

Pablo Alejandro Donati<sup>1</sup>, Emiliano Gogniat<sup>2</sup>,  
Matías Madorno<sup>3</sup>, Juan Manuel Guevara<sup>1</sup>, Eliana  
Carolina Guillemi<sup>1</sup>, María del Carmen Lavalle<sup>1</sup>,  
Francisco Patricio Scorza<sup>1</sup>, Germán Federico  
Mayer<sup>2</sup>, Pablo Oscar Rodríguez<sup>4</sup>

# Avaliação do tamanho do pulmão em cães: a capacidade inspiratória define o volume corrente

*Sizing the lung in dogs: the inspiratory capacity defines the tidal volume*

1. Unidade de Terapia Intensiva Veterinária UCICoop - Buenos Aires, Argentina.
2. Unidade de Terapia Intensiva, Hospital Italiano de Buenos Aires - Buenos Aires, Argentina.
3. Instituto Tecnológico de Buenos Aires - Buenos Aires, Argentina.
4. Unidade de Terapia Intensiva, Centro de Educación Médica e Investigaciones Clínicas - Buenos Aires, Argentina.

## RESUMO

**Objetivo:** Avaliar uma nova abordagem fisiológica para a determinação do volume corrente em ventilação mecânica, de acordo com a capacidade inspiratória, e determinar se isso resulta em medidas mecânicas e de troca gasosa adequadas em cães saudáveis e em estado crítico.

**Métodos:** Incluíram-se, neste estudo, 24 animais para avaliar o volume corrente expresso como porcentagem da capacidade inspiratória. Para mensuração da capacidade inspiratória, o ventilador mecânico foi regulado como segue: modo controle de pressão, com 35cmH<sub>2</sub>O de pressão de inspiração e pressão expiratória final de zero, por 5 segundos. Subsequentemente, estudaram-se dez cães em condições clínicas críticas.

**Resultados:** Cães saudáveis ventilados com volume corrente que correspondia a 17% da capacidade inspiratória

demonstraram mecânica respiratória normal e apresentaram os valores previstos de PaCO<sub>2</sub> mais frequentemente do que os animais nos demais grupos. A pressão no sistema respiratório e a pressão transpulmonar foram significativamente mais elevadas nos cães em condição crítica, porém em todos os casos, estiveram abaixo de 15cmH<sub>2</sub>O.

**Conclusões:** O volume corrente calculado com base na capacidade inspiratória de cada animal comprovou ser uma ferramenta útil e simples para o estabelecimento dos parâmetros do ventilador. Convém também realizar abordagem semelhante em outras espécies, inclusive no ser humano, quando se consideram as potenciais limitações da titulação do volume corrente, com base no peso corpóreo ideal calculado.

**Descritores:** Capacidade inspiratória; Volume de ventilação pulmonar; Pulmão; Cães

**Conflitos de interesse:** Nenhum.

Submetido em 10 de outubro de 2017

Aceito em 10 de janeiro de 2018

**Autor correspondente:**

Pablo Alejandro Donati  
Unidade de Terapia Intensiva Veterinária UCICoop  
Diretorio 1308 Buenos Aires 1406  
Argentina  
E-mail: padonati@yahoo.com.ar

**Editor responsável:** Jorge Ibrain Figueira Salluh

DOI: 10.5935/0103-507X.20180028

## INTRODUÇÃO

Em engenharia, utilizam-se os termos “estresse” e “tensão” para descrever a resposta microscópica de um corpo às cargas externas. Tensão é a modificação relativa no tamanho e na forma, enquanto o estresse é a tensão interna. Neste sentido, Chiumello et al. concluíram que as palavras “estresse” e “tensão” utilizadas em engenharia têm equivalentes clínicos no pulmão, e que ambos os parâmetros seriam determinantes importantes para o risco de lesão pulmonar induzida pelo ventilador (LPIV).<sup>(1)</sup> O estresse pulmonar é, então, representado pela diferença de pressão transpulmonar entre o final da expiração e o final da inspiração ( $\Delta P_L$ ), enquanto a tensão se caracteriza pela modificação no volume relacionado à capacidade residual funcional (CRF).<sup>(2)</sup>

Estresse e tensão têm relacionamento quase linear com a capacidade pulmonar total (CPT), sendo que o estresse é equivalente a  $k \times$  tensão.<sup>(3)</sup>



O valor de tensão necessário para atingir a capacidade inspiratória (CI), ou seja, o limite da expansão física do pulmão, é muito similar entre as espécies, sendo de 2 - 2,3 em camundongos,<sup>(4,5)</sup> 2 - 3 em ratos,<sup>(5,6)</sup> 2,6 em porcos,<sup>(7)</sup> 2,2 em seres humanos<sup>(7,8)</sup> e 2 - 2,2 em cães.<sup>(7)</sup> Em seres humanos, após a publicação do *ARDS Network Study*, a regulação do volume corrente (VC) - um dos determinantes da tensão durante a ventilação mecânica (VM) - atualmente se baseia no peso corpóreo ideal (calculado com base na estatura e sexo), assumindo a existência de um relacionamento linear entre este último e os volumes pulmonares, independentemente de outras fontes de variação, como idade e raça, ou erros das mensurações antropométricas.<sup>(9-11)</sup> Foi proposta uma abordagem diferente, com base no tamanho dos pulmões. A CRF e a CPT podem variar amplamente em seres humanos e em cães com lesões pulmonares, assim como em seres humanos obesos.<sup>(12-14)</sup> Como é tecnicamente difícil a determinação da CRF, publicações prévias propuseram estimar a CI em vez do tamanho funcional do pulmão.<sup>(13,14)</sup> A seleção do VC, segundo uma porcentagem da CI medida, permite um maior nível de individualização, mesmo entre diferentes espécies.

Nossa hipótese é a de que o estabelecimento do VC, segundo a CI medida durante a VM, proporcionaria uma mecânica apropriada e boas avaliações gasométricas, tanto em cães saudáveis quanto nos animais em condição clínica crítica, fornecendo uma nova abordagem fisiológica para a VM.

O objetivo do estudo foi avaliar se a definição do VC de acordo com a CI pode resultar em uma estratégia adequada de ventilação mecânica.

## MÉTODOS

O protocolo (E/121) foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Italiano de Buenos Aires. Os procedimentos foram explicados aos proprietários dos cães, obtendo-se, antes da intervenção, a assinatura de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Para determinar os pontos superiores de inflexão para a pressão nas vias aéreas (PiflexSupAw) e a pressão transpulmonar (PiflexSupTP), como primeiro passo, construíram-se curvas de pressão-volume (P-V) em dois cães saudáveis. Mais tarde, 20 animais saudáveis com necessidade de anestesia geral para procedimentos cirúrgicos foram incluídos no estudo para avaliação do VC, expresso como porcentagem da CI, associada com mecânica respiratória normal e pressão parcial de dióxido de carbono (PaCO<sub>2</sub>). Foram também analisados dados de dez cães em condição

clínica crítica hospitalizados e admitidos em uma unidade de terapia intensiva, e ventilados com esse VC.

## Construção das curvas pressão-volume em cães saudáveis

A CPT foi definida para cães saudáveis como o volume pulmonar durante inflação forçada com uma pressão nas vias aéreas de 35cmH<sub>2</sub>O.<sup>(15)</sup> Com a finalidade de testar a hipótese, avaliaram-se dois cães submetidos à ooforectomia ou orquiectomia para calcular as curvas P-V e determinar PiflexSupAw e PiflexSupTP. A avaliação das condições de saúde consistiu de exame clínico completo, radiografias do tórax e avaliação dos gases sanguíneos arteriais. Todos os animais foram tratados com um fármaco opioide (tramadol, posologia: 3mg/kg, por via intravenosa), suplementação de oxigênio por meio de máscara facial e indução farmacológica com propofol (posologia: 6 a 8mg/kg por via intravenosa). Realizou-se intubação orotraqueal com utilização do maior tubo endotraqueal estimado por palpação da traqueia, insuflando-se o balão do tubo. Mais tarde, instalou-se cateter esofágico com balão, com mensuração do comprimento do cateter, de forma que a ponta foi colocada ao nível do terço inferior do esôfago. A posição do balão foi confirmada por um teste de oclusão das vias aéreas, com redução do nível de sedação, permitindo ao animal manter inspiração espontânea. Se fosse encontrada deflexão negativa na curva de pressão esofágica durante o teste, verificava-se o posicionamento correto do balão. Administrou-se infusão contínua de propofol, com titulação da dose para obter nível adequado de sedação, segundo escala de sedação previamente relatada.<sup>(16)</sup> Os animais foram, então, ventilados com uso de VC de 15mL/kg (volume considerado normal em caninos)<sup>(17)</sup> no modo de controle de volume (VC-CMV). A seguir, administrou-se um agente bloqueador neuromuscular (atracurium, na posologia de 6µg/kg/minuto por via intravenosa). Para gerar a curva P-V, utilizamos a técnica de insuflação com baixo fluxo. Para ambos os cães, selecionou-se um VC de 3.000mL com um fluxo de 7L/minuto, com um alarme de pressão máxima nas vias aéreas regulado em 40cmH<sub>2</sub>O para cessar a inspiração nesse nível de pressão, independentemente do VC administrado. A pressão na via aérea e no esôfago, assim como o volume e o fluxo administrados pelo ventilador, foram registrados durante todo o procedimento com utilização de um monitor de mecânica respiratória (FluxReview GrT CO<sub>2</sub> Software, MBMed, Buenos Aires, Argentina). O sistema respiratório e a curva pulmonar P-V foram delineados com utilização de análise *offline*, incluída no programa do monitor. Para

determinação do ponto superior de inflexão em ambas as curvas P-V, utilizamos o método descrito por Venegas et al.,<sup>(18)</sup> com aproximação não linear<sup>(19)</sup> gerada pelo programa estatístico.

Na análise da curva P-V dos dados obtidos sobre os dois cães saudáveis, obtivemos os valores médios de PiflexSupAw e PiflexSupTP de 34,75 e 18,11 cmH<sub>2</sub>O, respectivamente.

### **Ventilação mecânica em cães saudáveis com emprego de diferentes porcentagens da capacidade inspiratória**

Avaliaram-se as condições de saúde com base em um exame físico completo. Utilizaram-se cetamina (posologia: 10mg/kg; Ketonal 50 - Richmond, Buenos Aires, Argentina) e diazepam (posologia: 0,5mg/kg, por via intravenosa; Diazepet Brouwer, Buenos Aires, Argentina) para indução e manutenção da anestesia. Os animais foram tratados com um fármaco opioide (nalbubufina; 0,5 - 1mg/kg, por via intramuscular; Nalbufine 10-Richmond, Buenos Aires, Argentina; ou tramadol; posologia: 3mg/kg, por via intravenosa; Algen 20-Richmond, Buenos Aires, Argentina).

Realizaram-se intubação endotraqueal e instalação de balão esofágico. Os cães foram mantidos sob VM controlada com uso de VC-CMV. Para mensuração da CI, o ventilador mecânico foi regulado como segue: modo controle de pressão (PC-CMV) com pressão inspirada de 35 cmH<sub>2</sub>O e pressão expiratória final zero (ZEEP) por 5 segundos.

O volume administrado pelo ventilador mecânico nessas condições foi registrado. Subsequentemente, os animais foram randomizados por meio de envelopes selados a quatro grupos distintos, sendo ventilados no modo VC-CMV com um VC correspondente a diferentes porcentagens da CI, como segue: Grupo 1, com 13%; Grupo 2, com 17%; Grupo 3, com 21%; e Grupo 4, com 25%. A seleção dos valores percentuais da CI se baseou em dados previamente publicados para pacientes humanos (15 e 28%),<sup>(14,20,21)</sup> assim como em nossa própria experiência (dados não publicados).

Os demais parâmetros de ventilação foram: frequência respiratória de 15 respirações por minuto (normal para um cão em repouso);<sup>(22)</sup> tempo inspiratório de 1 segundo; pressão positiva expiratória final (PEEP) de 0cmH<sub>2</sub>O e fração inspirada de oxigênio (FiO<sub>2</sub>) de 100%.

Realizou-se uma punção da artéria femoral após 10 minutos de VM para avaliação da PaCO<sub>2</sub>. Empregou-se,

para este propósito, um analisador de gases e eletrólitos sanguíneos (EPOC Analyzer, Alere). Os valores de pressão na via aérea e esofágica foram registrados durante todo o procedimento, com utilização de um dispositivo FluxMed Respiratory Monitor (MBMed, Argentina). Utilizamos a pressão esofágica para representação da pressão pleural.<sup>(23)</sup>

As pressões inspiratória e expiratória transpulmonares foram calculadas pela subtração das pressões esofágicas inspiratória e expiratória, respectivamente, da pressão de platô e da PEEP.<sup>(24)</sup> Assegurou-se estabilidade hemodinâmica em todos os pacientes pelo monitoramento dos parâmetros clínicos (frequência cardíaca, cor das mucosas, tempo de reenchimento capilar e temperatura), pressão arterial sistólica com utilização de técnica não invasiva de Doppler (Parks Electronical Doppler Model 811B, Perimed UK, Bury St. Edmunds, Reino Unido) e oximetria de pulso medida na língua (Oximax NPB-40, Nellcor™ Puritan Bennett Inc. 710 Medtronic Parkway, Minneapolis, EUA).

### **Ventilação mecânica de cães em situação crítica**

Estudaram-se dez cães em situação clínica crítica, sob uso de VM por razões médicas. O protocolo de anestesia foi ajustado à patologia pela qual se indicou a VM. Realizaram-se a intubação endotraqueal e a instalação de balão esofágico, como previamente descrito neste estudo. Ventilaram-se dez animais em situação crítica no modo VC-CMV. A CI foi determinada como previamente descrito, e o VC foi estabelecido como uma porcentagem da CI estimada. A porcentagem selecionada foi aquela considerada como mais apropriada com base nos resultados observados nos 20 cães saudáveis (17%). A frequência respiratória foi estabelecida entre 15 e 25 respirações por minuto, segundo a severidade da doença, e o tempo inspiratório foi estabelecido como 1 segundo. O valor de PEEP foi escolhido com base em um de dois critérios (a critério do pesquisador): maior volume de saturação periférica de oxigênio (SpO<sub>2</sub>), avaliado por meio do oxímetro de pulso, ou o a melhor (mais elevada) complacência dinâmica. Calculou-se a complacência dinâmica como VC/(pico de pressão - PEEP), avaliada após manobra de recrutamento.

O mesmo ventilador mecânico microprocessado (Leistung PR4G, Córdoba, Argentina) foi utilizado em todo o estudo. Mediu-se a pressão arterial sistólica com a utilização de técnica não invasiva de Doppler. A pressão na via aérea e no esôfago, assim como o volume e fluxo administrados pelo ventilador, foram registrados com uso do FluxMed Respiratory Monitor.

## Análise estatística

Preparou-se a estatística descritiva, com inclusão da mediana e da variação interquartil.

Consideramos um valor alvo de  $\text{PaCO}_2$  de 31 a 43mmHg, segundo publicação prévia.<sup>(25)</sup>

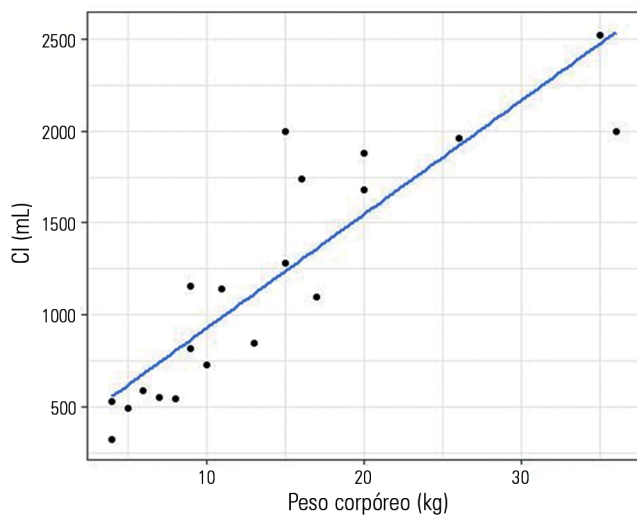
Utilizamos os testes de Kruskal-Wallis e exato de Fisher para comparar entre os grupos as variáveis contínuas e categóricas.

Utilizamos, para as análises, um programa estatístico (Minitab 16 software, State College, EUA). Consideraram-se estatisticamente significantes os valores de  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

Estudaram-se 20 cães saudáveis (17 sem raça definida, 2 da raça Poodle Toy e 1 Rottweiler) e dez cães em condição crítica (1 da raça Poodle Toy, 2 Labradores, 1 Doberman, 1 Golden Retriever, 1 Pit Bull e 3 sem raça definida). O peso mediano foi de 15mg (variação interquartil - IRQ: 7 - 27kg).

A figura 1 apresenta o relacionamento entre a CI e o peso corpóreo nos cães saudáveis (coeficiente de correlação de Pearson 0,889;  $p < 0,001$ ). A CI normalizada pelo peso foi de 84,67mL/kg (72,75 - 99,66).

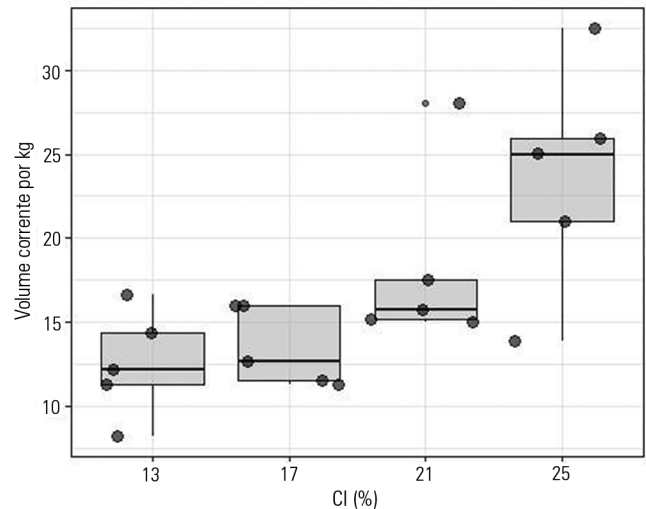


**Figura 1** - Relação entre peso corpóreo e capacidade inspiratória em cães saudáveis. CI - capacidade inspiratória.

O peso dos animais saudáveis não diferiu entre os grupos de VC ( $p = 0,962$ ).

Os cães de todos os grupos demonstraram grande variação de volumes correntes por peso corpóreo (também,

em alguns casos, com a obtenção de VC idênticos por peso corpóreo para diferentes grupos), quando definidos por diferentes porcentagens da CI (Figura 2).



**Figura 2** - Volume corrente por quilograma de peso corpóreo, segundo o grupo de porcentagem da capacidade inspiratória. CI - capacidade inspiratória.

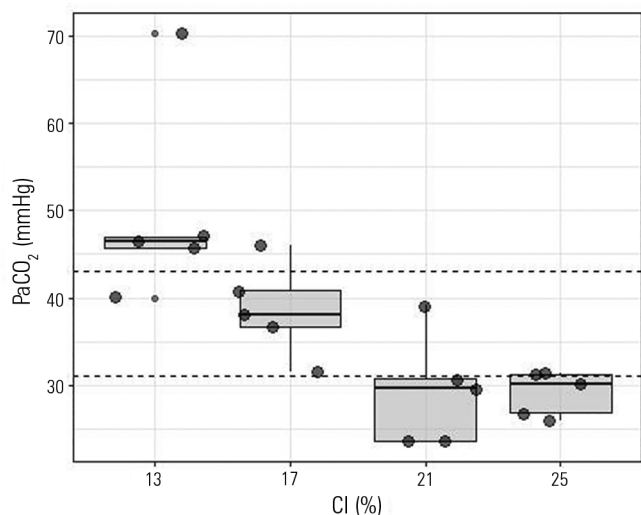
A tabela 1 apresenta os principais achados fisiológicos nos cães saudáveis. Cães saudáveis ventilados com VC de 17% da CI estiveram mais frequentemente dentro da  $\text{PaCO}_2$  prevista, em comparação com os demais grupos (Figura 3 e Tabela 1). A figura 4 ilustra o sistema respiratório inspiratório estático e as pressões transpulmonares, dependendo do VC selecionado. Ambas as pressões estáticas foram baixas, mesmo com altos volumes.

Para avaliar se a seleção do VC com utilização da estratégia de mensuração da CI poderia ser útil em condições patológicas, relatamos os resultados de uma série de cães em condições clínicas críticas com VC correspondente a 17% da CI. As razões clínicas para indicação de VC para os cães críticos foram choque profundo (três cães), hipoventilação (dois cães), insuficiência respiratória (quatro cães) e choque profundo com hipoventilação (um cão). A tabela 2 resume os parâmetros respiratórios desses animais após 10 minutos de VM. A frequência respiratória mediana foi de 19 (15,5 - 20) respirações por minuto, e a  $\text{FiO}_2$  inicial para todos os cães foi de 100%. A  $\text{PaCO}_2$  mediana foi de 34,45 (33,6 - 42,3), não sendo significativamente diferente dos valores observados nos cães saudáveis. Oito dos dez valores de  $\text{PaCO}_2$  registrados estiveram dentro da faixa proposta. As pressões no sistema respiratório e inspiratório transpulmonar, assim como a pressão de condução

**Tabela 1** - Principais achados em cães saudáveis, segundo o grupo de volume corrente

|   | VC 13% da CI<br>(n = 5) | VC 17% da CI<br>(n = 5) | VC 21% da CI<br>(n = 5) | VC 25% da CI<br>(n = 5) | Valor de p |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| Peso (kg)   | 15 (9 - 16)             | 13 (8 - 20)             | 10 (7 - 15)             | 11 (6 - 20)             | 0,962      |
| Capacidade inspiratória/peso                            | 91,1 (85,33 - 108,75)   | 75,38 (67,5 - 94)       | 78,57 (73 - 80)         | 98,33 (84 - 103,63)     | 0,658      |
| Volume corrente/peso (mL/kg)                            | 12,2 (11,3 - 14,37)     | 12,69 (11,53 - 16)      | 15,71 (15,14 - 17,5)    | 25 (21 - 25,9)          | 0,037      |
| Pico de pressão inspiratória (cmH <sub>2</sub> O)       | 6 (5 - 7)               | 9 (8 - 9)               | 11 (10 - 11)            | 11 (10 - 11)            | 0,006      |
| Platô de pressão inspiratória (cmH <sub>2</sub> O)      | 6 (4,5 - 6)             | 8 (8 - 9)               | 10 (9 - 10)             | 10 (9 - 10)             | 0,007      |
| Pressão transpulmonar inspiratória (cmH <sub>2</sub> O) | 1,92 (1,78 - 3,28)      | 6,6 (4,3 - 6,64)        | 6,28 (5,92 - 7,28)      | 6,28 (6,28 - 6,92)      | 0,026      |
| PaCO <sub>2</sub> (mmHg)                                | 46,5 (45,7 - 47)        | 38 (36,7 - 40,8)        | 29,6 (23,6 - 30,7)      | 30,1 (26,8 - 31,3)      | 0,003      |
| Classe de PaCO <sub>2</sub> (n(%))                      |                         |                         |                         |                         | 0,004      |
| Alta  | 4 (80)                  | 1 (20)                  | 0 (0)                   | 0 (0)                   |            |
| Baixa   | 0 (0)                   | 0 (0)                   | 4 (80)                  | 3 (60)                  |            |
| Alvo  | 1 (20)                  | 4 (80)                  | 1 (20)                  | 2 (40)                  |            |

VC - volume corrente; CI - capacidade inspiratória; PaCO<sub>2</sub> - pressão parcial de dióxido de carbono.

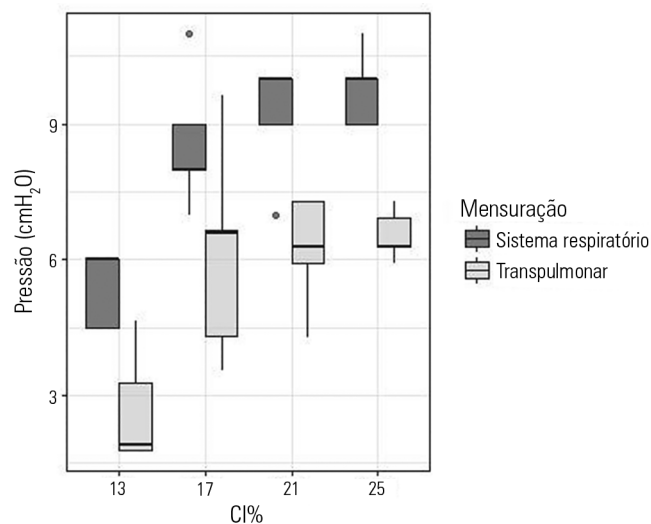


**Figura 3** - Pressão parcial de dióxido de carbono, segundo o grupo de percentual da capacidade inspiratória. As linhas horizontais tracejadas representam o valor previsto de pressão parcial de dióxido de carbono. PaCO<sub>2</sub> - pressão parcial de dióxido de carbono; CI - capacidade inspiratória.

(PC), foram significativamente mais altas nos animais em condição crítica (Tabela 3).

## DISCUSSÃO

O principal achado deste estudo foi que uma estratégia simples de seleção do VC para VM com base em mensurações do sistema respiratório é útil em animais, independentemente de sua raça e tamanho. O uso de um VC baseado na CI é simples e só demanda alguns segundos. Na verdade, o único equipamento necessário é um ventilador mecânico para medir o volume e a pressão. Esta abordagem pode permitir melhor regulação dos parâmetros



**Figura 4** - Pressões estáticas dos sistemas respiratório e inspiratório transpulmonar, segundo o grupo de volume corrente. CI - capacidade inspiratória.

ventilatórios em comparação ao método mais tradicional, que se baseia em métricas do tamanho do corpo. Isto pode prevenir hipoventilação e tensão excessiva, pela adaptação dos parâmetros às condições clínicas do paciente, considerando a situação prévia como o principal determinante do impacto do VC nas pressões inspiratórias finais.

Em conformidade com a fisiologia humana, durante a inspiração máxima, o ponto em que a complacência do sistema respiratório começa a falhar é próximo à CPT. No que se refere à VM, este limite é assinalado pelo ponto superior de inflexão da curva P-V, e seu valor é de cerca de 30cmH<sub>2</sub>O.<sup>(26)</sup> Com base neste conceito, os médicos recomendam não exceder este limite nos pacientes humanos críticos em uso de VM.<sup>(10,27)</sup> A CPT foi definida para cães

**Tabela 2** - Parâmetros respiratórios de cães em condição clínica crítica

| Cão           | Idade (anos)  | Peso (kg)     | Capacidade inspiratória (mL) | Volume corrente (mL)   | Volume corrente (mL/kg) | Frequência respiratória (rpm) | Pico de pressão inspiratória (cmH <sub>2</sub> O) | Platô de pressão inspiratória (cmH <sub>2</sub> O) | PEEP (cmH <sub>2</sub> O) | PaCO <sub>2</sub> (mmHg) |
|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|---|--|---------------------------|--------------------------|
| 1             | 13            | 40            | 2400                         | 410                    | 10,25                   | 20                            | 15  | 11   | 3                         | 43,6                     |
| 2             | 8             | 6             | 480                          | 80                     | 13,33                   | 25                            | 15  | 12,28  | 3                         | 35                       |
| 3             | 10            | 4             | 380                          | 65                     | 16,25                   | 18                            | 10  | 7,3  | 0                         | 40,2                     |
| 4             | 6             | 27            | 1990                         | 340                    | 12,59                   | 17                            | 10  | 5,2  | 0                         | 32,7                     |
| 5             | 12            | 40            | 3380                         | 570                    | 14,25                   | 15                            | 12  | 9,28   | 2                         | 33                       |
| 6             | 10            | 40            | 2100                         | 360                    | 9                       | 25                            | 17  | 12,2   | 4                         | 43                       |
| 7             | 13            | 3             | 300                          | 51                     | 17                      | 20                            | 20  | 14,6   | 7                         | 48,6                     |
| 8             | 7             | 20            | 1760                         | 299,2                  | 14,96                   | 15                            | 10  | NA   | 0                         | 33,9                     |
| 9             | 14            | 35            | 2090                         | 355,3                  | 10,15                   | 15                            | 9   | NA   | 0                         | 33,6                     |
| 10            | 13            | 50            | 2580                         | 438,6                  | 8,77                    | 20                            | 13  | NA   | NA                        | 33,6                     |
| Mediana (IQR) | 11 (8,5 - 13) | 31 (9,5 - 40) | 2040 (800 - 2325)            | 347,65 (134,8 - 397,5) | 12,96 (10,18 - 14,78)   | 19 (15,5 - 20)                | 12,5 (10 - 15)                                    | 11 (8,29 - 12,24)                                  | 2 (0 - 3)                 | 34,45 (33,6 - 42,3)      |

PEEP - pressão positiva expiratória final; PaCO<sub>2</sub> - pressão parcial de dióxido de carbono. IQR - variação interquartis.

**Tabela 3** - Comparação dos parâmetros respiratórios entre cães saudáveis e em condições críticas ventilados com a mesma estratégia de seleção do volume corrente (17% da capacidade inspiratória)

|   | Saudáveis (n = 5)  | Críticos (n = 10)     | Valor de p |
|---|--------------------|-----------------------|------------|
| Peso (kg)   | 13 (8 - 20)        | 31 (9,5 - 40)         | 0,268      |
| Capacidade inspiratória/peso                            | 75,38 (67,5 - 94)  | 76,85 (59,78 - 87,12) | 0,594      |
| Volume corrente/peso (mL/kg)                            | 12,69 (11,53 - 16) | 12,96 (10,18 - 14,78) | 0,668      |
| Platô de pressão inspiratória (cmH <sub>2</sub> O)      | 8 (8 - 9)          | 12,5 (10 - 15)        | 0,014      |
| Pressão de condução (cmH <sub>2</sub> O)                | 8 (8 - 9)          | 10 (10 - 12)          | 0,03       |
| Pressão inspiratória transpulmonar (cmH <sub>2</sub> O) | 6,6 (4,3 - 6,64)   | 11 (8,29 - 12,24)     | 0,048      |
| PaCO <sub>2</sub> (mmHg)                                | 38 (36,7 - 40,8)   | 34,45 (33,6 - 42,3)   | 0,759      |

PaCO<sub>2</sub> - pressão parcial de dióxido de carbono.

saudáveis como o volume pulmonar durante inflação forçada com uma pressão de vias aéreas de 35cmH<sub>2</sub>O.<sup>(4)</sup> Este valor se encontra em linha com nossos resultados. Quando se gera a curva P-V, encontramos que o ponto médio superior de inflexão correspondeu a um valor de aproximadamente 35cmH<sub>2</sub>O para PiflexSupAw e 18cmH<sub>2</sub>O para PiflexSupTP.

Recomendou-se uma regulagem de VC para cães que varie entre 5 até 20mL/kg de peso corpóreo.<sup>(28-31)</sup> Em artigo recente, Villar e Kacmarec afirmam que todos os mamíferos, desde um elefante até um musaranho, têm um VC relacionado ao tamanho do corpo de 6,3mL/kg, independentemente da massa corpórea.<sup>(32)</sup> Neste mesmo sentido, estudos de escalação alométrica propuseram que a fórmula 7,69 vezes o peso corpóreo<sup>1,04</sup> (quase 8mL/kg de peso corpóreo) reflete melhor o VC em todos os mamíferos.<sup>(33)</sup>

Entretanto, em trabalho publicado em 1972, Robinson et al. relataram que a proporção volume/peso corpóreo é maior nos cães do que em outras espécies.<sup>(34)</sup> Estes autores também sugeriram que é improvável a possibilidade de se utilizar a mesma fórmula para todas as espécies, em razão da estrutura anatômica heterogênea dos pulmões nos mamíferos, e da variação em termos de conformações torácicas e dos efeitos gravitacionais nos pulmões no caso das espécies maiores. Acrescente-se que, em estudo com 20 cães de diferentes raças, o espaço morto fisiológico teve um valor aproximado de 7mL/kg de peso corpóreo.<sup>(35)</sup> Isto se alinha com os nossos achados, no qual se observaram normocapnia em um VC de 12,69 (11,53 - 16) e 12,96 (10,18 - 14,78) mL/kg em cães saudáveis e cães em condição clínica crítica, com utilização de uma regulagem ideal com base na CI (17% da CI).

Em recente estudo experimental realizado em cães da raça Beagle, os pesquisadores relataram que a relação entre o tamanho do pulmão (CPT) e o peso corpóreo não foi proporcional em cães saudáveis.<sup>(36)</sup> Este achado dá suporte à hipótese de que o uso de um VC com base no peso corpóreo real pode ser inadequado nessas condições. Os autores também desenvolveram uma fórmula equivalente com base na idade, no tamanho do corpo e no peso, que se correlacionou bem com a CPT. Lamentavelmente, esta fórmula não foi precisa em cães com lesão por ácido oleico.

Em nosso estudo, a variação nas mensurações em nossa amostra, relativas ao peso corpóreo em animais saudáveis (72,75 - 99,66mL/kg), dá suporte à hipótese de que selecionar um VC com base no tamanho pulmonar real poderia ser mais apropriado do que a que se chega com base no peso corpóreo.

A PC do sistema respiratório (diferença entre as pressões estáticas elásticas inspiratória e expiratória) chamou a atenção como parâmetro de monitoramento para limitar o estresse e a tensão na síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA).<sup>(37)</sup> Como a PC reflete o relacionamento entre o VC e a complacência, o controle deste parâmetro também permite ajustar o VC ao tamanho funcional do pulmão (para um determinado valor de PC, quanto menor a complacência, menor o VC administrado). Embora seja atualmente recomendado não exceder 15cmH<sub>2</sub>O, não existe apenas um valor de PC sugerido para regulação do VC. Segundo a estratégia de selecionar o VC com base na CI, pode-se obter um único valor de VC (aquele que melhor se adaptar ao tamanho funcional do pulmão), e a PC pode ser utilizada como variável para monitoramento e eventual ajuste.

Recentemente, uma revisão sugeriu que a PC transpulmonar poderia ser mantida abaixo de 15 - 20cmH<sub>2</sub>O em pacientes com parênquima pulmonar homogêneo e possivelmente abaixo de 10 - 12cmH<sub>2</sub>O nos com parênquima não homogêneo (SDRA).<sup>(3)</sup> Nenhum de nossos cães saudáveis ou em condição crítica ventilados com um VC igual a 17% da CI teve pressão transpulmonar inspiratória ou estática do sistema respiratório elevadas, e as pressões de condução foram baixas.

No presente estudo, a frequência respiratória para cães saudáveis foi fixada arbitrariamente em 15 respirações por minuto (um valor na faixa média do usualmente recomendado em cães saudáveis).<sup>(28-31)</sup> Isto pode ser considerado uma limitação. Segundo alguns estudos, animais pequenos respiram mais rapidamente do que animais grandes.<sup>(38)</sup> Estudos de escalação alométrica<sup>(33)</sup> propuseram

que a frequência respiratória é representada pela fórmula 53,5 vezes o peso<sup>-0,33</sup>. O uso de uma faixa para respirações por minuto, dependendo do tamanho do animal, teria sido mais apropriado. Os dados sugerem que frequências respiratórias mais altas poderiam ter sido utilizadas nos animais menores, e frequências mais baixas, nos maiores.

Lamentavelmente muitas variáveis deixaram de ser avaliadas neste estudo. Uma capnografia volumétrica poderia permitir melhor compreensão do espaço morto respiratório e da ventilação alveolar em cada categoria. Como a VM pode provocar importantes perturbações hemodinâmicas, a pressão arterial deve ser monitorada. No presente relato, aplicamos dispositivos não invasivos, porém um monitoramento invasivo da pressão arterial teria sido uma melhor opção.

## CONCLUSÕES

A capacidade inspiratória normalizada pelo peso corpóreo em cães saudáveis de diferentes raças apresentou variação significativa. A seleção de um volume corrente, com base apenas no peso corpóreo, pode resultar em tensão insuficiente ou excessiva em certos cães. Em contraste, o volume corrente, com base na capacidade inspiratória de cada animal, comprovou ser uma ferramenta útil e simples para estabelecer os parâmetros do ventilador, tanto em cães saudáveis quanto em animais em condição crítica. Na verdade, esta estratégia permitiu que a maioria dos cães atingisse valores apropriados de PaCO<sub>2</sub> e mecânica pulmonar dentro de uma faixa fisiológica aceitável. Uma abordagem similar poderia ser também avaliada em outras espécies, inclusive no ser humano, se considerarmos as potenciais limitações da titulação do volume corrente, com base no peso corpóreo ideal calculado.

## Contribuição dos autores

PA Donati: Delineamento do estudo, coleta de dados, análise dos dados, pesquisa bibliográfica, preparação do manuscrito.

E Gogniat: Delineamento do estudo, coleta de dados, análise dos dados, pesquisa bibliográfica, revisão do manuscrito.

M Madorno: Coleta dos dados, análise dos dados.

EC Guillemi: Análise dos dados, preparação do manuscrito, revisão do manuscrito.

JM Guevara, MC Lavallo, FP Scorza e GF Mayer: Coleta de dados, pesquisa bibliográfica.

PO Rodriguez: Delineamento do estudo, pesquisa bibliográfica, preparação do manuscrito, revisão do manuscrito.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate a novel physiological approach for setting the tidal volume in mechanical ventilation according to inspiratory capacity, and to determine if it results in an appropriate mechanical and gas exchange measurements in healthy and critically ill dogs.

**Methods:** Twenty healthy animals were included in the study to assess the tidal volume expressed as a percentage of inspiratory capacity. For inspiratory capacity measurement, the mechanical ventilator was set as follows: pressure control mode with 35cmH<sub>2</sub>O of inspired pressure and zero end-expiratory pressure for 5 seconds. Subsequently, the animals were randomized into four groups and ventilated with a tidal volume corresponding to the different percentages of inspiratory capacity. Subsequently, ten critically ill dogs were studied.

**Results:** Healthy dogs ventilated with a tidal volume of 17% of the inspiratory capacity showed normal respiratory mechanics and presented expected PaCO<sub>2</sub> values more frequently than the other groups. The respiratory system and transpulmonary driving pressure were significantly higher among the critically ill dogs but below 15 cmH<sub>2</sub>O in all cases.

**Conclusions:** The tidal volume based on the inspiratory capacity of each animal has proven to be a useful and simple tool when setting ventilator parameters. A similar approach should also be evaluated in other species, including human beings, if we consider the potential limitations of tidal volume titration based on the calculated ideal body weight.

**Keywords:** Inspiratory capacity; Tidal volume; Lung; Dogs

## REFERÊNCIAS

- Chiumello D, Carlesso E, Cadringer P, Caironi P, Valenza F, Polli F, et al. Lung stress and strain during mechanical ventilation for acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008;178(4):346-55.
- Protti A, Votta E, Gattinoni L. Which is the most important strain in the pathogenesis of ventilator-induced lung injury: dynamic or static? *Curr Opin Crit Care.* 2014;20(1):33-8.
- Mauri T, Yoshida T, Bellani G, Goligher EC, Carreaux G, Rittayamai N, Mojoli F, Chiumello D, Piquilloud L, Grasso S, Jubran A, Laghi F, Magder S, Pesenti A, Loring S, Gattinoni L, Talmor D, Blanch L, Amato M, Chen L, Brochard L, Mancebo J; PLeUral pressure working Group (PLUG-Acute Respiratory Failure section of the European Society of Intensive Care Medicine). Esophageal and transpulmonary pressure in the clinical setting: meaning, usefulness and perspectives. *Intensive Care Med.* 2016;42(9):1360-73.
- Tankersley CG, Rabold R, Mitzner W. Differential lung mechanics are genetically determined in inbred murine strains. *J Appl Physiol.* 1999;86(6):1764-9.
- Irvin CG, Bates JH. Measuring the lung function in the mouse: the challenge of size. *Respir Res.* 2003;4:4.
- Caironi P, Langer T, Carlesso E, Protti A, Gattinoni L. Time to generate ventilator-induced lung injury among mammals with healthy lungs: a unifying hypothesis. *Intensive Care Med.* 2011;37(12):1913-20.
- Protti A, Andreis DT, Milesi M, Iapichino GE, Monti M, Comini B, et al. Lung anatomy, energy load, and ventilator-induced lung injury. *Intensive Care Med Exp.* 2015;3(1):34.
- Stocks J, Quanjer PH. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. *ATS Workshop on Lung Volume Measurements. Official statement of the European Respiratory Society.* *Eur Respir J.* 1995;8(3):492-506.
- Acute Respiratory Distress Syndrome Network, Brower RG, Matthay MA, Morris A, Schoenfeld D, Thompson BT, Wheeler A. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2000;342(18):1301-8.
- Maskin LP, Attie S, Setten M, Rodriguez PO, Bonelli I, Strykowski ME, et al. Accuracy of weight and height estimation in an intensive care unit. *Anaesth Intensive Care.* 2010;38(5):930-4.
- Briva A, Gaiero C. Lung protection: an intervention for tidal volume reduction in a teaching intensive care unit. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2016;28(4):373-9.
- Heyder J, Takenaka S. Long-term canine exposure studies with ambient air pollutants. *Eur Respir J.* 1996;9(3):571-84.
- Mattingley JS, Holets SR, Oeckler RA, Stroetz RW, Buck CF, Hubmayr RD. Sizing the lung of mechanically ventilated patients. *Crit Care.* 2011;15(1):R60.
- Leme Silva P, Pelosi P, Rocco PR. Mechanical ventilation in obese patients. *Minerva Anesthesiol.* 2012;78(10):1136-45.
- Liu Q, Li W, Zeng QS, Zhong NS, Chen RC. Lung stress and strain during mechanical ventilation in animals with and without pulmonary acute respiratory distress syndrome. *J Surg Res.* 2013;181(2):300-7.
- Boudreau AE, Bersenas AM, Kerr CL, Holowaychuk MK, Johnson RJ. A comparison of 3 anesthetic protocols for 24 hours of mechanical ventilation in cats. *J Vet Emerg Crit Care (San Antonio).* 2012;22(2):239-52.
- Bumbacher S, Schramel JP, Mosing M. Evaluation of three tidal volumes (10, 12 and 15 mL kg<sup>-1</sup>) in dogs for controlled mechanical ventilation assessed by volumetric capnography: a randomized clinical trial. *Vet Anaesth Analg.* 2017;44(4):775-84.
- Venegas JG, Harris RS, Simon BA. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. *J Appl Physiol.* 1998;84(1):389-95.
- Madorno M, Rodríguez PO. Non linear respiratory systems mechanics simulation of acute respiratory distress syndrome during mechanical ventilation. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2010;2010:232-4.
- Withers RT, Bourdon PC, Crockett A. Lung volume standards for healthy male lifetime nonsmokers. *Chest.* 1988;93(1):91-7.
- Hubmayr RD. Point: Is low tidal volume mechanical ventilation preferred for all patients on ventilation? *Yes.* *Chest.* 2011;140(1):9-11.
- Rishniw M, Ljungvall I, Porciello F, Häggström J, Ohad DG. Sleeping respiratory rates in apparently healthy adult dogs. *Res Vet Sci.* 2012;93(2):965-9.
- Sarge T, Talmor D. Targeting transpulmonary pressure to prevent ventilator induced lung injury. *Minerva Anesthesiol.* 2009;75(5):293-9.
- Rodriguez PO, Bonelli I, Setten M, Attie S, Madorno M, Maskin LP, et al. Transpulmonary pressure and gas exchange during decremental PEEP titration in pulmonary ARDS patients. *Respir Care.* 2013;58(5):754-63.
- Johnson RA. Respiratory acidosis: a quick reference. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2008;38(3):431-4, vii.
- Servillo G, De Robertis E, Maggiore S, Lemaire F, Brochard L, Tufano R. The upper inflection point of the pressure-volume curve. Influence of methodology and of different modes of ventilation. *Intensive Care Med.* 2002;28(7):842-9.



27. Barbas CS, Isola AM, Farias AM, Cavalcanti AB, Gama AM, Duarte AC, et al. Brazilian recommendations of mechanical ventilation 2013. Part I. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2014;26(2):89-121.
28. Balakrishnan A, King LG. Updates on pulmonary function testing in small animals. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2014;44(1):1-18.
29. Hopper K, Powell LL. Basics of mechanical ventilation for dogs and cats. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2013;43(4):955-69.
30. Hopper K. Basic mechanical ventilation in: Silverstein DC, Hopper K. *Small animal critical care medicine*. St. Louis: Saunders Elsevier; 2009. p. 900-3.
31. King LG. *Textbook of respiratory disease in dogs and cats*. St. Louis: Saunders; 2004.
32. Villar J, Kacmarek RM. It does not matter whether you are an elephant or a shrew: all mammals' tidal volumes are similarly scaled! *Minerva Anesthesiol*. 2014;80(11):1149-51.
33. Pypendop BH, Jones JH. Indexing cardiovascular and respiratory variables: allometric scaling principles. *Vet Anaesth Analg*. 2015;42(4):343-9.
34. Robinson NE, Gillespie JR, Berry JD, Simpson A. Lung compliance, lung volumes, and single-breath diffusing capacity in dogs. *J Appl Physiol*. 1972;33(6):808-12.
35. Mosing M, Staub L, Moens Y. Comparison of two different methods for physiologic dead space measurements in ventilated dogs in a clinical setting. *Vet Anaesth Analg*. 2010;37(5):393-400.
36. Liu Q, Gao YH, Hua DM, Li W, Cheng Z, Zheng H, et al. Functional residual capacity in beagle dogs with and without acute respiratory distress syndrome. *J Thorac Dis*. 2015;7(8):1459-66.
37. Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa EL, Schoenfeld DA, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2015;372(8):747-55.
38. Crisfill ML, Widdicombe JG. Physical characteristics of the chest and lungs and the work of breathing in different mammalian species. *J Physiol*. 1961;158:1-14.