

Efecto de dos maniobras de reclutamiento alveolar sobre diversas variables ecográficas de la función sistólica y diastólica del corazón derecho en perros anestesiados

Effect of two alveolar recruitment maneuvers on various echography variables of right heart systolic and diastolic function in anesthetized dogs

Edwin Buriticá-Gaviria^{1,2*}, Diego Echeverry-Bonilla^{1,2}, Maria Martínez-Salgado²

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos maniobras de reclutamiento alveolar sobre diversas variables ecográficas de función sistólico-diastólica del corazón derecho en perros anestesiados. Se utilizaron 15 perros sin distinción de raza, peso de 20.4 ± 3.8 kg y 3.1 ± 1.7 años en un estudio prospectivo, ciego y aleatorizado. Los perros fueron distribuidos en tres grupos: Grupo 1 (control sin sometimiento a maniobra de reclutamiento alveolar, n=5), Grupo 2 (sometidos a una maniobra de reclutamiento alveolar PEEP 5-10 cmH₂O, n=5) y Grupo 3 (sometidos a una maniobra de reclutamiento alveolar PEEP 5-10-15-20 cmH₂O, n=5). Las variables cambio del área fraccional del ventrículo derecho (FAC), índice de Tei para el corazón derecho (Tei-D), excursión sistólica del anillo tricuspideo (TAPSE), velocidad del flujo E tricuspideo (Vel. E-D), relación E/A transtricuspidea (Rel. E/A-D) e índice de distensibilidad de la arteria pulmonar derecha (DAPD) fueron evaluadas en 4 tiempos: Tiempo 1 (antes de la medicación preanestésica), tiempo 2 (inmediatamente antes de la inducción anestésica), tiempo 3 (inmediatamente después de terminar la MRA) y tiempo 4 (10 minutos después de terminar la MRA). No hubo diferencias significativas en los valores promedio entre grupos, excepto en la

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia

² Grupo de investigación en medicina y cirugía de pequeños animales, Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia

* Autor correspondiente: Edwin Buriticá-Gaviria; efburiticag@ut.edu.co

Recibido: 23 de enero de 2024

Aceptado para publicación: 9 de diciembre de 2024

Publicado: 28 de febrero de 2025

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

frecuencia ventilatoria del tiempo 3 respecto al grupo control. Los resultados sugieren que la maniobra de reclutamiento alveolar PEEP de máximo 20 cmH₂O es segura y no ejerce a corto plazo cambios de relevancia clínica sobre la función sistólica y diastólica del corazón derecho en perros normo-volémicos anestesiados.

Palabras clave: anestesia, ecocardiografía, hipertensión pulmonar, presión tele-espírotoria, ventilación mecánica, ventrículo derecho

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of two alveolar recruitment manoeuvres on various ultrasound variables of right heart systolic and diastolic function in anesthetized dogs. Fifteen dogs of any breed, weighing 20.4 ± 3.8 kg and 3.1 ± 1.7 years old, were used in a prospective, blinded, randomized study. The dogs were divided into three groups: Group 1 (control without alveolar recruitment manoeuvre, n=5), Group 2 (subjected to a PEEP 5-10 cmH₂O alveolar recruitment manoeuvre, n=5) and Group 3 (subjected to a PEEP 5-10-15-20 cmH₂O alveolar recruitment manoeuvre, n=5). The variables right ventricular fractional area change (FAC), Tei index for the right heart (Tei-D), tricuspid annular systolic excursion (TAPSE), tricuspid E flow velocity (Vel. E-D velocity), transtricuspid E/A ratio (Rel. E/A-D) and right pulmonary artery compliance index (DAPD) were evaluated at 4 times: Time 1 (before preanesthetic medication), Time 2 (immediately before anaesthetic induction), Time 3 (immediately after completing MRA) and Time 4 (10 minutes after completing MRA). Group 1 (control without alveolar recruitment manoeuvre, n=5), Group 2 (subjected to a PEEP 5-10 cmH₂O alveolar recruitment manoeuvre, n=5) and Group 3 (subjected to a PEEP 5-10-15-20 cmH₂O alveolar recruitment manoeuvre, n=5). There were no significant differences in the mean values between groups, except for the ventilatory frequency at time 3 compared to the control group. The results suggest that the alveolar recruitment manoeuvre PEEP of maximum 20 cmH₂O is safe and does not exert short-term clinically relevant changes on the systolic and diastolic function of the right heart in normo-volemic anesthetized dogs.

Keywords: anesthesia, echocardiography, pulmonary hypertension, end-expiratory pressure, mechanical ventilation, right ventricle

INTRODUCCIÓN

Las maniobras de reclutamiento alveolar (MRA) son estrategias ventilatorias de protección pulmonar empleadas para tratar el efecto negativo del colapso alveolar, en las que se busca abrir la mayor cantidad de alvéolos durante el mayor tiempo posible con el fin de mejorar el intercambio gaseoso y reducir las fuerzas físicas causales de lesión que provocan los métodos convencionales de ventilación mecánica (Magnusson y Spahn, 2003).

Diferentes MRA han sido empleadas para mejorar la aireación pulmonar, siendo el uso de presión positiva al final de la espiración (PEEP) posiblemente el método más empleado en la práctica clínica veterinaria con el fin de evitar la apertura y cierre cíclico de los alvéolos, condiciones que en el tiempo conducen a inflamación y lesión en el parénquima pulmonar, predisponiendo de nuevo colapso (Duggan y Kavanagh, 2005).

Dada la presión ejercida a la vía aérea y el tiempo de ejecución de estas estrategias,

las MRA podrían producir un deterioro de la función hemodinámica dado que llevan a la compresión de la microcirculación pulmonar (Haddad *et al.*, 2008b; Ochagavía *et al.*, 2009), lo que podría en determinado momento conducir a una disminución del retorno venoso e incremento de la resistencia vascular pulmonar (RVP), disminución del gasto cardiaco, aumento en la poscarga ventricular derecha y disminución de la distensibilidad diastólica principalmente (Matlu y Factor, 2000).

Por otra parte, el seguimiento de la función cardiaca ha estado limitado durante años al corazón izquierdo (Schober, 2005; Haddad *et al.*, 2008a), y solo en los últimos años se ha incrementado el número de publicaciones referentes a diversas variables ecocardiográficas de corazón derecho en perros. Dado lo anterior, es probable que el seguimiento de los cambios ecocardiográficos sea de utilidad en el monitoreo de este tipo de maniobras y permitan aportar un mejor acompañamiento diagnóstico sobre el estado hemodinámico en los animales intervenidos.

A conocimiento de los autores, no existe evidencia científica publicada que permita esclarecer el comportamiento de la dinámica cardiaca derecha tras el uso de estrategias de protección pulmonar mediante incremento de la presión tele-espiratoria en perros anestesiados; por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto que ejercen dos maniobras de reclutamiento alveolar sobre diversas variables ecográficas de función sisto-diastólica del corazón derecho en perros anestesiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación Geográfica

El presente estudio clínico prospectivo, ciego y aleatorizado, avalado por el Comité de Bioética de la Universidad del Tolima, Colombia (Código 310220), fue elaborado bajo los lineamientos de las leyes 84 de 1989 y

1774 de 2016 de Protección Animal y desarrollado en el Centro Universitario Hospital Veterinario Bernardino Rodríguez Urrea de la Universidad del Tolima (CPA-UT), institución localizada en Ibagué (Tolima), a una altitud de 1527 msnm, presión barométrica de 657 mmHg y temperatura promedio de 28.9 °C.

Perfil de los Animales

Se incluyeron 15 perros con peso promedio de 20.4 ± 3.8 kg, edad promedio de 3.1 ± 1.7 años y de diferentes razas, los cuales fueron distribuidos al azar, mediante un sistema de aleatorización en línea RANDOM.ORG en uno de tres subgrupos experimentales: Grupo 1 (n=5), perros control sin maniobra de reclutamiento, PEEP 0; Grupo 2 (n=5), perros sometidos a una maniobra de reclutamiento alveolar PEEP 10; y Grupo 3 (n=5), perros sometidos a una maniobra de reclutamiento alveolar PEEP 20.

Todos los animales se encontraban clínicamente sanos, clasificados bajo la escala de riesgo anestésico ASA I. Los perros fueron sometidos a un examen clínico semiológico y perfil básico de laboratorio que incluyó recuento eritrocitario, leucocitario y plaquetario; valor de nitrógeno ureico en sangre, creatinina, alanina aminotransferasa y albúmina, con resultados dentro de los rangos normales de referencia para la especie (Ettinger *et al.*, 2017).

Los animales recibieron como medicación preanestésica maleato de acepromacina intranasal (0.05 mg/kg) y fueron pre oxigenados durante 10 min a un flujo de 100 ml/kg. Luego fueron inducidos a plano anestésico mediante el uso de propofol (4-6 mg/kg), vía endovenosa, y mantenidos en plano anestésico con propofol a una infusión continua de 1.0 a 2.0 mg/kg/min. Todos recibieron intubación orotraqueal por medio de tubo endotraqueal con sistema de neumo-taponamiento de acuerdo con el tamaño del animal, fueron posicionados en recumbencia lateral

izquierda para ser ventilados en modo asisto control presión (P-A/C) a un delta de presión pico inspiratorio de 10 cmH₂O, una relación inspiración: espiración (I:E) de 1:2, una FiO₂ del 40% y una frecuencia ventilatoria que permitiera mantener una PCO₂ entre 35-45 mmHg.

Maniobra de Reclutamiento Alveolar

Las maniobras de reclutamiento alveolar fueron realizadas por medio de un ventilador mecánico (SV300, Mindray Bio-medical Electronics, Shenzhen, China) mediante incremento de la PEEP de acuerdo con cada grupo seleccionado: Grupo 1 control (PEEP 0 cmH₂O), grupo 2 (PEEP 0-5-10-5-0 cmH₂O) y grupo 3 (PEEP 0-5-10-15-20-15-10-5-0 cmH₂O). Los incrementos y decrementos de la presión inspiratoria y de la PEEP fueron realizados a razón de 5 cmH₂O por cada 5 ciclos ventilatorios, respetando siempre un diferencial de presión de 10 cmH₂O entre ellos. Todas las maniobras fueron realizadas por un mismo profesional, con experiencia en MRA.

Variables Evaluadas

Se realizó estudio ultrasonográfico transtorácico mediante empleo de una sonda micro convexa de 5-8 mHz (Sonoscape S2V, Sonoscape, Shenzhen, China). Todas las mediciones fueron realizadas por un investigador con experiencia en evaluación ecocardiográfica en pequeños animales. Se evaluaron los siguientes parámetros ecocardiográficos: cambio del área fraccional del ventrículo derecho (FAC), índice de Tei para el corazón derecho (Tei-D), excursión sistólica del anillo tricuspideo (TAPSE), flujo E tricuspideo (Vel. E-D), relación E/A transtricuspidea (Rel. E/A-D) e índice de distensibilidad de la arteria pulmonar derecha (DAPD).

- La FAC fue evaluada midiendo el área del ventrículo derecho, tanto en la diástole como en la sístole, utilizando la fórmula $[(AVDd - AVDs)/AVDd] \times 100$, donde

AVDd corresponde al área del ventrículo derecho en diástole y AVDs corresponde a área del ventrículo derecho en sístole,

- El Tei-D fue estimado mediante los tiempos inter diastólicos del flujo atrio ventricular derecho y el tiempo de eyección del flujo pulmonar mediante la fórmula $TID\ TT - TEFP / TEFP$, donde TID TT corresponde a los tiempos inter diastólicos del flujo atrio ventricular derecho y TEFP corresponde al tiempo de eyección del flujo pulmonar,
- El TAPSE fue medido en el anillo lateral de la valva tricúspide en un corte apical de cuatro cámaras, evaluando el desplazamiento máximo del punto de medida en dirección al ápice cardíaco,
- La Vel. E-D y (Rel. E/A-D) fueron evaluadas en corte craneal izquierdo en ventana de grandes vasos mediante el análisis de velocidad de los flujos E y A trans tricúspideos,
- La DAPD fue medida utilizando la fórmula $DAPs - DAPd/DAPs \times 100$, donde las variables corresponden al diámetro de los bordes endovasculares de la arteria pulmonar en sístole (DAPs) y en diástole (DAPd).

Por otra parte, se evaluó la frecuencia cardíaca (FC), frecuencia ventilatoria (FV), temperatura rectal (T) y la presión arterial sistólica, diastólica y media mediante equipo de monitoreo multiparamétrico (iPM 12Vet, Mindray Bio-Medical Electronics, Shenzhen, China).

Todas las variables analizadas fueron registradas en cuatro tiempos: Tiempo 1 (antes de la medicación preanestésica), tiempo 2 (inmediatamente antes de la inducción anestésica), tiempo 3 (inmediatamente después de terminar la MRA) y tiempo 4 (10 minutos después de terminar la MRA). Entre el tiempo 2 y 3 los animales fueron subdivididos en grupos aleatorios (G1, G2, G3) y recibieron la MRA de acuerdo con la aleatorización.

Análisis de los Resultados

El n muestral fue determinado mediante análisis de una población finita con varianza conocida a un nivel de confianza del 95%. Los resultados obtenidos fueron tabulados y analizados mediante estudio descriptivo exploratorio unidimensional para hallar medidas de tendencia central, paramétricas (media y DE) o no paramétricas (mediana). La distribución normal de los datos fue verificada por medio de la prueba de Shapiro Wilk. El análisis de varianza de una vía (ANOVA) fue empleado para definir la diferencia entre variables. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo. Los resultados fueron analizados mediante el software estadístico Graph Pad Prism 6.0 (California, USA).

RESULTADOS

Los valores promedio y las diferencias estadísticas de las constantes fisiológicas y las variables ecocardiográficas se presentan en los cuadros 1 y 2. No se evidenciaron diferencias significativas entre los grupos evaluados, excepto en la FV del tiempo 3 respecto a los grupos control.

DISCUSIÓN

El estudio demostró que dos MRA con incremento de la PEEP hasta un pico de 10 y 20 cmH₂O no tuvieron influencia de relevancia clínica en las constantes fisiológicas de FC, TR o presión arterial, así como tampoco en las variables de función cardiaca derecha en perros normo-volémicos anestesiados después de realizadas las maniobras.

Varias estrategias de MRA han sido realizadas en la práctica clínica humana y veterinaria entre las que se incluyen la maniobra de capacidad vital, la maniobra escalonada con presión positiva al final de la espiración (PEEP), la presión positiva continua en la vía

aérea (CPAP), los suspiros intermitentes e inclusive el posicionamiento prono (Ospina *et al.*, 2014). De estas, el uso de la maniobra escalonada con incremento de la PEEP es probablemente la MRA más frecuentemente empleada en la práctica clínica veterinaria (Staffieri *et al.*, 2010; Di Bella *et al.*, 2022); sin embargo, el uso de esta estrategia lleva consigo el aumento de las presiones intratorácicas y transpulmonares durante el momento máximo de presión de la maniobra, lo que conduce a la reducción del gasto cardíaco e incremento de la poscarga del ventrículo derecho con disminución consiguiente del volumen sistólico (Ochagavia *et al.*, 2009).

No se evidenciaron diferencias significativas entre el grupo control y los grupos a los cuales se les practicó cada una de las MRA contenidas en el estudio, a excepción de la FV en el G3 en el T3 y T4. Fenómeno explicado por el hecho de que a mayor volumen minuto menor será la frecuencia ventilatoria dada la ecuación de equilibrio ($FV = VM/VT$). En ventilación mecánica controlada por presión, el volumen tidal es variable y está directamente relacionado con el nivel de presión inspiratoria (Bernabé, 2017). Dado que en el presente estudio los animales fueron ventilados en modo asisto control presión (P-A/C), el G3 recibió una mayor presión sobre la vía aérea lo que repercutió en una mayor variación del VT y, por ende, una disminución en la frecuencia ventilatoria. Por su parte, las demás variables ecocardiográficas de función sisto-diastólica se encontraron dentro de los valores de referencia para la especie (Visser *et al.*, 2015; Cavalcanti *et al.*, 2017).

Un aumento en el volumen corriente ocasiona un aumento de gradiente isovolumétrico del ventrículo derecho y del gradiente de presión diastólica de la arteria pulmonar y al estudio ecocardiográfico se asocia a una disminución de la velocidad máxima, el tiempo de desaceleración y de la integral velocidad tiempo (VTI) del flujo pulmonar. Todo esto influenciado por un incremento en la poscarga del ventrículo derecho (Slobod *et al.*, 2022). Estudios previos en perros sanos han demostrado que la aplicación de PEEP

Cuadro 1. Valores promedio \pm desviación estándar de la frecuencia cardiaca (FC), frecuencia ventilatoria (FV), temperatura rectal (TR); presión arterial sistólica, diastólica y media (PAS, PAD, PAM) en perros con reclutamiento alveolar en anestesia

Variable	G1	G2	G3	<i>p</i> valor
Tiempo 1				
FC	90.0 \pm 9.2	74.5 \pm 16.6	98.4 \pm 30.1	0.2125
FV	50.4 \pm 13.5	41.0 \pm 22.0	31.0 \pm 6.8	0.2038
TR	38.8 \pm 12.6	38.7 \pm 0.5	39.0 \pm 1.2	0.7153
PAS	133.8 \pm 12.6	129.0 \pm 16.9	135.4 \pm 12.3	0.5628
PAD	76.2 \pm 10.1	73.4 \pm 14.3	78.6 \pm 19.8	0.8019
PAM	95.4 \pm 11.2	91.8 \pm 14.8	97.4 \pm 15.6	0.8070
Tiempo 2				
FC	77.2 \pm 19.7	77.6 \pm 15.5	91.6 \pm 12.3	0.2349
FV	33.6 \pm 13.7	17.3 \pm 6.1	19.4 \pm 8.6	0.0867
TR	38.6 \pm 0.5	38.4 \pm 0.7	38.3 \pm 0.7	0.6169
PAS	122.8 \pm 27.9	111.4 \pm 12.0	134.6 \pm 30.8	0.3278
PAD	71.6 \pm 11.8	69.0 \pm 10.5	71.0 \pm 20.8	0.9627
PAM	88.5 \pm 16.5	83.1 \pm 9.9	92.2 \pm 23.9	0.6837
Tiempo 3				
FC	67.2 \pm 12.6	68.6 \pm 12.5	83.8 \pm 9.0	0.0689
FV	23.4 \pm 3.7	13.0 \pm 2.4	11.0 \pm 5.2*	0.0020
TR	38.4 \pm 0.6	38.3 \pm 0.7	37.9 \pm 0.6	0.2911
PAS	112.6 \pm 18.7	115.6 \pm 14.1	124.0 \pm 20.0	0.1727
PAD	66.6 \pm 10.0	69.4 \pm 13.8	67.6 \pm 19.7	0.9169
PAM	81.8 \pm 11.7	75.9 \pm 15.6	86.4 \pm 19.0	0.7552
PAM	67.2 \pm 12.6	68.6 \pm 12.5	83.8 \pm 9.0	0.0689
Tiempo 4				
FC	69.0 \pm 7.7	67.6 \pm 15.5	77.4 \pm 12.8	0.4888
FV	24 \pm 4.7	12.6 \pm 2.8	11.8 \pm 4.7*	0.0166
TR	38.5 \pm 0.5	38.2 \pm 0.6	37.7 \pm 0.6	0.0801
PAS	125.6 \pm 27.0	106.4 \pm 14.4	121.6 \pm 25.4	0.4969
PAD	70.4 \pm 15.7	61.2 \pm 21.9	71.2 \pm 17.9	0.6838
PAM	88.5 \pm 17.9	76.0 \pm 19.0	88.0 \pm 19.6	0.6837

G1: grupo 1: control; G2: grupo 2 PEEP10 ; G3: grupo 3 PEEP20

aumenta la presión arterial media (Scharf e Ingram, 1977; Fessler *et al.*, 1991; Monge *et al.*, 2012); sin embargo, estudios similares demostraron que los incrementos de la presión tele-espiratoria de hasta 20 cmH₂O no generan alteraciones clínicas significativas en los parámetros micro circulatorios no invasivos (Buriticá *et al.*, 2019).

Se ha propuesto que las MRA disminuyen el gasto cardiaco y la presión arterial media con respecto al valor basal al momento del pico de presión a PEEP de 15 cmH₂O y durante la fase de descenso de la manobra, el gasto cardiaco continua bajo mientras que la presión arterial media puede normalizarse a valores de referencia (Canfrán, 2013).

Cuadro 2. Valores promedio \pm desviación estándar del Cambio del área fraccional (FAC), índice Tei para el corazón derecho (Tei-D), Excursión sistólica del anillo tricuspideo (TAPSE), Flujo E tricuspideo (Vel. E-D), Relación E/A transtricuspídea (Rel. E/A-D), e Índice de distensibilidad de la arteria pulmonar derecha (DAPD) en perros con reclutamiento alveolar en anestesia

Variable	G1	G2	G3	p<0.05
Tiempo 1				
FAC	49.1 \pm 17.9	44.3 \pm 13.4	49.5 \pm 27.2	0.5048
Tei-D	0.34 \pm 0.1	0.35 \pm 0.1	0.35 \pm 0.1	0.7454
TAPSE	1.4 \pm 0.4	1.4 \pm 0.3	1.3 \pm 0.2	0.7660
Vel. E - D	69.3 \pm 12.1	60.7 \pm 9.7	67.9 \pm 9.9	0.6273
Rel. E/A-D	1.6 \pm 0.2	1.7 \pm 0.3	1.7 \pm 0.2	0.7920
DAPD	31.8 \pm 9.6	30.7 \pm 6.7	31.8 \pm 7.4	0.8994
Tiempo 2				
FAC	41.8 \pm 19.9	44.4 \pm 13.9	42.5 \pm 8.3	0.6504
Tei-D	0.27 \pm 0.1	0.24 \pm 0.1	0.28 \pm 0.2	0.8577
TAPSE	1.4 \pm 0.1	1.4 \pm 0.3	1.6 \pm 0.2	0.3649
Vel. E - D	53.4 \pm 10.7	63.5 \pm 9.1	53.3 \pm 7.7	0.0935
Rel. E/A-D	1.5 \pm 0.2	1.6 \pm 0.4	1.4 \pm 0.4	0.4017
DAPD	34.7 \pm 3.8	37.1 \pm 13.9	36.9 \pm 13.9	0.3601
Tiempo 3				
FAC	61.1 \pm 24.1	47.4 \pm 19.9	43.5 \pm 9.0	0.9422
Tei-D	0.27 \pm 0.1	0.24 \pm 0.1	0.32 \pm 0.2	0.8213
TAPSE	1.3 \pm 0.3	1.4 \pm 0.3	1.5 \pm 0.6	0.9029
Vel. E - D	73.8 \pm 11.7	60.7 \pm 9.7	57.7 \pm 18.5	0.8980
Rel. E/A-D	1.8 \pm 0.5	1.7 \pm 0.3	1.4 \pm 0.3	0.3513
DAPD	30.6 \pm 5.8	32.7 \pm 8.9	29.1 \pm 9.7	0.7905
Tiempo 4				
FAC	50.5 \pm 16.7	48.7 \pm 23.0	50.7 \pm 17.5	0.7825
Tei-D	0.24 \pm 0.1	0.25 \pm 0.1	0.41 \pm 0.1	0.2234
TAPSE	1.3 \pm 0.3	1.4 \pm 0.1	1.6 \pm 0.4	0.3007
Vel. E - D	73.8 \pm 11.7	52.2 \pm 9.3	55.2 \pm 11.2	0.8690
Rel. E/A-D	1.8 \pm 0.5	1.4 \pm 0.3	1.7 \pm 0.4	0.6301
DAPD	30.6 \pm 5.8	34.8 \pm 13.2	37.6 \pm 9.7	0.7807

G1: grupo 1: control; G2: grupo 2 PEEP10 ; G3: grupo 3 PEEP20

Es probable que exista un efecto hemodinámico sobre el pico de acondicionamiento hemodinámico de las MRA; sin embargo, en este estudio, las maniobras realizadas tuvieron un mínimo efecto (no significativo estadísticamente), posiblemente por ser evaluadas en el periodo pos-reclutamiento temprano y no en el pico de acondicionamiento

hemodinámico, fenómeno dado probablemente por la adaptación circulatoria a la recuperación del gasto cardiaco pos-maniobra.

Las MRA progresivas presentan ciertas ventajas con respecto a las de capacidad vital ya que revierte el efecto en la presión auricular derecha durante el ciclo respirato-

rio, aumentando la presión auricular derecha durante la inspiración y disminuyendo durante la espiración (Mahmood y Pinsky, 2018). Además, la fase de pre-acondicionamiento hemodinámico, durante la cual se aumentan progresivamente la PEEP, y la presión inspiratoria máxima, dan tiempo al sistema cardiovascular del paciente para adaptarse a una mayor presión intratorácica, a la vez que permiten al anestesta monitorizar cualquier cambio en las variables hemodinámicas (Tusman *et al.*, 2022; Tsukamoto *et al.*, 2023). Por otra parte, un control límite sobre la presión PEEP alcanzada permite una adecuada aireación con regiones pulmonares no dependientes sin evidencia de hiperinflación (Sanchez *et al.*, 2024) y un amplio margen de seguridad durante el empleo de estas maniobras (Canfrán, 2013). No obstante, se debe tener en cuenta el tiempo de realización de la maniobra ya que un aumento constante en la presión vascular pulmonar y un fallo progresivo del ventrículo derecho puede dar lugar a la extravasación de fluidos en la microvasculatura (Duggan *et al.*, 2003).

Los autores consideran que dentro de las limitaciones del presente estudio se puede mencionar el reducido tamaño de la muestra en cada uno de los grupos de estudio. Por otra parte, los efectos mayores sobre la dinámica cardíaca probablemente se encuentren al pico de la MRA y, en este estudio, la colecta de la información fue realizada antes de iniciar la maniobra e inmediatamente después de terminarla, razón por la cual es probable no se evidencian efectos hemodinámicos mayores.

CONCLUSIONES

Las maniobras de reclutamiento alveolar cíclicas con incremento de la PEEP hasta 20 cmH₂O en pacientes sanos y normo-volémicos no afectaron significativamente la función sisto-diastólica del corazón después de realizada la maniobra de reclutamiento alveolar,

lo que refleja una respuesta adaptativa inmediata en el sistema cardiovascular a corto plazo; sin embargo, se requieren estudios en diferentes contextos clínicos que permitan sostener esta afirmación.

LITERATURA CITADA

1. **Bernabé L. 2017.** ¿Cuál es la relación entre el volumen tidal espiratorio medio y la tasa de aclaramiento de pCO₂ en los pacientes sometidos a ventilación mecánica no invasiva? Tesis Doctoral. España: Univ. de Murcia. 263 p.
2. **Buriticá EF, Echeverry DF, Ospina DA. 2019.** Efecto de dos maniobras cíclicas de reclutamiento alveolar sobre diversos parámetros de monitoreo microcirculatorio no invasivo en perros. *Rev UDCA Actual Divulg Cient* 22: e1150. doi: 10.31910/rudca.v22.n1.2019.1150
3. **Canfrán AS. 2013.** Efectos pulmonares y hemodinámicos del reclutamiento alveolar progresivo durante la anestesia en el perro. Tesis doctoral. España: Univ. Complutense de Madrid. 220 p.
4. **Cavalcanti AB, Suzumura ÉA, Laranjeira LN, Paisani DM, Damiani LP, Guimarães HP, Romano ER, et al. 2017.** Effect of lung recruitment and titrated positive end-expiratory pressure (PEEP) vs low PEEP on mortality in patients with acute respiratory distress syndrome: a randomized clinical trial. *JAMA* 318: 1335-1345. doi: 10.1001/jama.2017.14171
5. **Di Bella C, Vicenti C, Araos J, Lacitignola L, Fracassi L, Stabile M, Grasso S, et al. 2022.** Effects of two alveolar recruitment maneuvers in an «open-lung» approach during laparoscopy in dogs. *Front Vet Sci* 18: 904673. doi: 10.3389/fvets.2022.904673
6. **Duggan M, Kavanagh BP. 2005.** Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology* 102: 838-854. doi: 10.1097/00000542-200504000-00021

7. **Duggan M, McCaul CL, McNamara PJ, Engelberts D, Ackerley C, Kavanagh BP. 2003.** Atelectasis causes vascular leak and lethal right ventricular failure in uninjured rat lungs. *Am J Respir Crit Care Med* 167: 1633-1640. doi: 10.1164/rccm.200210-1215OC
8. **Ettinger SJ, Feldman EC, Coté E. 2017.** Textbook of veterinary internal medicine. 8° ed. St. Louis, Missouri, USA: Elsevier, 13642 p.
9. **Fessler HE, Brower RG, Wise RA, Permutt S. 1991.** Effects of positive end-expiratory pressure on the gradient for venous return. *Am Rev Respir Dis* 143: 19-24. doi: 10.1164/ajrccm/143.1.19
10. **Haddad FM, Doyle R, Murphy D, Hunt S. 2008a.** Right ventricular function in cardiovascular disease. Part II pathophysiology, clinical importance, and management of right ventricular failure. *Circulation* 117: 1717-1731. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653584
11. **Haddad FM, Hunt SA, Rosenthal DN, Murphy DJ. 2008b.** Right ventricular function in cardiovascular disease. Part I: anatomy, physiology, aging, and functional assessment of the right ventricle. *Circulation* 117: 1436-1448. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.653576
12. **Mahmood SS, Pinsky MR. 2018.** Heart-lung interactions during mechanical ventilation: the basics. *Ann Transl Med* 6: 349. doi: 10.21037/atm.2018.04.29
13. **Magnusson L, Spahn DR. 2003.** New concepts of atelectasis during general anesthesia. *Br J Anaesthesia* 91: 61-72. doi: 10.1093/bja/aeg085
14. **Matlu GM, Factor P. 2000.** Complications of mechanical ventilation. *Respir Care Clin N Am* 6: 213-252. doi: 10.1016/s1078-5337(05)70069-1
15. **Monge García MI, Gil Cano A, Gracia Romero M, Díaz Monrové JC. 2012.** Respiratory and hemodynamic changes during lung recruitment maneuvering through progressive increases and decreases in PEEP level. *Med Intensiva* 36: 77-88. doi: 10.1016/j.medin.2011.08.008
16. **Ochagavia A, Blanch L, López AJ. 2009.** Utilidad de las maniobras de reclutamiento (contra). *Med Intensiva* 33: 139-143. doi 10.1016/S0210-5691(09)-70947-7
17. **Ospina DA, Buriticá EF, Echeverry DF, Villanueva CL, Rondón IS. 2014.** Maniobras de reclutamiento alveolar en el control de la atelectasia pulmonar. *Vet Zootec* 8: 17-34. doi 10.17151/vetzo.2014.8.1.2
18. **Sanchez AF, Ambrósio AM, Fonseca Pinto ACBC, Pereira MAA, Andrade FSRM, Rodrigues RR, de Carvalho Martins AR, et al. 2024.** Effects of a stepwise alveolar recruitment maneuver on lung volume distribution in dogs assessed by computed tomography. *Front Vet Sci* 10: 2023. doi: 10.3389/fvets.2023.1232635
19. **Schober KE. 2005.** Doppler echocardiographic assessment of ventricular function time to move to the right? *J Vet Intern Med* 19: 785-787. doi: 10.1892/0891-6640(2005)19[785:-edeavv]2.0.co;2
20. **Slobod D, Assanangkornchai N, Alhazza M, Mettasittigorn P, Magder S. 2022.** Right ventricular loading by lung inflation during controlled mechanical ventilation. *Am J Resp Crit Care Med* 250: 1311-1319. doi: 10.1164/rccm.202111-2483OC
21. **Scharf SM, Ingram RH. 1977.** Effects of decreasing lung compliance with oleic acid on the cardiovascular response to PEEP. *Am J Physiol* 233: 635-641. doi: 10.1152/ajpheart.1977.233.6.H635
22. **Staffieri F, De Monte V, De Marzo C, Scarscia F, Crovace A. 2010.** Alveolar recruiting maneuver in dogs under general anesthesia: effects on alveolar ventilation, gas exchange, and respiratory mechanics. *Vet Res Commun* 34: S131-S134. doi: 10.1007/s11259-010-9405-2
23. **Tsukamoto M, Goto M, Hitosugi T, Matsuo K, Yokoyama T. 2023.** Comparison of the tidal volume by the recruit-

- ment maneuver combined with positive end-expiratory pressure for mechanically ventilated children. *Sci Rep* 13: 18690. doi: 10.1038/s41598-023-45441-4
24. **Tusman G, Böhm SH, Melkun F, Staltari D, Quinzio C, Nador C, Turchetto E. 2022.** Alveolar recruitment strategy increases arterial oxygenation during one-lung ventilation. *Ann Thorac Surg* 73: 1204-1209. doi: 10.1016/S0003-4975(01)03624-4
25. **Visser LC, Scansen BA, Schober KE, Bonagura JD. 2015.** Echocardiographic assessment of right ventricular systolic function in conscious healthy dogs: Repeatability and reference intervals. *J Vet Cardiol* 17: 83-96. doi: 10.1016/j.jvc.2014.10.003