

ASPECTOS ATUAIS NA MONITORAÇÃO DO DÉBITO CARDÍACO EM CÃES

(Current aspects in cardiac output monitoring in dogs)

Martielo Ivan Gehrcke¹, Nilson Oleskovicz

¹Correspondência: martielogehrcke@hotmail.com

RESUMO: Por anos a utilização do cateter de Swan-Ganz (Termodiluição) serviu como guia na monitoração do débito cardíaco (DC), mas a invasibilidade do procedimento levou a busca por métodos igualmente eficazes e menos invasivos. Todavia, poucos estudos em cães apresentam rigor metodológico e análise estatística adequada para comparação de métodos. O objetivo desta revisão é abordar os principais métodos alternativos na análise do DC em cães. Os métodos de termodiluição transpulmonar (PICCO[®]) e diluição por lítio (LIDCO[®]) parecem ser os métodos com maior correlação e concordância com a termodiluição, porém, reservam certa invasibilidade e complexidade. Com base no princípio de Fick, é possível se estimar o DC por meio da análise de gases expirados, entretanto, estes possuem limitações em relação ao porte do animal (NICO[®]) ou necessitam de maiores estudos em cães (calorimetria indireta). Recentemente, a ecocardiografia destacou-se na monitoração do DC por se uma técnica não invasiva e que não necessita de sedação ou anestesia para realização por via transtorácica e embora os resultados pareçam promissores a dependência de experiência do avaliador e a variação dos resultados ainda limitam sua utilização. Conclui-se que os métodos como LIDCO[®] e PICCO[®] podem se equiparar à termodiluição, após análise estatística adequada, mas ainda apresentam certo grau de invasibilidade e limitações de técnica. A ecocardiografia e os métodos de Fick possuem potencial para substituir os métodos invasivos porém dependem de mais estudos que eliminem as limitações das técnicas e dos avaliadores.

Palavras-chave: Bland-Altman; Calorimetria Indireta; Diluição de lítio; Diluição transpulmonar; Ecocardiografia

ABSTRACT: For years the use of the Swan-Ganz catheter (Thermodilution) served as a guide in cardiac output monitoring, but the invasiveness of the procedure gave rise to the search for equally effective and less invasive methods. However, few studies in dogs have methodological rigor and appropriate statistical analysis for comparison of methods. The aim this review is to address the main alternative methods in the analysis of cardiac output in dogs. Methods of transpulmonary thermodilution (PICCO[®]) and lithium dilution (LIDCO[®]) appear to be methods with higher correlation and agreement with thermodilution, however, reserve invasiveness and complexity. Based on the Fick principle, it is possible to estimate cardiac output by expired gas analysis, however, these have limitations on the size of the animal (NICO[®]) or need further study in dogs (Indirect Calorimetry). Recently, echocardiography highlighted in the monitoring of cardiac output by a non-invasive and does not require sedation or anesthesia for transthoracic analysis and although the results seem promising dependence evaluator experience and the varying results still limit use. We conclude that the methods as LIDCO[®] and PICCO[®] can match the thermodilution, after appropriate statistical analysis, but still have some degree of invasiveness and technical limitations. Echocardiography and Fick methods have the potential to replace invasive methods but rely on more efforts to eliminate the limitations of techniques and evaluators.

Key Words: Bland-Altman; Echocardiography; Indirect calorimetry; Lithium dilution; Transpulmonary dilution

INTRODUÇÃO

A monitoração hemodinâmica e da oxigenação tecidual tem sua importância como guia de terapia do paciente, principalmente aqueles em estado crítico (Wall *et al.*, 2009; Silva, 2013). Dentre os parâmetros hemodinâmicos alguns são mensurados de forma direta como pressão arterial (PA), pressão venosa central (PVC), pressões da artéria pulmonar (PAP) e artéria pulmonar ocluída (PAP_O) e o débito cardíaco (DC). Ainda, com estes parâmetros pode-se calcular o índice cardíaco (IC), resistências vasculares sistêmica (RVS) e pulmonar (RVP) e os trabalhos ventriculares direito e esquerdo (REZENDE *et al.*, 2002).

Além disso, a coleta de sangue venoso misto é utilizada juntamente com o sangue arterial periférico para cálculos de oxigenação tecidual como o consumo de oxigênio (VO₂), oferta de oxigênio aos tecidos (DO₂) e a taxa de extração de oxigênio tecidual (HASKINS *et al.*, 2005). Na tabela 1 estão representados os principais parâmetros hemodinâmicos e de oxigenação tecidual para monitoração em cães, observa-se que o DC é essencial para a maioria das variáveis.

Tabela 1– Parâmetros hemodinâmicos e de oxigenação tecidual calculados a partir das variáveis obtidas de forma direta. Adaptado de Haskins et al. (2005).

Parâmetro	Fórmula
Índice cardíaco (L/m ² /min)	IC= DC/ ASC
Índice de Trabalho Ventricular Direito e Esquerdo (Kg.min/m ²)	ITVD= IC*PAPM*0,0144 ITVE= IC*PAM*0,0144
Resistência Vascular Sistêmica e Pulmonar (dynes.sec.cm ⁻⁵ /m ²)	RVS=(PAM-PVC)*79,92/IC RVP=(PAP-PAP _O)*79,92/IC
Conteúdo de oxigênio ou dióxido de carbono nos sangues arterial e venoso misto (mL/dL)	CO ₂ =(1,34*Hb*SO ₂)+(PO ₂ *0,0031) CCO ₂ = (2.226 x 0.0299 x PCO ₂ x (1 + 10 ^(pH-7,35)) x (1-((0.0289 x Hb)/((3.352 - (0.456 SO ₂ /100)))) x (8.142 - pH)))
Oferta de Oxigênio (mL/min/m ²)	DO ₂ = CaO ₂ (IC*10)
Consumo de Oxigênio (mL/min/m ²)	VO ₂ = (CaO ₂ - CvmO ₂)*(IC*10)
Produção de Dióxido de Carbono (mL/min/m ²)	VCO ₂ = (CaCO ₂ - CvmCO ₂)*(IC*10)
Taxa de extração de Oxigênio (%)	EO ₂ =VO ₂ /DO ₂

Débito cardíaco (DC); Área de superfície corporal (ASC); Pressão arterial média (PAM); venosa central (PVC); da artéria pulmonar (PAP) e artéria pulmonar ocluída (PAP_O); pH; hemoglobina (Hb); Pressão arterial ou venosa mista de oxigênio (PaO₂ / PvmO₂) e dióxido de carbono (PaCO₂/ PvmCO₂) e saturação arterial ou venosa mista de oxigênio (SaO₂/ SvmO₂).

O DC pode ser definido como a quantidade de sangue que sai do ventrículo esquerdo para circulação sistêmica por unidade de tempo. Dentre os parâmetros hemodinâmicos, este é um dos mais importantes pois está diretamente relacionado com a demanda e a oferta de oxigênio aos tecidos. Desta forma, a estimativa do DC torna-se fundamental na monitoração hemodinâmica do paciente crítico (SILVA, 2013).

Em 1887 Fick desenvolveu um método para estimar o DC baseado no conteúdo arterial de oxigênio no sangue (CaO₂), no conteúdo de oxigênio no sangue venoso misto (artéria pulmonar) (CvmO₂) e no consumo de oxigênio (VO₂) sendo que: DC= VO₂/ CaO₂-CvmO₂ (GARCIA *et al.*, 2011). Contudo, a necessidade da inserção de um cateter ao nível da artéria pulmonar para coleta de amostras fez surgir novas possibilidades já que a estimativa do VO₂ não era possível de forma precisa.

Desde 1970, o método de eleição e de maior acurácia para aferição do DC é por meio de um cateter arterial pulmonar ou cateter de Swan-Ganz, através da termodiluição (TD)

(PEREIRA Jr. *et al.*, 1998). O cateter é inserido pelas veias jugulares ou femorais até a artéria pulmonar, sendo sua localização confirmada pela onda de pulso característica (Figura 1), permanecendo com a saída nesta e outra posicionada próximo à aurícula direita.

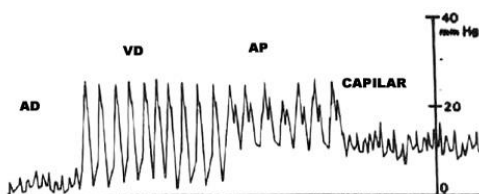


Figura 1 – Ondas de pulso e pressão características obtidas com a inserção de cateter de Swan-Ganz nas diferentes estruturas cardíacas. AD: átrio direito; VD: ventrículo direito; AP: artéria pulmonar.

Nesta técnica, administra-se solução gelada (<4 C°) ou a uma temperatura conhecida no orifício proximal do cateter (aurícula direita) e esta acarreta diminuição da temperatura sanguínea por diluição (Figura 2). A temperatura do sangue é novamente mensurada na da artéria pulmonar e esta diferença gera um gráfico no qual a área sob a curva reflete o fluxo de sangue que deixa o ventrículo direito em direção à circulação pulmonar, assim, por diluição térmica obtém-se o DC (PEREIRA Jr. *et al.*, 1998; GARCIA *et al.*, 2011).

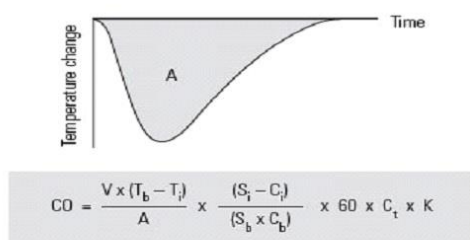


Figura 2 – Curva de termodiluição intermitente: princípio de Stewart-Hamilton. V: volume do diluente injetado; Tb: temperatura do sangue; Ti: temperatura do diluente injetado; Si: peso específico do diluente injetado; Ci: calor específico do injetado; Sb: peso específico do sangue; Cb: calor específico do sangue; Ct: fator de correção; K: constante de calibração; A: área.

Fonte: Junior e Leão, 2014. <http://rmmg.org/artigo/detalhes/1015>. Adaptado de Hofer *et al.* 2007.

Embora esta técnica seja de eleição para monitoração destas

variáveis, o grande viés está na aplicabilidade deste procedimento na rotina. Devido ao seu alto grau de invasibilidade, com risco de promover arritmias e infecções sistêmicas, a técnica acaba por ser de difícil realização na prática hospitalar (ANOV *et al.*, 2000; GARCIA *et al.*, 2011; CHEW, 2012). Em pequenos animais, está ainda apresenta como empecilho o porte dos pacientes, tornando difícil a introdução do cateter de Swan-Ganz e seu adequado posicionamento (SHIH *et al.*, 2011).

Não fossem as complicações e dificuldades da inserção do cateter, ainda é questionada a acurácia do método, pois o mesmo reflete o débito do coração direito que nem sempre é o mesmo do coração esquerdo em casos de refluxo valvar e doenças pulmonares.

Tournadre *et al.* (1997) citam alguns estudos que apontam superestimação do DC pela termodiluição principalmente em situações de baixo débito. Ainda, os autores demonstram em seus resultados, a partir da avaliação do DC por termodiluição e probe de fluxo aórtico direto, que em baixos débitos a superestimação da termodiluição pode ocorrer principalmente devido a administração da solução gelada e do baixo fluxo pulmonar.

Yang e colaboradores (2013) conduziram um estudo em suínos submetidos a estados normo, hipo e hiperdinâmicos, avaliando a precisão e a concordância da termodiluição com os valores reais de DC a partir de um transdutor de fluxo posicionado diretamente na aorta. Os autores encontraram erros sistemáticos de ±26% e percentagem de erro entre os métodos de ±23% para o estado hemodinâmico basal durante a anestesia e de ±34-39% durante as intervenções hemodinâmicas, com aumento do erro em situações de alto débito. Ainda, os autores citam no

mesmo estudo e com base em estudos *in vitro* que podem ocorrer variações na mensuração em relação à temperatura do injetado, aos diferentes tipos de cateter encontrados no mercado e a execução da técnica.

Devido a estas intercorrências, buscaram-se alternativas ao cateter de Swan-Ganz na monitoração hemodinâmica e da oxigenação tecidual, a partir de técnicas minimamente invasivas na determinação do DC. Vicent *et al.* (2011) citam que a monitoração hemodinâmica adequada deve fornecer valores confiáveis, acurados, com boa repetibilidade e de importância clínica, além de ser de fácil acesso, fácil execução, ausência de interferência entre avaliadores e acessível à rotina. Infelizmente, o método ideal não existe e há necessidade de se buscar constantemente métodos que atendam o máximo possível destas afirmativas. Com base nestes achados, o objetivo desta revisão é apresentar os principais métodos disponíveis para monitoração do débito cardíaco em cães.

ANÁLISE DE COMPARAÇÃO DE MÉTODOS

Embora a literatura seja ampla a despeito de diferentes técnicas de monitoração, um fator limitante é a análise empregada na comparação dos métodos. Em 1986 Bland e Altman demonstraram um método estatístico para comparação de técnicas em medicina, pois até então, a maioria dos autores utilizava-se da comparação de médias, que pode sofrer interferências individuais, e do coeficiente de correlação. Porém, o coeficiente de correlação é uma medida de associação, ou seja, demonstra se uma variável é dependente e acompanha a outra (BLAND; ALTMAN, 1986; BLAND; ALTMAN, 1999). Por exemplo, se obtivermos valores de PAS de 80, 95, 96 e 100 mmHg de quatro indivíduos

distintos com um determinado monitor e outro fornecesse valores de 90, 105, 106 e 110 mmHg a correlação seria igual a 1, mas os valores são diferentes entre si (HIRAKATA; CAMEY, 2009). A análise de BlandAltman considera as diferenças entre os valores de dois diferentes métodos e a média destes dois valores, gerando uma diferença média e limites de concordância que permitem avaliar se a diferença entre os métodos é clinicamente relevante ou não (Figura 3).

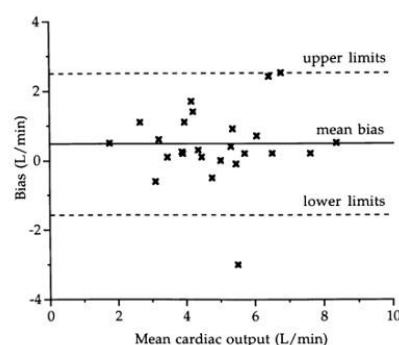


Figura 3 - Análise de Bland-Altman na qual no eixo x estão plotadas as diferenças entre o método de referência e o testado (Biais ou viés: Referência-Testado) e no eixo y a média entre os dois métodos (Média: Referência + Testado/ 2). Fonte: CRITCHLEY e CRITCHLEY, 1999.

Cada ponto na figura 3 refere-se a uma mensuração com ambos os métodos. Os limites inferior e superior de concordância são obtidos por duas vezes o desvio padrão do viés médio (± 2 DP) e indicam a variação esperada com o método testado frente ao padrão, devendo ser baixa para substituição de métodos.

Assim, em estudos que visam à concordância entre métodos esta análise deve ser empregada e não o coeficiente de correlação para adequada interpretação dos resultados (BLAND; ALTMAN, 1986; BLAND; ALTMAN, 1999). Critchley e Critchley (1999) em sua meta-análise verificaram que a grande maioria dos estudos de comparação de DC por diferentes métodos não empregam adequada análise estatística e fornecem dados de difícil interpretação clínica. Os autores

ainda frisam com base na literatura que para substituição de métodos além de ser mandatório o emprego da análise de Bland-Altman o método deve apresentar no máximo 30% de erro (obtido por meio do intervalo de confiança e da média entre os métodos) em relação ao método referência. Infelizmente nem todos os estudos apresentam este dado. Na tabela 2 estão representados os principais métodos alternativos de determinação do DC em cães, sob diferentes situações hemodinâmicas, em estudos que empregaram adequada análise estatística.

Tabela 2 - Estudos que compararam a termodiluição aos métodos alternativos em cães, sob diferentes situações hemodinâmicas e que empregaram a análise de Bland-Altman.

Referência		r ²	Viés ± DP	% Erro
Haryard 2000	NICO®	0,93	-0,07 ± 0,7 L/min	27,5 %
Mason et al. 2001	LIDCO®	0,98	-0,084 ± 0,465 L/min	-
Yamashita et al. 2007	BICO®	-	-0,58 ± 1,56 L/min	75,4%
	NICO®	-	-1,04 ± 1,08 L/min	56%
	VTI-A ¹	-	-0,03 ± 0,26 L/min	12,3%
Bektas et al. 2012	Flotrec®	-	7 ± 5,08 L/min	162%
	VTI ^{2*}	0,88	-0,47 - (-0,35) ± 0,7 - 0,93 L/min	-
Lopes 2010	VTI-A ²	0,69	-0,87 ± 0,54 L/min	51,4%
	VTI-P ²	0,86	-0,04 ± 0,22 L/min	26%
Morgaz 2014	PICCO®	0,91	-0,04 ± 1,19 L/min/m ²	23,8%
	LIDCO®	0,88	-0,11 ± 1,55 L/min/m ²	28,6%
Gehrcke 2014	VTI-A ²	-0,46- 45	-0,06 - 0,83 ± 0,62 - 2,02 L/min/m ²	43-84%
	VTI-P ²	-0,02- 0,57	-0,15 - 0,68 ± 0,64 - 1,69 L/min/m ²	43-67%
	Simpson ²	-0,47- 0,89	1,18- 1,7 ± 0,32 - 1,55 L/min/m ²	26-84%
Gehrcke et al. 2015	Fick ^{O2}	-0,46 à 0,74	-1,88 à -1,93 ± 1,03 - 2,75 L/min/m ²	37-87%
	Fick ^{CO2}	-0,19 à 0,61	0,36 à 2,14 ± 1,04 - 2,25 L/min/m ²	49 à 74%

r²: Coeficiente de correlação de Pearson. NICO®: método por reinalação de CO₂; BICO®: método de bioimpedância; LIDCO®: método por diluição de lítio; PICCO®: método de termodiluição transpulmonar; Flotrec®: método por análise de contorno de onda de pulso; VTI: método de ecodoppler por análise da velocidade em tempo integral por via de saída ventricular pelas válvulas aórtica (A) ou pulmonar (P); Simpson: método de Simpson modificado por ecocardiografia; Fick^{O2}: método de Fick pela análise do oxigênio; Fick^{CO2}: variação dos métodos de Fick e NICO®; ¹Ecodoppler transesofágico; ²Ecocardiódoppler transtorácico; * VTI em diferentes vias de saída ventricular.

MÉTODOS ALTERNATIVOS NA ANÁLISE DO DÉBITO CARDÍACO

Diluição de lítio (LIDCO®)

Um dos métodos mais aceitos para substituição da termodiluição é a diluição de lítio (LIDCO®). Neste, um marcador, no caso o lítio, é administrado por via venosa e a concentração é novamente mensurada por meio de uma amostra arterial gerando a estimativa do DC (SILVA, 2013). Mason *et al.* (2001) validaram esta técnica em cães comparando à termodiluição e obtendo um coeficiente de correlação de 0,98 entre os métodos (Tabela 2). Ainda a

diferença média entre os métodos foi de $-0,084 \pm 0,465$ L/min e de $-0,002 \pm 0,245$ L/min quando considerados apenas valores menores que 5L/min, demonstrando boa acurácia entre os métodos. Já Morgaz *et al.* (2014) em cães sob diferentes estados hemodinâmicos e anestesiados com sevoflurano encontraram uma correlação de 0,88 e diferença média de $-0,11 \pm 1,55$ L/min/m², com limites de concordância de -3,04 à 2,93 L/min/m², limites amplos e com grande variabilidade que deixam os resultados conflitantes e que devem ser interpretados com cautela. Somam-se a estes o fato de que o marcador pode ser tóxico em doses elevadas devendo-se limitar o número consecutivo de avaliações.

Diluição ultrassônica (UDCO®)

De forma semelhante à diluição de lítio que requer um acesso venoso e um arterial, no DC por diluição ultrassônica, uma probe mensura constantemente o fluxo venoso e arterial que estão interligados por uma bomba peristáltica semelhante à circulação extracorpórea (Figura 4).

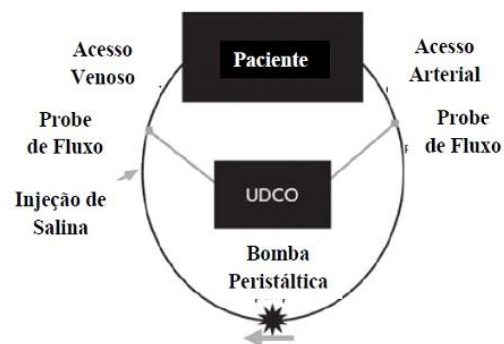


Figura 4 - Monitor de ultrassom de fluxo (UDCO- "ultrassond dilution cardiac output") conectado aos acessos venoso (com acesso para administração de solução salina) e arterial e a uma bomba peristáltica que mantém o fluxo arterio-venoso. Fonte: Adaptado de ³SHIH et al., 2011.

A partir da injeção de solução salina ocorre uma alteração de fluxo mensurada pelas probes e assim estima-se o DC por alteração na

velocidade do fluxo (^aSHIH *et al.* 2011). Este método parece ser o ideal para pequenos animais (^aSHIH *et al.* 2011) e crianças (BOEHNE *et al.* 2014) devido a pequena perda sanguínea na mensuração e por ser de baixa invasibilidade.

Em cães normovolêmicos e após hemorragia, este método frente à diluição de lítio apresentou diferença média de $-0,4 \text{ L/min/m}^2$ e uma correlação de 0,88 demonstrando sua eficácia (^aSHIH *et al.*, 2011). Todavia, o custo do equipamento necessário ainda impossibilita a utilização clínica em medicina veterinária, mas apresenta um grande avanço na monitoração hemodinâmica de pequenos animais.

Termodiluição transpulmonar (PICCO®)

A técnica de diluição transpulmonar determina o DC com o princípio semelhante à termodiluição, onde uma quantidade conhecida de solução gelada é administrada por via venosa central e mensurada novamente em um termistor posicionado em uma artéria central (femoral ou axilar). Ainda, após esta calibração o DC pode ser obtido de forma contínua por análise de onda de pulso e a calibração por termodiluição é realizada a cada 8 horas (SILVA, 2013).

^bShih *et al.* (2011) relatam que para a utilização da termodiluição do contorno de pulso em cães a artéria femoral deve ser acessada, pois resultados com a metatarsiana não foram satisfatórios. Ainda, embora a técnica transpulmonar tenha sido eficaz quando comparada à diluição de lítio, os autores não utilizaram a termodiluição como padrão para comparação. MORGAZ *et al.* (2014) encontraram uma diferença média entre a termodiluição e a termodiluição transpulmonar de $-0,04 \pm 1,19 \text{ L/min/m}^2$ e um coeficiente de correlação de 0,91 em cães sob estados normo, hipo e

hiperdinâmicos (Tabela 2). Entretanto, embora os autores tenham considerado satisfatória a concordância entre os métodos os limites de concordância foram de $-2,37$ à $1,93 \text{ L/min/m}^2$, bastante amplos para a literatura e devem ser interpretados com cautela. Somam-se a estes resultados a necessidade de cateterização venosa central e arterial central (femoral) o que faz alguns autores ainda considerarem esta técnica como invasiva (WALL *et al.*, 2009).

Análise de contorno de pulso (Vigileo/Flo Trac®) e Bioimpedância®

Outro método baseado em análise de pulso, porém sem a necessidade de acesso central e calibração por termodiluição é o aparelho Vigileo/Flo Trac® que utiliza análise de pulso arterial e algoritmos baseados na idade, sexo e conformação corporal para determinação do DC. Entretanto, como depende de algoritmos desenvolvidos para humanos, este método não apresentou valores confiáveis em cães quando comparado ao método de diluição de lítio (VALVERDE *et al.*, 2011) e à termodiluição (BEKTAS *et al.*, 2012) (Tabela 2).

Da mesma forma que o anterior, o método de bioimpedância utiliza corrente elétrica de baixa intensidade para estimativa do DC e embora apresente bons resultados em humanos não se demonstra viável para pacientes veterinários (Tabela 2) devido aos algoritmos próprios para humanos (TIBBALLS *et al.*, 1992; YAMASHITA *et al.*, 2007).

Princípio de Fick por diluição de gases

O método de Fick foi utilizado para estimativa do DC antes mesmo do desenvolvimento do método de termodiluição. Todavia, o consumo de oxigênio era estimado com base nas trocas gasosas pelo método do “saco de Douglas” no qual uma máscara criava

um ambiente fechado para mensuração dos gases inalados e exalados. Todavia, a tecnologia limitada da época tornava o método inviável e fornecia valores errôneos (MARTINS *et al.*, 2003), sendo o método posteriormente substituído pela termodiluição.

Com a evolução da tecnologia tentou-se desenvolver um sistema de monitoração do DC substituindo-se na equação os valores de VO_2 pela produção de dióxido de carbono e os valores de dióxido de carbono sanguíneos ou a variação do expirado de CO_2 , valores estes obtidos por meio de circuitos de reinalação parcial de CO_2 e capnometria. Este método patenteado ficou conhecido como NICO® (Non-Invasive Cardiac Output) (Figura 5).

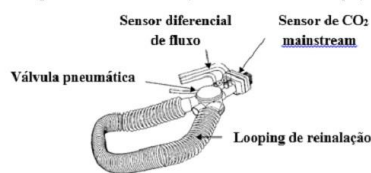


Figura 5 – Sistema NICO® (Non Invasive Cardiac Output). A extremidade com ligação a um capnômetro mainstream é acoplada ao paciente e após a válvula pneumática conecta-se o circuito anestésico. Note o looping de reinalação que pode aumentar o espaço morto em pequenos animais. Fonte: HARYADI *et al.*, 2000.

Haryadi *et al.* (2000) comparando o método à termodiluição encontraram uma correlação de 0,93 com diferença média de -0,07L/min e percentagem de erro de 27% em cães submetidos a estados hipo e hiperdinâmicos. Já Gunkel (2004) comparando o método à diluição de lítio também encontraram resultados semelhantes em cães.

No entanto, Yamashita *et al.* (2007) ao utilizarem este sistema frente à termodiluição encontraram baixa concordância entre métodos em cães sob diferentes situações hemodinâmicas e identificaram um fator determinante na acurácia deste método. Os estudos de Haryadi *et al.* (2000) e Gunkel (2004) utilizavam animais de grande porte (> 20 kg) enquanto Yamashita *et al.* (2007) utilizaram animais de porte médio, o que resultou na diferença dos resultados. O

sistema NICO® devido às válvulas e circuitos de reinalação apresenta um grande espaço morto e acaba sendo efetivo em humanos e em cães apenas acima de 15-20 kg, não sendo acurado em animais menores.

Atualmente, com a evolução da tecnologia nos equipamentos de monitoração é possível se obter o VO_2 por meio de um sensor de fluxo de gases inspirados e expirados (Figura 6) acoplado a um módulo analisador de gases e de espirometria capaz de fornecer de forma precisa os parâmetros de VO_2 e VCO_2 para análise de calorimetria indireta (Figura 6), utilizada na monitoração metabólica do paciente e sem a limitação do NICO® em relação ao tamanho do paciente. Semelhante ao método NICO® esta tecnologia utiliza a análise inspirada e expirada de gases para determinação do consumo de oxigênio (VO_2) e a produção de CO_2 (VCO_2) e por meio destes, o gasto energético diário (Figura 6).



Figura 6 – À esquerda, sensor de calorimetria indireta (D'Lite®) acoplado entre o traqueotubo e o circuito anestésico em um cão. À direita, monitor multiparamétrico B650 (GE Datex-Ohmeda) com módulo de gases e espirometria E-CAIOVX®. Na parte inferior são demonstrados os parâmetros de calorimetria indireta, sendo a seta indicativa do valor de VO_2 em ml/min. Fonte: próprio autor.

A partir do valor de VO_2 e de amostras de sangue arterial e venoso misto é possível se estimar o DC pela equação de Fick (MARTINS *et al.* 2003; MARTINS *et al.*, 2008), onde o DC corresponde à relação entre o VO_2 e a diferença arterio-venosa do conteúdo de oxigênio ($DC = VO_2 / (CaO_2 - CvO_2) * 10$). Em humanos alguns estudos demonstram boa correlação (0,97) e concordância (percentagem de erro < 30%) deste método com a termodiluição, principalmente em pacientes críticos (MARTINS *et al.* 2003;

MARTINS *et al.*, 2008, BOEHNE *et al.*, 2014). Ainda, os autores relatam que o sangue venoso central, pode ser utilizado ao invés do sangue venoso misto na determinação do conteúdo venoso de oxigênio.

Em cães a calorimetria indireta aparece em estudos metabólicos de pacientes, utilizando o monitor para estimativa do gasto energético (O'TOOLE *et al.*, 2004), mas não com intuito de determinação do DC. Picker *et al.* (2000) determinaram o DC pelo princípio de Fick em cães com os valores de VO_2 fornecidos pela calorimetria indireta. Todavia, este não foi comparado à termodiluição e sim utilizado como método padrão, baseado na literatura humana, para comparação a um método experimental de medida de fluxo pulmonar.

Recentemente, Gehrcke *et al.* (2015), baseado nos estudos em humanos, utilizaram a calorimetria indireta para determinar o DC em cães sob diferentes estados hemodinâmicos utilizando tanto o sangue venoso misto quanto o venoso central nos cálculos. O autor não verificou adequada correlação ou concordância com a termodiluição (Tabela 2). Entretanto, como os valores de VO_2 foram adequados e os valores acompanharam as variações hemodinâmicas com proporções semelhantes à termodiluição, o autor inferiu que erros analíticos na determinação do conteúdo de oxigênio sanguíneo possam ter comprometido os resultados necessitando maiores estudos antes de descartar a técnica.

Ainda no estudo de Gehrcke *et al.* (2015), como a calorimetria fornece os valores de VCO_2 , tentou-se adaptar o método NICO[®] determinando o DC pela razão do VCO_2 e do expirado final de CO_2 (Et CO_2) obtendo bons resultados em cães sob ventilação mecânica e em estados normo e hipodinâmicos (Tabela 2), porém sem os algoritmos de compensação de shunts e efeito

haldane no método NICO[®]. Todavia, deve-se ressaltar que o estudo de Gehrcke *et al.* (2015) utilizou cães de porte grande e que estes métodos devem ser investigados em animais de pequeno porte para descartar limitações semelhantes às do método NICO[®].

Ecocardiografia e Ecodoppler

Um dos métodos que vem ganhando espaço em pacientes veterinários é a ecocardiografia (ABDUCH *et al.*, 2014). Dentre os métodos estudados, esta destaca-se por ser de baixa invasibilidade quando por via transesofágica ou de nenhuma invasibilidade por via transtorácica (GARCIA *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2011; ABDUCH *et al.*, 2014). Por meio da ecocardiografia mensura-se o volume de ejeção (volume sistólico) do ventrículo esquerdo por meio da variação volumétrica diastólica e sistólica (métodos planimétricos ou volumétricos) (Figura 7), ou por meio função doppler (Ecodoppler), no qual o volume é obtido pelo produto da integral da velocidade do fluxo (velocidade em tempo integral – VTI, que corresponde a distância em centímetros percorrida pelo sangue a cada batimento) nas vias de saída do coração (Figura 8). Ambos os métodos estão sujeitos a erros devido a qualidade das imagens para delimitação das bordas ventriculares, no caso dos métodos planimétricos, ou da limitada janela acústica paracostal e a adequada experiência do avaliador nos métodos de fluxo (ANAVEKAR, OH, 2009; OLIVEIRA *et al.* 2011).

Park *et al.* (2012) compararam os métodos de Simpson, VTI aórtico e contorno automatizado de bordas ventriculares frente a termodiluição na determinação do DC em cães anestesiados com isoflurano. A diferença entre o método de Simpson e o automatizado estaria na determinação do contorno ventricular, sendo no primeiro realizado pelo examinador e o

outro por softwares computacional, o que diminui o erro humano. Os métodos de Simpson e contorno automatizado foram semelhantes entre si e bem correlacionados com a termodiluição visto que os executores do exame eram experientes nesta análise. Já o método do VTI aórtico, foi o que mais se aproximou do método padrão, mas com baixa correlação. Neste estudo, a análise estatística foi comprometida pela não utilização da Análise de Bland-Altman para comparação entre os métodos, impossibilitando uma análise mais profunda dos dados sobre qual o melhor método.

Yamashita *et al.* (2007) encontraram boa concordância (percentagem de erro de 12%) (Tabela 2) com a ecocardiografia transesofágica em cães submetidos a diferentes situações hemodinâmicas. O viés da técnica está na utilização em pacientes sedados ou anestesiados, mas a proximidade da probe ecocardiográfica das estruturas avaliadas gera resultados mais acurados devido à qualidade e definição das imagens.

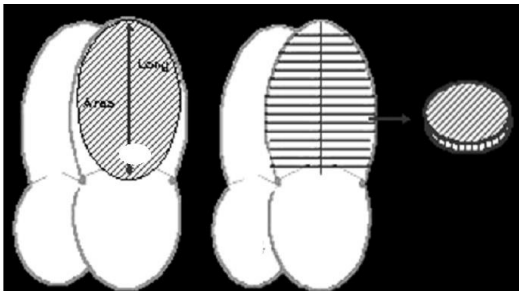


Figura 7 – Esquema dos métodos planimétricos de Teicholz (esquerda) e Simpson modificado (direita) obtidos por meio de ecocardiografia para mensuração do volume de ejeção (volume sistólico) do ventrículo esquerdo. Notar que no Teicholz considera-se o ventrículo esquerdo como um todo resultando em uma área calculada, enquanto no Simpson a área é resultante da soma das áreas dos pequenos discos.
Fonte: http://www.uninet.edu/cimc99/cursos/ecocardiologia/redondo/funcion_vi.htm

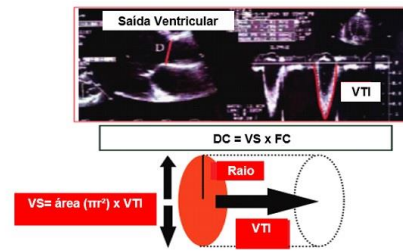


Figura 8- Esquema da utilização do ecodoppler no cálculo do DC. Calcula-se o volume sistólico (VS) com base na área de saída ventricular (pulmonar, para ventrículo direito e aorta para o esquerdo) e na velocidade em tempo integral (VTI) obtida pelo espectro da velocidade do fluxo pela via de saída. Fonte: Adaptado de GARCIA *et al.* 2011.

A ecocardiografia transtorácica apresenta a vantagem de não ser invasiva, podendo ser utilizada em pacientes conscientes e não necessitar de instrumentação prévia como a inserção de cateteres. Todavia, a adequada identificação das estruturas cardíacas seja pela conformação do paciente ou pela experiência do examinador podem gerar resultados contestáveis (CAPOMOLLA *et al.*, 2005; DAY *et al.*, 2007).

A exemplo destas constatações estão os estudos de Day *et al.* (2007) em cães normo e hipovolêmicos e de Lopes *et al.* (2010) em cães anestesiados com propofol. O primeiro encontrou baixa concordância da ecocardiografia com a termodiluição, já o segundo, concluiu que o método correlaciona-se adequadamente com a termodiluição. Excetuando-se as diferenças nas condições clínicas dos pacientes dos diferentes estudos, os autores frizam como principal determinante no sucesso ou insucesso da técnica a adequada identificação das estruturas cardíacas.

Indo de encontro aos estudos anteriores, Gehrcke. (2014) encontrou melhores resultados com o método de Simpson em cães do que os métodos de fluxo. A justificativa novamente encontra-se na experiência do avaliador na realização do exame, visto que neste estudo o método de Simpson era amplamente utilizado pelo examinador. Assim, embora a ecocardiografia seja uma excelente opção frente aos métodos invasivos, a dependência de

um profissional especificamente treinado e experiente no exame ecocardiográfico é requerida para este

método, o que gera grande variação nos resultados.

CONCLUSÃO

A monitoração do débito cardíaco evoluiu com o passar dos anos, e atualmente os métodos de diluição de lítio e termodiluição transpulmonar parecem fornecer valores mais próximos à termodiluição, quando empregadas corretas análises dos métodos. Porém, ainda reservam certo grau de invasibilidade e complexidade. Os métodos baseados no princípio de Fick necessitam de maiores estudos pois ainda são muito recentes em medicina veterinária. Já a ecocardiografia apresenta-se promissora, porém com limitações em relação à experiência do avaliador.

NOTAS INFORMATIVAS

Reservado ao parecer CEUA.

REFERÊNCIAS

ABDUCH, M.C.D.; ASSAD, R.S.; MATHIAS JR. W. *et al.* The echocardiography in the cardiovascular laboratory: a guide to research with animals. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v.102, n.1, p.97–103, 2014.

ANAVEKAR, N. S.; OH, J. K. Doppler echocardiography: a contemporary review. **Journal of Cardiology**, v.54, n.3, p.347–358, 2009.

ANOV, R.; ALLEN, J.; CALVIN, J.E. The incidence of major morbidity in critically ill patients managed with pulmonary artery catheters: a meta-analysis. **Critical Care Medicine**, v.28, p.615–619, 2000.

BEKTAS, R. N.; KUTTER, A.P.; HARTNACK, S. *et al.* Evaluation of a minimally invasive non-calibrated pulse contour cardiac output monitor (FloTrac/Vigileo) in anaesthetized dogs. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v.39, n.5, p.464–471, 2012.

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Measuring agreement in method comparison studies. **Statistical Methods in Medical Research**, v.8, p.135-160, 1999.

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, p.307-310, 1986.

BOEHNE, M.; BAUSTERT, M.; PAETZEL, V. *et al.* Determination of cardiac output by ultrasound dilution technique in infants and children: a validation study against direct Fick principle. **British Journal of Anaesthesia**, v.112, n.3, p.469-476, 2014.

CAPOMOLLA, S.; CERESA, M.; PINNA, G. *et al.* Echo-Doppler and clinical evaluations to define hemodynamic profile in patients with chronic heart failure: accuracy and influence on therapeutic management. **Heart Failure**, v.7, p.624 – 630, 2005.

CHEW, M. S. Haemodynamic Monitoring Using Echocardiography in the Critically Ill A Review. **Cardiology Research and Practice**, p.1-7, 2012.

CRITCHLEY, L. A. H.; CRITCHLEY, J. A. J. H. A meta-analysis of studies using bias and precision statistics to compare cardiac output measurement techniques. **Journal of clinical Monitoring**, v.15, p. 85–91, 1999.

GARCÍA, X.; MATEU, L; MAYNAR, J. *et al.* Estimación del gasto cardíaco. Utilidad en la práctica clínica. Monitorización disponible invasiva y no

- invasiva. **Medicina Intensiva**, v.35, p.552-561, 2011.
- GEHRCKE, M.I. Monitoração hemodinâmica e da oxigenação tecidual minimamente invasiva em cães. 2014. Lages. 229p. Tese (Doutorado em Ciência Animal – Área: Anestesiologia veterinária) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência Animal.
- GEHRCKE, M.I.; REGALIN, D.; RONCHI, S.J. *et al.* Calorimetria indireta na monitoração hemodinâmica e metabólica em cães sob diferentes situações hemodinâmicas. **Arquivo brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.5, p.1263-1271, 2015.
- GUNKEL, C. I. Comparison of non-invasive cardiac output measurement by partial carbon dioxide rebreathing with the lithium dilution method in anesthetized dogs, **Journal of Veterinary Emergency and Critical Care** v.14, n.3, p.187-195, 2004.
- HARYADI, D.G.; ORR, J.A.; KUCK, K. *et al.* Partial CO₂ rebreathing indirect Fick technique for non-invasive measurement of cardiac output. **Journal of Journal of Clinical Monitoring and Computing**, v.16, p.361–374, 2000.
- HASKINS, S.; PASCOE, P.J.; ILKIW, J.E. *et al.* Reference cardiopulmonary values in normal dogs. **Comparative Medicine**, v.55, p.156-161, 2005.
- HIRAKATA, V.N.; CAMEY, S.A. Seção de bioestatística: Análise de concordância entre métodos de bland-altman. **Revista HCPA**, v.29, n.3, v.261-268, 2009.
- LOPES, P.C.F.; SOUSA, M.G.; CAMACHO, A.A. *et al.* Comparison between two methods for cardiac output measurement in propofol-anesthetized dogs: thermodilution and Doppler Veterinary **Anaesthesia and Analgesia**, v.37, p.401-408, 2010.
- MARTINS, M.A.; CAMPOS FILHO, W.O.; VIANA, J.M. *et al.* Análise Comparativa do Débito Cardíaco (DC) Obtido pelo Método de Fick e pela Calorimetria Indireta em Pacientes Sépticos, **Revista brasileira de terapia intensiva**, v.15, p.5–14, 2003.
- MARTINS, M.A.; COLETTI, F.A.; CAMPOS, A.D. *et al.* Indirect calorimetry can be used to measure cardiac output in septic patients? **Acta Cirúrgica Brasileira**, V.23, p.118-125, 2008.
- MASON, D.J.; O'GRADY, M.; WOODS, J.P. *et al.* Assessment of lithium dilution cardiac output as a technique for measurement of cardiac output in dogs. **American Journal of Veterinary Research**, v.62, n.8, 1255-1261, 2001.
- O'TOOLE, E.; MILLER, C.W.; WILSON, B.A. *et al.* Comparison of the standard predictive equation for calculation of resting energy expenditure with indirect calorimetry in hospitalized and healthy dogs, **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v.225, n.1, p.58-64, 2004.
- OLIVEIRA, W.; RODRIGUES, A.C.T.; BIHAN, D.L. *et al.* Avaliação do Volume de Ejeção Ventricular Esquerda pelo Ecocardiograma Tridimensional Colorido. **Revista Brasileira de Ecocardiografia e imagem cardiovascular**, v.24, p.44-50, 2011.
- PEREIRA Jr. G.A.; MARSON, F.; OSTINI, M.F. *et al.* Monitorização hemodinâmica invasiva. Medicina, Ribeirão Preto, **Simpósio: MEDICINA INTENSIVA: I. INFECÇÃO E CHOQUE EM U.T.I.** Capítulo V, v.31, p.380-399, 1998.
- PICKER, O.; SCHINDLER, A.; SCHEEREN, T.W. Accuracy and reproducibility of long-term implanted transit-time ultrasound flow probes in dogs. **Intensive Care Medicine**, v.26, n.5, p.601–607, 2000.

- REZENDE, M. L. Monitoramento Hemodinâmico Invasivo em Pequenos Animais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 23, n. 1, p. 93-100, 2002.
- SILVA, W. O. Monitorização hemodinâmica no paciente crítico. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, v. 12, n.3, p.57-65, 2013.
- ^aSHIH, A.; GIGUÈRE, S.; VIGANI, A. *et al.* Determination of cardiac output by ultrasound velocity dilution in normovolemia and hypovolemia in dogs. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**. v.38, p.279-285, 2011.
- ^bSHIH, A.; MAISENBACHER, H.W.; BANDT, C. *e al.* Assessment of cardiac output measurement in dogs by transpulmonary pulse contour analysis. **Journal of Veterinary Emergency and Critical Care**, v.21, n.4, p. 321–327, 2011.
- TOURNADRE, J.P., CHASSARD, D.; MUCHADA, R. Overestimation of low cardiac output measured by thermodilution. **British Journal of Anesthesia**, v.79, p.514-516, 1997.
- VALVERDE, A.; GIANOTTI, G.; RIOJA, E. *et al.* Comparison of cardiac output determined by arterial pulse pressure waveform analysis method (FloTrac/Vigileo) versus lithium dilution method in anesthetized dogs. **Journal of Veterinary Emergency and Critical Care**, v.21, n.4, p.328–334, 2011.
- VINCENT, J.L. Clinical review: Update on hemodynamic monitoring--a consensus of 16. **Critical Care** v.15, n.229, p.1-8, 2011.
- WAAL, E.E.; WAPPLER, F.; BUHRE, W.F. Cardiac output monitoring. **Current Opinion of Anesthesiology**. v.22, p.71-77, 2009.
- YAMASHITA, K.; UEYAMA, Y.; MIYOSHI, K. *et al.* Minimally invasive determination of cardiac output by transthoracic bioimpedance, partial carbon dioxide rebreathing, and transesophageal Doppler echocardiography in beagle dogs. **Journal of Veterinary Medicine Science**. v.69, n.1, p.43-47, 2007.
- YANG, X.X.; CRITCHLEY, L.A.; ROWLANDS, D.K. *et al.* Systematic Error of Cardiac Output Measured by Bolus Thermodilution With a Pulmonary Artery Catheter Compared With That Measured by an Aortic Flow Probe in a Pig Model. **Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia**, v.27, n.6, p.1133-1139, 2013.