

## MONITORIZACIÓN DE LA VOLEMIA ¿QUÉ HAY DE NUEVO?

Alejandra García de Carellán Mateo, Lic. Vet, MVetMed, Acred. AVEPA (GAVA), Dip. ECVAA  
EBVS® European Specialist in Veterinary Anaesthesia and Analgesia

Hospital Veterinario de la Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir"  
Av. Pérez Galdós 51, 46018, Valencia, España

### 1- INTRODUCCIÓN:

La administración de fluidoterapia intravenosa (IV) es una práctica comúnmente utilizada para restituir el volumen circulante y mejorar la perfusión tisular en pacientes deshidratados o hipovolémicos y también como soporte cardiovascular durante la anestesia general. Un manejo adecuado de la fluidoterapia perioperatoria tiene un impacto significativo en el tiempo de recuperación del paciente, incluyendo: la cicatrización, la vuelta al tránsito gastrointestinal normal, la mejora del intercambio gaseoso y la duración de la hospitalización<sup>1</sup>. Sin embargo, medir el volumen sanguíneo, estimar las pérdidas y reponerlas de manera precisa es complicado clínicamente. Durante la anestesia general, se han descrito diferentes métodos para estimar la volemia, algunos de ellos estáticos y otros dinámicos utilizando la fisiología cardiorrespiratoria y la interacción pulmón-corazón.

### 2- FISIOLÓGIA CARDIOVASCULAR: CONCEPTO DE VOLEMIA, GASTO CARDIACO, PRECARGA, CONTRACTILIDAD, POSTCARGA Y RETORNO VENOSO.

**Volemia:** Es el volumen total de sangre circulante, compuesta por plasma y células sanguíneas. Representa alrededor del 7-10% del peso corporal, el valor normal aproximado es de 90 ml/kg en perros y 50 - 60 ml/kg en gatos. Ésta sangre está repartida en diferentes compartimentos; aproximadamente el 65-70% se encuentra contenido en el reservorio venoso, el 12-15% en las arterias, el 10% en la circulación pulmonar y 5% a nivel de los ventrículos. Estos volúmenes son capaces de variar en forma importante mediante vasoconstricción, vasodilatación y contracción esplénica; incluso durante la ventilación mecánica, por la influencia que tiene sobre la pre y post-carga ventricular. Existe un control intrínseco por medio de reflejos cardiovasculares gracias a barorreceptores situados en los grandes vasos y el corazón, así como un control extrínseco mediado por el sistema simpático y parasimpático.

**Gasto Cardíaco (GC):** Volumen de sangre eyectada del ventrículo por minuto. Dependerá del volumen de eyección y la frecuencia cardíaca (latidos por minuto).

**Volumen de eyección (VE):** Volumen que sale del ventrículo en cada latido y que a su vez depende de la precarga, la contractilidad cardíaca, la postcarga y el retorno venoso:

1. **Precarga:** Presión intraluminal dentro del ventrículo al final de la diástole. La precarga va a depender de la volemia ya que influencia el llenado ventricular y la longitud de los miocitos en diástole. Adicionalmente la precarga depende de la complianza del corazón y del sistema venoso. Parámetros que se usan para estimarla:
  - a. Ventrículo derecho (VD): Presión venosa central (PVC)
  - b. Ventrículo izquierdo (VI): Presión capilar pulmonar (mediante un catéter de Swan-Ganz)
2. **Postcarga:** Resistencia vascular que se opone a la fuerza de contracción de los miocitos durante la eyección. Parámetros para estimar la postcarga:
  - a. VD: Resistencia Vascular Pulmonar
  - b. VI: Presión arterial media (PAM) y Resistencia Vascular Sistémica
3. **Contractilidad:** Actividad de los miocitos para generar una fuerza mecánica.
4. **Retorno venoso:** Depende del GC, de la resistencia vascular sistémica (RVS) y de la presión intratorácica. El parámetro utilizado para estimar el retorno venoso es la PVC.

**Ley de Frank-Starling** (Fig.1A y 1B): Estudia la relación entre la precarga, la contractilidad y el volumen de eyección. Se trata de una parábola que tiene dos zonas, la zona “precarga dependiente” y la zona “precarga independiente”. Si nos encontramos en la zona precarga dependiente significa que conseguiremos un aumento del VE si aumentamos la precarga. Si por el contrario nos encontramos en la zona “precarga independiente”, el VE no cambiará y el exceso de precarga (Fig.1A) puede tener consecuencias indeseadas para el paciente, como por ejemplo sobrecarga de fluidos. Adicionalmente la morfología de la curva nos va a dar una idea de la funcionalidad cardíaca, sobre todo de la contractilidad miocárdica (Fig.1B)

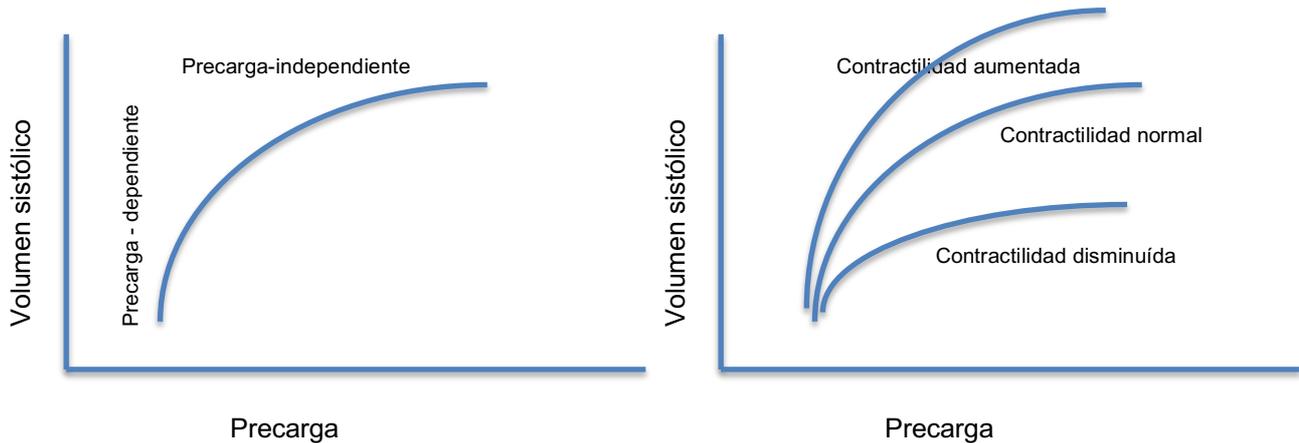


Fig.1A

Fig.1B

**Definición de “Paciente respondedor a volumen”:** En la mayoría de las situaciones clínicas lo que nos interesa es estimar la respuesta que existirá tras una intervención terapéutica capaz de modificar la precarga (como sucede durante la administración de bolos de fluidos, instauración de la ventilación mecánica, uso de fármacos...). Un paciente respondedor a volumen es capaz de aumentar el VE y por tanto su GC tras un bolo de fluidos ya que se encuentra en la parte precarga dependiente de la curva de Frank-Starling.

### 3- MÉTODOS DESCRITOS PARA ESTIMAR LA VOLEMIA:

#### Presión venosa central:

Mide la presión en la vena cava craneal, mediante un catéter central. La PVC representa el límite de llenado del sistema venoso (medida indirecta de la volemia), retorno venoso y la presión de los órganos extratorácicos. Sin embargo se ve afectada por otros muchos factores que dificultan su interpretación: contractilidad cardíaca, presión interpleural, hipertensión portal, arritmias, insuficiencia tricúspide... Un aumento de la PVC (>10 cmH<sub>2</sub>O) podría significar que un paciente tiene sobrecarga de volumen<sup>2</sup>, sin embargo, según los últimos estudios de medicina humana, cambios en la PVC no tienen la especificidad ni la sensibilidad para indicar cómo un paciente responderá a un bolo de fluidos<sup>3</sup>.

#### Gasto cardíaco: (Tabla 1)

- **Métodos Invasivos:** Requieren la introducción de un catéter de Swan-Ganz hasta la arteria pulmonar pasando por el corazón derecho: Termodilución y dilución de Litio
- **Métodos Mínimamente invasivos:**
  - Método de Fick (consumo de CO<sub>2</sub> y reinhalación parcial de CO<sub>2</sub>): NICO<sub>2</sub>®
  - Análisis de la onda arterial de pulso: PiCCO®, LiDCO®, Flotrac/Vigileo® (este último sin calibración)
  - Doppler: Ecocardiografía transtorácica/transesofágica y doppler transesofágico (CardioQ®)
  - Bioimpedancia
  - Resonancia magnética cardíaca

# XVIII Congreso de Especialidades Veterinarias

26-27 de Abril de 2019 - Palacio de Congresos - ZARAGOZA



Sistema	Ventajas	Desventajas	Variables estáticas	Variables dinámicas
Termodilución, dilución de litio (Catéter de Swan-Ganz) <sup>4,5,6</sup>	Termodilución transpulmonar es el <i>Gold Standard</i> de medición del GC, pres. intratorácicas y agua pulmonar	Sistema invasivo: daños valvulares, endocarditis, arritmias, rotura vascular Mediciones intermitentes	PAP, POAP, SvO <sub>2</sub> , DO <sub>2</sub> , VO <sub>2</sub>	
NICO® (Método de Fick utilizando CO <sub>2</sub> ) <sup>7</sup>	Mínimamente invasivo Sencillo Repetible frecuentemente	No continuo Requiere paciente intubado y ventilado Artefactos con shunt intrapulmonar	VCO <sub>2</sub> ETCO <sub>2</sub>	
PiCCO® <sup>8</sup>	Mediciones continuas Calibración mediante termodilución transtorácica	En pacientes inestables requiere recalibración frecuente. Amortiguación de la curva y el cero mal hecho afectan a los resultados Limitación en pequeños animales por el tamaño del sensor arterial	PVC, GEDV, EVLW, PVPI, GEF	VVS, VPP
LIDCO® <sup>9</sup>	Poco invasivo: cualquier acceso venoso/arterial Calibración por dilución de litio	Interferencia entre sales de litio y bloqueantes neuromusculares no despolarizantes Limitación en pequeños animales por el tamaño del sensor arterial	ITBV	VVP, VPP
FloTrac/Vigileo® <sup>10,11</sup>	Acceso vascular periférico No requiere calibración	Mala correlación con <i>Gold Standard</i> en perros		VPP
Ecocardiografía transtorácica <sup>12, 13</sup>	No invasivo Doppler: Velocidad de flujo arteria pulmonar Paciente consciente	Operador dependiente No continuo Difícil durante cirugía	Vol. Eyección	
Ecocardiografía transesofágica <sup>14</sup>	Mínimamente invasiva Rápida colocación Continuo	Requiere anestesia general, Operador y ventana acústica dependiente (movimiento sonda)		
Doppler transesofágico (USCOM™, CardioQ®) <sup>15,16,17</sup>	Mínimamente invasivo No requiere calibración Rápida colocación	Requiere anestesia general, correlación moderada con el <i>Gold Standard</i> en perros Repetitibilidad: movimiento de la sonda	Integr Vel. T (ITV) Vol. Sist = AS*DL GC=VS*FC	
Bioimpedancia: Velocidad Eléctrica <sup>18</sup>	Mide los cambios de conductividad eléctrica aórtica durante el ciclo cardiaco			
Resonancia Magnética cardiaca <sup>19</sup>	Medición directa del Vol. Sist, Fracc Eyecc, GC, Masa Miocárdica, Vol. al final Diast y Sist	Requiere anestesia general y una resonancia 1.5T con el software "ECG-triggered segmented gradient echo"		

## Presión arterial invasiva:

Requiere la cateterización arterial, un transductor (calibrado y nivelado) y un monitor capaz de medir presión arterial invasiva.

- Ventajas: Continuo latido a latido, relativamente económico y accesible clínicamente. Medición directa de presión arterial sistólica y diastólica, la presión media es calculada mediante el área bajo la curva.
- Inconvenientes: Moderadamente invasivo y limitado al tamaño del paciente. El lugar de cateterización puede afectar a los valores (arteria central vs. periférica), así como artefactos y errores de medición (resonancia, amortiguación, calibración) posición del transductor y acción de fármacos anestésicos o vasopresores. Además Es un índice muy tardío de hipovolemia debido a la acción de los mecanismos compensatorios cardiovasculares para evitar isquemia de órganos

vitales.<sup>1, 20</sup> y el metabolismo anaerobio debido a hipoperfusión se desarrollan ANTES que la hipotensión<sup>21</sup>.

## Predictores dinámicos de la respuesta a fluidoterapia:

Se basan en el análisis de la onda de pulso y su variabilidad durante el ciclo respiratorio. La ventilación mecánica induce cambios cíclicos en la precarga y postcarga ventricular debido al cambio de presión intratorácica. Estos cambios se acentúan en condiciones de hipovolemia, incluso antes de producirse hipotensión.

- **Variabilidad del volumen latido:** Requiere la medición del volumen de eyección mediante los métodos para medir el gasto cardiaco (termodilución, análisis del contorno de la onda de pulso, doppler, etc) y se realiza la media aritmética de 30 mediciones durante varios ciclos respiratorios.
- **Variabilidad sistólica:** Durante un ciclo respiratorio se miden en mmHg las presiones sistólicas máximas y mínimas y se aplica la fórmula:  $SPV \text{ (mmHg)} = SP_{max} - SP_{min}$ , o se calcula el porcentaje mediante la fórmula  $SPV(\%) = 100 * (SP_{max} - SP_{min}) / (SP_{max} + SP_{min}) / 2$ .<sup>22</sup>
- **Variabilidad de la presión de pulso:** Utilizando la onda de pulso arterial con un paciente ventilado mecánicamente se toman la presión de pulso mayor y menor que ocurren durante un ciclo respiratorio y se aplica la siguiente fórmula:  $PPV (\%) = (PP_{max} - PP_{min}) / [(PP_{max} + PP_{min}) / 2] * 100$  Según los últimos estudios en perros, es capaz de predecir si un animal responderá a volumen con un valor de referencia es 11% (rango 9-12%), por encima de ese valor el paciente responderá a volumen y por debajo de ese valor se considera no respondedor.<sup>23</sup>
- **Índice de variabilidad pletismográfica:** Utiliza la variabilidad del pletismograma mediante la fórmula:  $PI_{max} - PI_{min} / PI_{max} * 100 = \%$ . Se correlaciona correctamente con la variabilidad de la presión de pulso, con un valor de referencia en perros de 9.3% (rango 8-12%).<sup>23,24</sup>

La desventaja principal de estos métodos es que diferentes modos ventilatorios tienen sus propios valores de referencia para cada uno de los predictores dinámicos.<sup>25</sup> Las limitaciones de los predictores dinámicos también incluyen: dificultad de interpretación en caso de arritmias, fallo cardiaco, uso de vasopresores, uso de medetomidina<sup>26,27</sup>, en casos de aumento de la presión intraabdominal y que requieren ventilación mecánica y la cateterización arterial.<sup>24</sup> Los estudios en veterinaria difieren en el modo ventilatorio (asistido vs controlado, controlado por volumen vs presión), volumen tidal (10 - 12 ml/kg), definición de "paciente respondedor a fluidos" (algunos se basan en aumentos de la PAM, otros en disminución de la FC y algunos estudios miden el GC) y también difieren en el volumen del bolo de fluidos a administrar (3 - 15 ml/kg).

**Métodos basados en ecografía de vasos sanguíneos:** Con los avances en el uso de la ecografía focalizada en hospitalización, perioperatorios (AFAST, TFAST...) y en bloqueos ecoguiados, también se han utilizado como índice de volemia:

- **Diámetro de la vena cava caudal y aorta a nivel de la porta,** en el espacio intercostal (9-12) derecho y su correlación con la variabilidad sistólica.<sup>28</sup>
- **Velocidad de flujo aórtico, distensibilidad de la vena cava inferior** correlacionados con la variabilidad sistólica.<sup>29</sup>
- **Ratio de la vena cava caudal:aorta y diámetro de la vena renal** (ventana espleno-renal) durante donación de sangre en perros.<sup>30</sup>

La ecografía vascular como índice de volemia aún se encuentra en desarrollo en veterinaria. Se trata de un método no invasivo y aplicable tanto en anestesia como en cuidados intensivos, sin embargo dependen de la experiencia del operador.

**Pruebas laboratoriales:** Realmente no son marcadores de volemia sino marcadores de hipoperfusión o hemoconcentración, como consecuencia de hipovolemia a nivel de la microcirculación provocando un metabolismo celular anaeróbico:

- Lactato sérico aumentado
- Aumento o disminución del hematocrito, hemoglobina y proteínas totales
- Saturación venosa mixta/central de oxígeno (SvO<sub>2</sub>)<sup>31</sup>
- PH
- Déficit de base

#### 4 – CONCLUSIÓN:

Existen numerosos métodos para medir la volemia en pequeños animales, cada uno con sus ventajas y sus limitaciones. Es importante asegurar buen manejo perioperatorio de la fluidoterapia para mantener la correcta volemia de nuestros pacientes, y para ello, la monitorización cardiovascular es esencial.

#### 5 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Hamilton MA, Cecconi M, Rhodes A (2011) A systematic review and meta-analysis on the use of preemptive hemodynamic intervention to improve postoperative outcomes in moderate and high-risk surgical patients. *Anesth Analg* 112, 1392e1402.
2. Siegler BH, Rex S, Rossaint R et al.: Reply to: the central venous pressure, and 'a plea for some common-sense' *Eur J Anaesthesiol* 2018; 35: 315–324.
3. Marik PE & Cavallazzi R: Does the central venous pressure predict fluid responsiveness? An updated meta-analysis and a plea for some common sense. *Crit Care Med* 2013; 41: 1774-1781.
4. Beaulieu KE, Kerr CL, McDonnell WN: Evaluation of a lithium dilution cardiac output technique as a method for measurement of cardiac output in anesthetized cats. *Am. J. Vet. Res.* 2005; 66(9): 1639-45.
5. Butler AL, Campbell VL, Wagner AE, et al.: Lithium dilution cardiac output and oxygen delivery in conscious dogs with systemic inflammatory response síndrome. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 2008; 18(3): 246-257.
6. Beaulieu KE, Kerr CL, McDonnell WN: Evaluation of transpulmonary thermodilution as a method to measure cardiac output in anesthetized cats. *Can. J. Vet. Res.* 2009; 73: 1–6.
7. Gunkel CI, Valverde A, Morey TE, et al.: Comparison of non-invasive cardiac output measurement by partial carbon dioxide rebreathing with the lithium dilution method in anesthetized dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 2004; 14(3): 187-195.
8. Shih A, Maisenbacher HA, Brandt C, et al.: Assessment of cardiac output measurement in dogs by transpulmonary pulse contour analysis. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 2011; 21(4): 321-327.
9. Mason DJ, O'Grady M, Woods JP et al.: Comparison of a central and a peripheral (cephalic vein) injection site for the measurement of cardiac output using the lithium-dilution cardiac output technique in anesthetized dogs. *Can. J. Vet. Res.* 2002; 66(3): 207–210.
10. 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. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 2011; 21(4): 328-334.
11. Bektas RN, Kutter AP, Hartnack S, et al.: Evaluation of a minimally invasive noncalibrated pulse contour cardiac output monitor (FloTrac/Vigileo) in anaesthetized dogs. *Vet. Anaesth. Analg.* 2012; 39(5): 464-71.

# XVIII Congreso de Especialidades Veterinarias

26-27 de Abril de 2019 - Palacio de Congresos - ZARAGOZA



12. Schober KE, Fuentes VL, Bonagura JD: Comparison between invasive hemodynamic measurements and noninvasive assessment of left ventricular diastolic function by use of Doppler echocardiography in healthy anesthetized cats. *Am. J. Vet. Res.* 2003; 64(1): 93-103.
13. Lopes FPC, Sousa MG, Camacho AA, et al.: Comparison between two methods for cardiac output measurement in propofol-anesthetized dogs, thermodilution and Doppler. *Vet. Anaesth. Analg.* 2010; 37(5): 401–408.
14. Rezende ML, Pypendop BH, Ilkiw JE: Evaluation of transesophageal echo-Doppler ultrasonography for the measurement of aortic blood flow in anesthetized cats. *Am. J. Vet. Res.* 2008; 69(9): 1135-40.
15. Lester AC, Peng ZY, Fok BS, et al.: Testing the reliability of a new ultrasonic cardiac output monitor, the USCOM, by using aortic flowprobes in anesthetized dogs. *Anesth. Analg.* 2005; 100: 748–53.
16. Shih A, Giguere S, Vigani A, et al.: Determination of cardiac output by ultrasound velocity dilution in normovolemia and hypovolemia in dogs. *Vet. Anaesth. Analg.* 2011; 38: 279-285.
17. Canfrán S, Cediel R, Sáñez I, et al.: Evaluation of an oesophageal Doppler device for monitoring cardiac output in anaesthetised healthy normotensive dogs. *J Small Anim Pract.* 2015; 56(7):450-5.
18. Yamashita K, Igarashi R, Kushiro T, et al: Comparison of noninvasive cardiac output measurements by transthoracic bioimpedance, partial carbon dioxide rebreathing, and transesophageal echocardiography with the thermodilution technique in beagle dogs. *Vet. Anaesth. Analg.* 2005; 32: 13–14.
19. Hockings PD, Busza AL, Byrne J, et al: Validation of MRI measurement of cardiac output in the dog: the effects of dobutamine and minoxidil. *Toxicol Mech Methods.* 2003;13(1):39-43
20. Berkenstadt H, Friedman Z, Preisman S, et al.: Pulse pressure and stroke volume variations during severe haemorrhage in ventilated dogs. *Br J Anaesth.* 2005; 94: 721-726.
21. Junghans T, Neuss H, Strohauer M et al.: Hypovolemia after traditional preoperative care in patients undergoing colonic surgery is underrepresented in conventional hemodynamic monitoring. *Int J Colorectal Dis.* 2006; 21, 693-697.
22. Rabozzi R & Franci P: Use of systolic pressure variation to predict the cardiovascular response to mini-fluid challenge in anaesthetised dogs. *Vet J.* 2014; 202(2):367-71.
23. Sano H, Seo J, Wightman P, et al.: Evaluation of pulse pressure variation and pleth variability index to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated isoflurane-anesthetized dogs. *J Vet Emerg Crit Care (San Antonio).* 2018; 28(4):301-309.
24. Drozdzyńska MJ, Chang YM, Stanzani G, et al.: Evaluation of the dynamic predictors of fluid responsiveness in dogs receiving goal-directed fluid therapy. *Vet Anaesth Analg.* 2018; 45(1):22-30.
25. Sasaki K, Mutoh T, Yamamoto S et al.: Comparison of Noninvasive Dynamic Indices of Fluid Responsiveness Among Different Ventilation Modes in Dogs Recovering from Experimental Cardiac Surgery. *Med Sci Monit.* 2018;29(24):7736-7741.
26. Lamont LA, Bulmer BJ, Grimm KA, et al.: Cardiopulmonary evaluation of the use of medetomidine hydrochloride in cats. *Am. J. Vet. Res.* 2001; 62 (11): 1745-1749.
27. Diniz MS, Teixeira-Neto FJ, Cândido TD, et al.: Effects of dexmedetomidine on pulse pressure variation changes induced by hemorrhage followed by volume replacement in isoflurane-anesthetized dogs. *J Vet Emerg Crit Care (San Antonio)* 2014; 24(6):681-92.

# XVIII Congreso de Especialidades Veterinarias

26-27 de Abril de 2019 - Palacio de Congresos - ZARAGOZA



28. Meneghini C, Rabozzi R, Franci P: Correlation of the ratio of caudal vena cava diameter and aorta diameter with systolic pressure variation in anesthetized dogs. *Am J Vet Res.* 2016;77(2):137-43.
29. Bucci M, Rabozzi R, Guglielmini C, et al.: Respiratory variation in aortic blood peak velocity and caudal vena cava diameter can predict fluid responsiveness in anaesthetised and mechanically ventilated dogs. *Vet J.* 2017;227:30-35.
30. M. Cambournac M , Goy-Thollot I, Violé A, et al.: Sonographic assessment of volaemia: development and validation of a new method in dogs. *J Small Anim Pract.* 2018; 59(3):174-182.
31. Walton RAL & Hansen BD. Venous oxygen saturation in critical illness. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care* 2018; 00: 1–11.