).

O tipo de transdutor utilizado na ecocardiografia varia conforme o tamanho e as espécies. Os transdutores de alta frequência (10-12 MHz), que fornecem mais detalhes ao avaliar tecidos a uma profundidade de 1 a 4 cm, são os mais indicados para répteis por conta da relativa limitação de profundidade tecidual desses animais. Para serpentes e lagartos é recomendado o uso de um transdutor linear, enquanto para testudines, o transdutor biconvexo é mais adequado (MITCHELL, 2009).

Quanto ao tamanho do animal, recomenda-se transdutores de 15 a 20 MHz para animais com menos de 250 g de peso corporal; transdutor de 10 a 15 MHz para animais entre 250g a 2kg; transdutor de 5 a 8 MHz para animais de 2 a 20 kg; e transdutor de 3 a 5 MHz para exemplares com mais de 20 kg. Uma grossa camada de gel ultrassonográfico deve ser aplicada entre 10 minutos ou mais antes do início do exame para que penetre entre as escamas de forma a reduzir bolsas de ar e minimize a ocorrência de artefatos de imagem. A presença de ar entre ou sob as escamas pode criar uma barreira acústica para as ondas ultrassonográficas. Uma outra opção é a utilização de uma bacia rasa com água aquecida (PEREIRA & PIZZI, 2012; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

Por conta da presença do plastrão ventralmente, a janela acústica utilizada em testudines é a da região cervicobraquial (PEREIRA & PIZZI, 2012; SCHILLIGER & GIRLING, 2019). Poser e colaboradores (2001), em estudo ecocardiográfico com tartaruga-de-ouvido-vermelho (*Trachemys scripta elegans*), obtiveram melhores imagens através da utilização da janela cervicobraquial direita. Nas serpentes, a probe é posicionada sobre as escamas ventrais ao nível do coração. Nos lagartos, a janela acústica localiza-se na região axilar e a probe deve ser direcionada medialmente. Nos crocodilianos e lagartos varanídeos o posicionamento da probe também é realizado na lateral do corpo mais caudalmente, por conta das costelas que podem interferir na obtenção de imagens (MITCHELL, 2009).

2.3.6 Exames de imagem avançados

Os exames de imagem mais modernos, como a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM), têm especial valor na avaliação cardiológica de espécies de testudines, para os quais as técnicas radiográficas comuns apresentam limitações. Ambos os exames fornecem detalhes importantes dos órgãos; a TC necessita de um intervalo menor de execução, o que deve ser considerado pois reflete o tempo em que o animal permanece sob anestesia e pode ser contraindicado no caso de animais com insuficiência cardíaca. A ressonância magnética é mais indicada para avaliação de tecidos moles devido à alta capacidade de diferenciação e os fatores limitantes para seu uso, além da duração maior do procedimento, são os custos e a disponibilidade de equipamentos (MITCHELL, 2009; SCHILLIGER & GIRLING, 2019).

3. CONCLUSÕES

A classe Reptilia é muito diversificada e as particularidades da biologia das espécies devem ser consideradas pelo médico veterinário ao realizar a avaliação clínica desses pacientes, pois vão refletir no direcionamento do diagnóstico e terapêutica de doenças. O conhecimento das características anatomofisiológicas bem como a predisposição a distúrbios metabólicos desencadeados por manejo inadequado e entendimento da evolução das doenças nesses animais também são essenciais.

A utilização das técnicas e exames diagnósticos cardiológicos, compreendidas suas indicações e limitações de acordo com a espécie, estão atreladas a uma correta interpretação. Recomenda-se a adoção da avaliação cardiológica com exames de rotina em répteis, para que se obtenha parâmetros basais individuais e com essa avaliação adotada de forma preventiva, seja possível reconhecer desordens cardiovasculares mais precocemente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERS, T. K.; DAMM, M. G. The effect of temperature on the electrocardiograms of two species of turtles. **Copeia**, ASIH, Miami, v. 1963, n. 4, p. 629-634, 1963.
- ALVES, A. C.; RIBEIRO, D. B.; COTRIN, J. V.; RESENDE, H. R.; DRUMMOND, C. D.; DE ALMEIDA, F. R.; NETO, J. V.; SOUSA, R. V. D. Descrição morfológica do coração e dos vasos da base do jacaré-do-pantanal (*Caiman yacare* Daudin, 1802) proveniente de zoológico. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 36, p. 8-14, 2016.
- AUGUSTO, A.Q; HILDEBRANDT, T.B. Ultrassonografia. In.: CUBAS, Z. S.; SILVA, J. C. R.; CATÃO-DIAS, Z. S. **Tratado de animais selvagens: medicina veterinária** 2. ed. São Paulo: Roca, 2014. p. 1706-1720.
- BAUER, A.; BAUER, G. Squamata - Sauria (Iguana e Lagartos). In.: CUBAS, Z. S.; SILVA, J. C. R.; CATÃO -DIAS, J. L. (Org.). **Tratado de animais selvagens: Medicina veterinária**. 2. ed. v. 1. São Paulo: Roca, 2014. p. 186-218.
- BERGER, P. J.; HEISLER, N. Estimation of shunting, systemic and pulmonary output of the heart, and regional blood flow distribution in unanaesthetized lizards (*Varanus exanthematicus*) by injection of radioactively labelled microspheres. **Journal of Experimental Biology**, Columbus, v. 71, n. 1, p. 111-121, 1977.
- BETTEX, D. A.; PRÊTRE, R.; CHASSOT, P. Is our heart a well-designed pump? The heart along animal evolution. **European heart journal**, Oxford, v. 35, n. 34, p. 2322-2332, 2014.
- BOGAN JR, J. E. Ophidian cardiology - a review. **Journal of Herpetological Medicine and Surgery**, Oviedo, v. 27, n. 1-2, p. 62-77, 2017.
- BOUKENS, B. J. D.; KRISTENSEN, D. L.; FILOGONIO, R.; CARREIRA, L. B.; SARTORI, M. R.; ABE, A. S.; CURRIE, S.; JOYCE, W.; CONNER, J.; OPTHOF, T.; CROSSLEY II, D. A.; WANG, T.; JENSEN, B. The electrocardiogram of vertebrates: evolutionary changes from ectothermy to endothermy. **Progress in biophysics and molecular biology**, Amsterdam, v. 144, p. 16-29, 2019.
- BURGGREN, W.; JOHANSEN, K. Ventricular haemodynamics in the monitor lizard *Varanus exanthematicus*: pulmonary and systemic pressure separation. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 96, n. 1, p. 343-354, 1982.
- BURKHARD, S.; VAN EIF, V.; GARRIC, L.; CHRISTOFFELS, V. M.; BAKKERS, J. On the evolution of the cardiac pacemaker. **Journal of cardiovascular development and disease**, Basel, v. 4, n. 2, p. 4, 2017.
- CABANAC, M.; BERNIERI, C. Behavioral rise in body temperature and tachycardia by handling of a turtle (*Clemmys insculpta*). **Behavioural Processes**, Québec, v. 49, n. 2, p. 61-68, 2000.
- CAMPOLO, M.; ORICCO, S.; CAVICCHIO, P.; PIGA, S.; ULIVI, V.; POGGI, M.; ZANATTA, R.; IANNACCONE, M. Echocardiographic evaluation of four giant Aldabra tortoises (*Aldabrachelys gigantea*). **Veterinary record open**, London, v. 6, n. 1, p. e000274, 2019.
- CARVALHO, S. F. M.; SANTOS, A. L. Q. Valores das ondas do eletrocardiograma de tartarugas-da-Amazônia (*Podocnemis expansa* Schweigger, 1812) (Testudines). **Ars Vet**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 117-121, 2006.
- CERMAKOVA, E.; PISKOVSKA, A. N. N. A.; TRHONOVA, V.; SCHILLIGER, L.; KNOTEK, Z. Comparison of three ECG machines for electrocardiography in green iguanas (*Iguana iguana*). **Veterinární medicína**, Praha, v. 66, n. 2, p. 66-71, 2021.

- CHRISTIAN, E.; GRIGG, G. C. Electrical activation of the ventricular myocardium of the crocodile *Crocodylus johnstoni*: a combined microscopic and electrophysiological study. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, Queensland, v. 123, n. 1, p. 17-23, 1999.
- CLOSE, B. BANISTER, K.; BAUMANS, V.; BERNOTH, E. M.; BROMAGE, N.; BUNYAN, J.; ERHARDT, W.; FLECKNELL, P.; GREGORY, N.; HACKBARTH, H.; MORTON, D.; WARWICK, C. Recommendations for euthanasia of experimental animals: Part 2. **Laboratory animals**, Thousand Oaks, v. 31, n. 1, p. 1-32, 1997.
- COMOLLI, J.R.; DIVERS, S. Radiography - Snakes. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis: Elsevier, p. 503-513, 2019.
- CORTOPASSI, S. R. G.; YANAI, P. R. Terapia intensiva. In: CUBAS, Z. S.; SILVA, J. C. R.; CATÃO-DIAS, J. L. **Tratado de animais selvagens: medicina veterinária**. 2. ed. São Paulo: Roca, p. 1884-1897 2014.
- COSTELLO, M. F. Principles of cardiopulmonary cerebral resuscitation in special species. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, Philadelphia, v. 13, n. 3, p. 132-141, 2004.
- DAHMAN, M. **Elektrokardiographische Untersuchungen beim Grünen Leguan (*Iguana iguana*)**. 2006. 161 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Ludwig-Maximilians, Universität München, Munique.
- DAWSON, W. R.; BARTHOLOMEW, G. A. Metabolic and cardiac responses to temperature in the lizard *Dipsosaurus dorsalis*. **Physiological Zoology**, Chicago, v. 31, n. 2, p. 100-111, 1958.
- DIVERS; S. J.; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis: Elsevier Health Sciences, 2019. 1793 p.
- DUTRA, G. H. P. Testudines (Tigre d'água, Cágado e Jabuti). In: CUBAS, Z. S.; SILVA, J. C. R.; CATÃO-DIAS. **Tratado de animais selvagens: medicina veterinária**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2014. p. 219-258.
- GARTRELL, B. D.; KIRK, E. J. Euthanasia of reptiles in New Zealand: current issues and methods. **Kokako**, Palmerston North, v. 12, n.1, p. 12-15, 2005.
- GEDDES, L. A. Electrocardiograms from the turtle to the elephant that illustrate interesting physiological phenomena. **Pacing and clinical electrophysiology**, Stanford, v. 25, n. 12, p. 1762-1770, 2002.
- GIANNICO, A. T.; SOMMA, A. T.; LIMA, L.; OLIVEIRA, S. T.; LANGE, R. R.; TYSZKA, R. M. T.; BIONDI, F.; MONTIANI-FERREIRA, F. Parâmetros eletrocardiográficos de tigres-d'água norte-americanos (*Trachemys scripta elegans*) em duas temperaturas corporais. **PUBVET**, Londrina, v. 6, n. 24, ed. 211, Art. 1405, 2016.
- GRAY, S. W. Pattern of contraction and relaxation in tortoise ventricle. **American Journal of Physiology**-Legacy Content, v. 162, n. 1, p. 249-258, 1950.
- GREGO, K. F.; ALBUQUERQUE, L. R.; KOLESNIKOVAS, C. K. M. Squamata (Serpentes). In: CUBAS, Z. S.; SILVA, J. C. R.; CATÃO-DIAS, J. L. **Tratado de animais selvagens: medicina veterinária**. 2. ed. São Paulo: Roca, 2014. p. 186-218.
- GUSTAVSEN, K. A.; Saunders, A. B.; Young, B. D.; Winter, R. L.; Hoppes, S. M. Echocardiographic and radiographic findings in a cohort of healthy adult green iguanas (*Iguana iguana*). **Journal of Veterinary Cardiology**, College Station, v. 16, n. 3, p. 185-196, 2014.

- HANLEY, C. S.; HERNANDEZ-DIVERS, S. Practical gross pathology of reptiles. **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, Athens, v. 12, n. 2. p. 71-80, 2003.
- HEISLER, N.; NEUMANN, P.; MALOIY, G. M. The mechanism of intracardiac shunting in the lizard *Varanus exanthematicus*. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 105, n. 1, p. 15-31, 1983.
- HICKS J. W. Regulation of intracardiac shunting in reptiles: anatomic vs effective shunting. In: BICUDO J. E., GLASS M. L. **The vertebrate gas transport cascade: adaptations to environment and mode of life**. CRC Press, Boca Raton, 1993. 400 p.
- HICKS, J. W. The physiological and evolutionary significance of cardiovascular shunting patterns in reptiles. **Physiology**, Rockville, v. 17, n. 6, p. 241-245, 2002.
- HOLMES, S. P.; DIVERS, S. J. Radiography - general principles. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis: Elsevier, p. 486-490, 2019a.
- HOLMES, S. P.; DIVERS, S. J. Radiography - Lizards. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis, Elsevier, 491-502, 2019b.
- HOLMES, S. P.; DIVERS, S. J. Radiography - Chelonians. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3 ed. St. Louis, Elsevier, p. 514-527, 2019c.
- HOLZ, R. M.; HOLZ, P. Electrocardiography in anaesthetised red-eared sliders (*Trachemys scripta elegans*). **Research in veterinary science**, Ontario, v. 58, n. 1, p. 67-69, 1995.
- HOWARD, F. H. A method for the construction of the Vectorcardiogram from the Einthoven electrocardiogram. **American heart journal**, New York, v. 31, n. 2, p. 191-219, 1946.
- JENSEN, B.; ABE, A. S.; ANDRADE, D. V.; NYENGAARD, J. R.; WANG, T. The heart of the South American rattlesnake, *Crotalus durissus*. **Journal of morphology**, Aarhus, v. 271, n. 9, p. 1066-1077, 2010.
- JENSEN, B.; NYENGAARD, J. R.; PEDERSEN, M.; WANG, T. Anatomy of the python heart. **Anatomical science international**, Aarhus, v. 85, n. 4, p. 194-203, 2010a.
- JENSEN, B.; NIELSEN, J. M.; AXELSSON, M.; PEDERSEN, M.; LÖFMAN, C.; WANG, T. How the python heart separates pulmonary and systemic blood pressures and blood flows. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 213, n. 10, p. 1611-1617, 2010b.
- JENSEN, B.; BOUKENS, B. J.; POSTMA, A. V.; GUNST, Q. D.; VAN DEN HOFF, M. J.; MOORMAN, A. F.; WANG, T.; CHRISTOFFELS, V. M. Identifying the evolutionary building blocks of the cardiac conduction system. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 7, n. 9, 2012.
- JENSEN, B.; WANG, T.; CHRISTOFFELS, V. M.; MOORMAN, A. F. Evolution and development of the building plan of the vertebrate heart. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research**, Aarhus, v. 1833, n. 4, p. 783-794, 2013.
- JENSEN, B.; MOORMAN, A. F. M; WANG, T. Structure and function of the hearts of lizards and snakes. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 89, n. 2, p. 302-336, 2014.
- KAPLAN, H. M.; SCHWARTZ, C. Electrocardiography in turtles. **Life Sciences**, v. 2, n. 9, p. 637-645, 1963.

- KARDONG, K. V. The circulatory system. In: KARDONG, K.V. **Vertebrates: Comparative anatomy, function, evolution**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, p. 451-498, 2012.
- KARDONG, K. V. **Vertebrados - Anatomia Comparada, Função e Evolução**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, Grupo GEN, 2016. p. 452-503.
- KIK, M. J. L.; MITCHELL, M. A. Reptile cardiology: a review of anatomy and physiology, diagnostic approaches, and clinical disease, **Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine**, Utrecht, v. 14, n. 1, p. 52-60, 2005.
- LEWIS, M.; BOUVARD, J.; EATWELL, K.; CULSHAW, G. Standardisation of electrocardiographic examination in corn snakes (*Pantherophis guttatus*). **Veterinary Record**, London, v. 186, n. 19, p. e29, 2020.
- LILLYWHITE, H. B. Circulatory adaptations of snakes to gravity. **American Zoologist**, Denver, v. 27, n. 1, p. 81-95, 1987.
- LILLYWHITE, H. B.; ZIPPEL, K. C.; FARRELL, A. P. Resting and maximal heart rates in ectothermic vertebrates. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, Gainesville, v. 124, n. 4, p. 369-382, 1999.
- LILLYWHITE, H. B.; ALBERT, J. S.; SHEEHY III, C. M.; SEYMOUR, R. S. Gravity and the evolution of cardiopulmonary morphology in snakes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, Gainesville, v. 161, n. 2, p. 230-242, 2012.
- LONG, S. Y. Approach to reptile emergency medicine. **Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice**, Baltimore, v. 19, n. 2, p. 567-590, 2016.
- LONGLEY, L. Reptile anaesthesia. In.: LONGLEY, L. **Anaesthesia of exotic pets**. 1. ed. London: Editora W.B. Saunders Company, p. 183-210, 2008.
- MITCHELL, M. A. Reptile cardiology. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, Urbana, v. 12, n. 1, p. 65-79, 2009.
- MULLEN, R. K. Comparative electrocardiography of the squamata. **Physiological Zoology**, Los Angeles, v. 40, n. 2, p. 114-126, 1965.
- NEVAREZ, J. G. Euthanasia. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis: Elsevier, p. 430-440, 2019.
- NÓGRÁDI, A. L.; BALOGH, M. Establishment of methodology for non-invasive electrocardiographic measurements in turtles and tortoises. **Acta Veterinaria Hungarica**, Budapest, v. 66, n. 3, p. 365-375, 2018.
- OKUYAMA, J.; SHIOZAWA, M.; SHIODE, D. Heart rate and cardiac response to exercise during voluntary dives in captive sea turtles (Cheloniidae). **Biology open**, Tokyo, v. 9, n. 2, 2020.
- PARÉ, J. A.; LENTINI, A. M. Reptile geriatrics. **Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice**, Maryland Heights, v. 13, n. 1, p. 15-25, 2010.
- PEREIRA, Y. M.; PIZZI, R. Echocardiography of the weird and wonderful: tarantulas, turtles and tigers. **Ultrasound**, London, v. 20, n. 2, p. 113-119, 2012.
- POSER, H.; RUSSELLO, G.; ZANELLA, A.; BELLINI, L.; GELLI, D. Two-dimensional and Doppler echocardiographic findings in healthy non-sedated red-eared slider terrapins (*Trachemys scripta elegans*). **Veterinary research communications**, Legnaro, v. 35, n. 8, p. 511-520, 2011.
- POUPA, O.; LINDSTRÖM, L. Comparative and scaling aspects of heart and body weights with reference to blood supply of cardiac fibers. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, Giiteborg, v. 76, n. 3, p. 413-421, 1983.

- RADEMACHER, N.; NEVAREZ, J.G. Radiography - Crocodilians. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis, Elsevier, p. 528-542, 2019.
- REZENDE, R. M. **Morfologia do coração da lagartixa *Hemidactylus mabouia* (Moreau Jonnès, 1818) (Squamata: Gekkonidae)**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Biologia celular e estrutural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2011.
- RISHNIW, M.; CARMEL, B. P. Atrioventricular valvular insufficiency and congestive heart failure in a carpet python. **Australian veterinary journal**, Ithaca, v. 77, n. 9, p. 580-583, 1999.
- SCHILLIGER, L.; GIRLING, S. Cardiology. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis: Elsevier, 2019. p. 669-698.
- SCHILLIGER, L.; GIRLING, S. Emergency and critical care. In: DIVERS, S. J; STAHL, S. J. **Maders's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery**. 3. ed. St. Louis: Elsevier, p. 967-976, 2019.
- SEEBACHER, F.; FRANKLIN, C. E. Cardiovascular mechanisms during thermoregulation in reptiles. **International Congress Series**. Elsevier, Sydney, v. 1275, p. 242-249, 2004.
- STARCK, J. M. Functional morphology and patterns of blood flow in the heart of *Python regius*. **Journal of morphology**, Munich, v. 270, n. 6, p. 673-687, 2009.
- STEPHENSON, A.; ADAMS, J. W.; VACCAREZZA, M. The vertebrate heart: an evolutionary perspective. **Journal of anatomy**, Perth, v. 231, n. 6, p. 787-797, 2017.
- STUMPEL, J. B. G.; DEL-POZO, J.; FRENCH, A.; EATWELL, K. Cardiac hemangioma in a corn snake (*Pantherophis guttatus*). **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, Washington, v. 43, n. 2, p. 360-366, 2012.
- SYME, D. A.; GAMPERL, K.; JONES, D. R. Delayed depolarization of the cog-wheel valve and pulmonary-to-systemic shunting in alligators. **Journal of experimental biology**, Cambridge, v. 205, n. 13, p. 1843-1851, 2002.
- UNDERWOOD, W.; ANTHONY, R. AVMA guidelines for the euthanasia of animals: 2020 edition. **Retrieved on March**, Schaumburg, v. 2013, n. 30, 2020.
- VALENTINUZZI, M. E.; HOFF, H. E.; GEDDES, L. A. Electrocardiogram of the snake: effect of the location of the electrodes and cardiac vectors. **Journal of electrocardiology**, Houston, v. 2, n. 3, p. 245-252, 1969.
- VALENTINUZZI, M. E. **Electrophysiology and mechanics of the snake heart beat**. Doctoral dissertation. Department of Physiology of Baylor College of Medicine, Houston Baylor University, Texas, 1969a.
- VALENTINUZZI, M. E.; HOFF, H. E.; GEDDES, L. A. Electrocardiogram of the snake: intervals and durations. **Journal of electrocardiology**, Houston, v. 2, n. 4, p. 343-352, 1969b.
- WANG, Z.; SUN, N. Z.; MAO, W. P.; CHEN, J. P.; HUANG, G. Q. An analysis of electrocardiogram of alligator sinensis. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, Nanjing Jiangsu, v. 98, n.1, p. 89-95, 1991.
- WANG, T.; ALTIMIRAS, J.; KLEIN, W.; AXELSSON, M. Ventricular haemodynamics in *Python molurus*: separation of pulmonary and systemic pressures. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 206, n. 23, p. 4241-4245, 2003.

WANG, T.; JOYCE, W.; HICKS, J. W. Similitude in the cardiorespiratory responses to exercise across vertebrates. **Current Opinion in Physiology**, Aarhus, v. 10, p. 137-145, 2019.

WARREN, K. Reptile Euthanasia - No Easy Solution? **Pacific Conservation Biology**, Clayton South, v. 20, n. 1, p. 25-27, 2014.

WYNEKEN, J. Normal reptile heart morphology and function. **Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice**, Boca Raton, v. 12, n. 1, p. 51-63, 2009.