

Correlación de PaO₂/FiO₂, SaO₂/FiO₂ y SpO₂/FiO₂ en caninos sanos ubicados a elevada altitud

Correlation of PaO₂/FiO₂, SaO₂/FiO₂ and SpO₂/FiO₂ in healthy canines located at high altitude

Jorge Raúl Hortúa-Pulido*^{ORCID}, Paula María Bermúdez-Duarte^{ORCID}, Ernesto Andrés Dalmau-Barros^{ORCID}, Juan Carlos Mancipe^{ORCID},
Edgar Iván Martín-Abaunza^{ORCID}

Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Medicina Veterinaria. Bogotá, Colombia.

*Autor para correspondencia: jhortua06@unisalle.edu.co

RESUMEN

La presión arterial de oxígeno (PaO₂) disminuye a medida que se incrementa la altitud sobre el nivel del mar. Los valores esperados de saturación arterial de oxígeno (SaO₂) y otros índices respiratorios dependientes de la PaO₂ se modifican con la altitud, al igual que la saturación periférica de oxígeno (SpO₂). Actualmente existen pocos datos publicados sobre índices de función pulmonar en el contexto clínico de caninos que viven a elevada altitud respirando una fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) de 21%. El objetivo de este estudio fue identificar los valores de PaO₂/FiO₂ (PF), SaO₂/FiO₂ (SF) y SpO₂/FiO₂ (SPF) y su correlación, en caninos sanos viviendo a 2.567 m.s.n.m. Se recolectaron datos de gases arteriales y pulso-oximetría en 17 caninos sanos. La recolección de muestras arteriales se realizó 5 a 10 min posterior a la administración de acepromacina endovenosa a 0,025 mg·kg⁻¹. Se identificaron valores promedios de PaO₂ de 67 ± 6,87 mmHg y de 91,67 ± 2,33 % y 90,41 ± 3,92 % para SaO₂ y SpO₂, respectivamente. Para los índices de PF, SF y SPF se obtuvieron valores de 319,08 ± 32,71, 436,53 ± 11,1 y 430,53 ± 18,67 respectivamente. La correlación entre PF y SF fue buena (r: 0,94; P=0,0001) y entre PF y SPF fue débil (r: 0,35; P=0,16). En conclusión, los valores de los índices PF, SF y SPF son menores a los valores previamente reportados a baja altitud. Se plantea que la altitud sobre el nivel del mar, el grado de la hipoxemia y la técnica de pulso-oximetría pueden afectar la correlación entre PF y SPF.

Palabras clave: Perros; hipoxia hipobárica; gases arteriales; pulso oximetría

ABSTRACT

Arterial oxygen pressure (PaO₂) decreases with increasing altitude above sea level; therefore, the expected values of arterial oxygen saturation (SaO₂) and other PaO₂-dependent respiratory indices change with altitude, as well as peripheral oxygen saturation (SpO₂). Currently there are few published data on lung function indices in the clinical setting of canines living at high altitude while breath fraction of inspired oxygen (FiO₂) of 21%. This study aimed to identify PaO₂/FiO₂ (PF), SaO₂/FiO₂ (SF) and SpO₂/FiO₂ (SPF) values and their correlation, in a sample of healthy canines living at 2567 masl. Arterial gas and pulse oximetry data were collected in 17 clinically healthy canines. Arterial samples were collected 5 to 10 min after administration of intravenous acepromazine at 0.025 mg·kg⁻¹. Mean PaO₂ values of 67 ± 6.87 mmHg and 91.67 ± 2.33 % and 90.41 ± 3.92 % were identified for SaO₂ and SpO₂, respectively. For the PF, SF and SPF indices, values of 319.08 ± 32.71, 436.53 ± 11.1 and 430.53 ± 18.67 were obtained, respectively. The correlation between PF and SF was good (r: 0.94; P=0.0001) and between PF and SPF was weak (r: 0.35; P=0.16). In conclusion, the values of the PF, SF and SPF indices are lower than the values previously reported at low altitude. It is suggested that the altitude above sea level, the degree of hypoxemia and the pulse oximetry technique may affect the correlation between PF and SPF.

Key words: Dogs; hypobaric hypoxia; arterial gases; pulse oximetry

INTRODUCCIÓN

La hipoxemia se define como una reducción de oxígeno a nivel arterial; ésta ocurre por eventos sistémicos como baja oferta de oxígeno en el aire inspirado, hipoventilación y/o disfunción respiratoria [1]. Su presentación es común en los caninos, ocurriendo en el 25 % de casos de trauma agudo [2] y entre el 20 al 62 % de aquellos que sometidos a procedimientos quirúrgicos [3]. La prueba de oro para la identificación de la hipoxemia es la gasometría arterial [4]. Ésta mide directamente la presión parcial de oxígeno (PaO_2) y la saturación de hemoglobina con oxígeno (SaO_2) [5].

No obstante, la obtención de sangre arterial requiere entrenamiento, puede producir dolor, hematomas e infección en el sitio de punción y, particularmente, resulta impráctico en pacientes con falla respiratoria [6, 7]. Por tanto, la medición de la saturación periférica de oxígeno por pulsioximetría (SpO_2) surge como una alternativa menos invasiva, trazable en el tiempo, económica y ampliamente disponible para la evaluación de estos pacientes [6, 8, 9]. En medicina humana, diversos estudios demuestran una correlación adecuada entre PaO_2 y SpO_2 en adultos y niños respirando una fracción inspirada de oxígeno (FiO_2) de 21–100 % [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. En caninos, dicha relación ha demostrado ser suficiente en individuos sanos y con hipoxemia, respirando aire ambiental o suplementados con O_2 [1, 6, 17]. De tal manera, que la relación aun es cuestionable para recomendar el SpO_2 como sustituto del PaO_2 [18, 19] y por tanto se justifica la investigación de su correlación.

A elevada altitud, la relación entre PaO_2 y SpO_2 se ha estudiado en humanos [20, 21], mas no en caninos. De los estudios en medicina humana se ha identificado que el SpO_2 es una herramienta limitada como predictor de hipoxemia inducida por altitud; especialmente, cuando SpO_2 es menor a 80–90 % [5, 7].

Por otro lado, para la evaluación de la función pulmonar, resulta útil estimar los índices de oxigenación como el $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (PF), $\text{SaO}_2/\text{FiO}_2$ (SF) y $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ (SPF), especialmente en el monitoreo terapéutico a una FiO_2 superior al 21 % [22]. Puesto que dichos índices dependen de la PaO_2 , si ocurre hipoxemia por elevación de altitud se esperará también una reducción de los valores de PF, SF y SPF. Así pues, un mismo valor de PF determinado a baja y elevada altitud, representa una derivación pulmonar de menor grado a elevada altitud [23, 24]. Sin embargo, ese valor en altitud también podría estar más cercano a la presentación de injuria pulmonar aguda (ALI, por sus siglas en inglés *acute lung injury*) o síndrome de distrés respiratorio agudo (ARDS, por sus siglas en inglés *acute respiratory distress syndrome*) bajo ciertos mecanismos de enfermedad que conlleven a la hipoxemia severa [25]. Así pues, comprender la dinámica del PF, SF y SPF en condiciones de altitud en caninos sanos es útil para la interpretación de la hipoxemia por disfunción respiratoria. Por tanto, el objetivo de este estudio fue identificar los valores de PaO_2 , SaO_2 , SpO_2 , $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (PF), $\text{SaO}_2/\text{FiO}_2$ (SF) y $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ (SPF) así como la correlación entre PF, SF y SPF en caninos sanos viviendo a 2.567 m.s.n.m.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consistió en una investigación de cohorte prospectivo, realizado en la ciudad de Bogotá, Colombia, altitud promedio de 2.567 m.s.n.m. y temperatura media de 15,6°C. El protocolo para el

uso y cuidado de animales fue aprobado por el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales (CICUA) de la Universidad de la Salle, bajo el registro 081. Previo a la inclusión de cada paciente, se solicitó el consentimiento informado a cada tutor responsable de los animales incluidos.

Recopilación de los datos

Se recopilaban datos de caninos sanos al examen físico y exámenes de laboratorio de rutina (hemograma, albúmina, creatinina, ALT y glucosa), aclimatados a la altitud de Bogotá, con edades de entre 2 a 11 años y que fueran a ser sometidos a procedimientos anestésicos o quirúrgicos electivos (radiografías bajo sedación, esterilización, procedimientos dentales y ortopédicos). Los criterios de exclusión fueron animales con historia de enfermedad hemática, respiratoria, cardiovascular u oncológica y hembras gestantes o lactantes. No existió discriminación por sexo, edad o raza. Todos los caninos incluidos contaron con una evaluación preanestésica según lo establecido por la Asociación Americana de Anestesiología (ASA) I o II previo a la premedicación anestésica [26].

Obtención y procesamiento de la muestra de sangre arterial

Para la obtención de sangre arterial todos los pacientes se encontraban en un ambiente tranquilo respirando aire ambiental (FiO_2 : 21 %). Todos los individuos fueron premedicados con acepromacina a dosis de 0,025 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, vía intravenosa 5 a 10 min antes de la toma de sangre arterial. Una cantidad aproximada de 0,5 mL de sangre fue tomada de la arteria femoral usando jeringa plástica de 1 mL, aguja 27G y 1,5 pulgadas, según la técnica descrita previamente por Hoareau *et al.* y Holowaychuk *et al.* [27, 28]. Cada jeringa fue preparada aspirando heparina sódica líquida 5.000 $\text{UI}\cdot\text{mL}^{-1}$, retirando el aire y el exceso de heparina del cuerpo de la jeringa con movimientos del embolo en 10 ocasiones, según el protocolo previamente descrito por Wilkins *et al.* [29].

El procesamiento de cada muestra fue entre 1 a 5 min posteriores a su colección minimizando la exposición al aire ambiental, cerciorándose de la ausencia de burbujas en la muestra recolectada. Se utilizó un analizador portátil para obtener datos de PaO_2 y SaO_2 (Enterprise point-of-care blood analysis system; Epocal Inc®, Siemens Healthcare Diagnostics, EUA). Todas las muestras fueron corregidas con la temperatura del paciente, medida transrectalmente justo en el momento de la punción arterial, con termómetro digital (Omron®, MC343F, EUA). Simultáneamente a la obtención de la muestra de sangre arterial, se obtuvieron datos de SpO_2 con oxímetro de pulso portátil (Portable Analyser, V1030, reflectance oximetry sensor, Surgivet®, Smiths Medical, EUA). La sonda de pulso oximetría fue localizada a conveniencia en cada paciente (mucosa labial, pabellón auricular o lengua); se comprobó la concordancia con la frecuencia cardíaca previo a su registro consignando el valor más estable durante la lectura. El PF, SF y SPF se calcularon del cociente entre $\text{PaO}_2/0,21$, $\text{SaO}_2/0,21$ y $\text{SpO}_2/0,21$, dada la FiO_2 constante de 21 %.

Análisis estadístico

Todas las variables ordinales y continuas fueron analizadas con estadística descriptiva (promedio y desviación estándar); la distribución normal fue estimada con la prueba de Shapiro–Wilk. Se estimó la correlación de los valores obtenidos de PaO_2 , SaO_2 , SpO_2 y

valores calculados de PF, SF y SPF usando una prueba de Pearson. La significancia estadística fue definida con un valor *P* menor a 0,05. El análisis estadístico se realizó utilizando un software comercial (Statistix®, Analytical Software. Tallahassee, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron datos de 17 caninos; entre ellos 6 machos (esterilizados, 5; enteros, 1) y 11 hembras (esterilizadas, 8; enteras, 3) de razas variadas (Mestiza, n: 6; Shih-tzu, n: 2; Bulldog inglés, n: 2; Doberman Pinscher, n:1; West Highland terrier, n: 1; Golden Retriever, n: 1; Border Collie, n: 1; Bulldog francés, n: 1; Boston terrier, n: 1; Yorkshire terrier, n: 1). En la TABLA I se presentan datos que caracterizan la población de estudio y los valores obtenidos de los gases arteriales. La correlación entre las variables obtenidas se presenta en la TABLA II y FIGS. 1 y 2.

TABLA I
Caracterización de una población de caninos sanos que viven a elevada altitud

Variable	Promedio + DV	Variable	Promedio + DV
Peso	15,835 ± 11,087	PaO ₂	67,006 ± 6,8707
Edad	6,2353 ± 2,8620	SaO ₂	91,671 ± 2,3318
FC	133,88 ± 30,641	SpO ₂	90,412 ± 3,9220
FR	45,588 ± 22,735	PF	319,08 ± 32,718
T°	38,382 ± 0,5457	SF	436,53 ± 11,104
PAS	111,69 ± 19,942	SPF	430,53 ± 18,676

DV: desviación estándar, FC: frecuencia cardíaca, FR: frecuencia respiratoria, T°: temperatura, PAS: presión arterial sistólica, PF: PaO₂/FiO₂, SF: SaO₂/FiO₂, SPF: SpO₂/FiO₂.

TABLA II
Correlación entre las variables obtenidas de gases arteriales y pulso-oximetría en caninos sanos que viven a elevada altitud

	SaO ₂	Valor P	SpO ₂	Valor P
PaO ₂ (mm Hg)	0,9473	0,0001	0,3543	0,1629
	SF		SPF	
PF	0,9473	0,0001	0,3543	0,1629

PaO₂: Presión arterial del oxígeno, SaO₂: Saturación arterial de oxígeno, SpO₂: Saturación periférica de oxígeno, PF: PaO₂/FiO₂, SF: SaO₂/FiO₂, SPF: SpO₂/FiO₂

Este estudio identificó valores de PF, SF, SPF en caninos sanos viviendo a una altitud de 2.567 msnm. Se corroboró, además que, para esta población, la correlación entre PF y SF es fuerte; no obstante, la correlación entre PF y SPF fue débil y sin significancia estadística.

Conocer los valores de PF esperados en altitud en caninos sanos es útil para identificar la severidad de la hipoxemia y determinar el grado de deterioro en la oxigenación dentro del abordaje diagnóstico de caninos con anomalías respiratorias. En medicina veterinaria existen criterios para definir la presentación de vet-ALI y vet-ARDS en pacientes con falla respiratoria en condiciones de baja altitud, uno de estos es la comprobación del intercambio gaseoso ineficiente en los pulmones [30]. Así, una

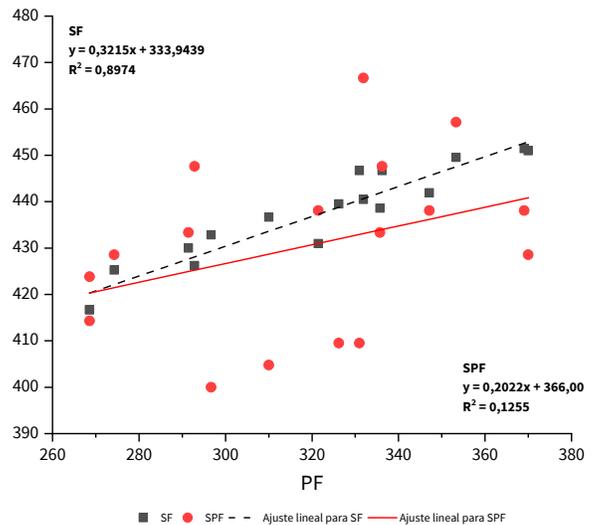


FIGURA 1. Correlación entre PaO₂ (presión arterial de oxígeno), SaO₂ (saturación arterial de oxígeno) y SpO₂ (Saturación periférica de oxígeno) en caninos sanos que viven a elevada altitud

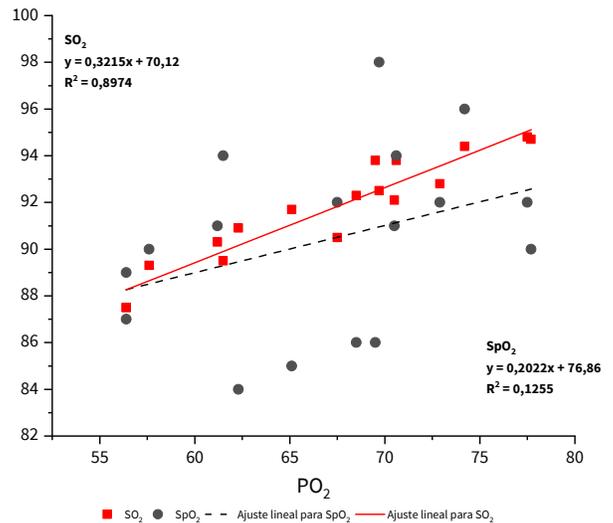


FIGURA 2. Correlación entre PF (PaO₂/FiO₂), SF (SaO₂/FiO₂) y SPF (SpO₂/FiO₂) en caninos sanos que viven a elevada altitud

herramienta diagnóstica recomendada es la estimación del índice PF. Teniendo en cuenta que el valor mínimo de PaO₂ a una FiO₂ de 21% es de 80 mm Hg, los puntos de corte para declarar vet-ALI y vet-ARDS son valores de PF menor a 300 y PF menor a 200, respectivamente [30]. En este contexto, con los resultados de este estudio es evidente que los puntos de corte para definir vet-ALI y vet-ARDS en altitud deben ajustarse. En medicina humana, algunas investigaciones han determinado intervalos de referencia a diferentes escalas de altitud [24, 25].

Complementario a lo anterior, estudios enfocados en comprender el comportamiento de la oxigenación en altitud de individuos sanos, han demostrado que mientras el grado de derivación pulmonar se incrementa, el PF se reduce [23]; así también, se ha identificado que mientras la altitud incrementa, el PF se reduce pese a un grado de derivación pulmonar constante. Entonces, tanto un grado mayor de derivación pulmonar como la altitud pueden reducir el PF; no obstante, el impacto de la altitud sobre la reducción del PF disminuye mientras el grado de la derivación pulmonar se incrementa [23]. Lo anterior, puede explicar el menor valor de PF obtenido en caninos sanos en este estudio y permite suponer que la reducción del PF esperable a cierto grado de derivación pulmonar, sea menor en condiciones de altitud que a nivel de mar. En otras palabras, entre más severo sea el grado de derivación pulmonar, el valor esperado de PF será similar a baja y elevada altitud. Se podría estimar que la interpretación de PF entre 300 y 200 en altitud puede implicar un grado leve de derivación pulmonar (5–15% aproximado), mientras que a baja altitud el mismo rango sugiera una derivación pulmonar de tipo moderado (20–25% aproximado). Sin embargo, un PF entre 200 y 100 en altitud puede implicar un grado de derivación pulmonar con tendencia a empeorar de forma más acelerada (entre 15–25% aproximado) comparado con el mismo valor a baja altitud (25–30% aproximado). Finalmente, un PF entre 100 y 50 en altitud implicaría un grado de derivación pulmonar entre 25 y 50% y en baja altitud una derivación entre 30–50%. La deducción más simple sugiere que a un PF determinado (menor de 300), el grado de derivación pulmonar es mayor a nivel del mar vs gran altitud; no obstante, el progreso de la derivación pulmonar es más acelerado con la caída de PF en altitud vs a nivel del mar. Esta hipótesis es consistente con las observaciones de Zhang *et al.* [25] que sugieren una progresión acelerada de ALI/ARDS en elevada altitud por un retraso en el diagnóstico, sugiriendo un grado más severo de derivación pulmonar con caídas de menor magnitud en el PF en condiciones de altitud.

Por otro lado, en este estudio la correlación entre PF y SF fue buena, lo que coincide con previas investigaciones. En medicina humana y en caninos se ha identificado que la correlación entre PF y SF es fuerte (entre 0,9 a 0,94) y por ende podría reemplazar la medición directa de PaO₂ en condiciones de FiO₂ de 21 a 37% [1] y elevada altitud [20, 31, 32, 33]. Incluso, en medicina humana, se han estimado rangos de equivalencia de SF para un PF dado. Un SF de 201–248 se corresponde con un PF menor o igual a 200 como criterio para el diagnóstico de ARDS (Sensibilidad del 68–85% y especificidad del 47–56%) y un SF de 253–357 equivalente a PF menor o igual a 300 como criterio para la presentación de ALI (Sensibilidad del 86–91% y especificidad del 84–85%) [12, 14, 16, 34, 35, 36, 37]

En esta población de caninos sanos la correlación entre PF y SPF fue débil. Así, el cálculo de SPF parece no ser un sustituto adecuado en condiciones de altitud, mientras la PaO₂ permanezca entre 67 ± 6,87 mmHg. En medicina humana y modelos suinos (*Sus scrofa domestica*), la correlación entre PF y SPF a baja altitud se ha estimado en una miríada de investigaciones donde existen grados variados de hipoxemia por disfunción pulmonar [10, 14, 16, 38]. A elevada altitud en pacientes con hipoxemia severa la correlación también se ha evaluado [20]. De dichos estudios, se ha concluido que la correlación entre PF y SPF es adecuada y suficiente para emplear el SPF como sustituto de PF. Asimismo,

en caninos, la correlación entre PF y SPF ha sido moderada y aceptable para que el SPF sea empleado como sustituto de PF en individuos hipoxémicos y con requerimiento de O₂ [1, 6, 39]. En contraste, otras investigaciones han estimado una ausencia de correlación entre PaO₂ y SpO₂ y por ende entre PF y SPF en caninos sin hipoxemia severa [18, 19]. De lo anterior, surge la observación de que a medida que la hipoxemia es más severa, la correlación entre PF y SPF es mejor; por lo tanto, se justifica continuar la investigación de esta relación en condiciones de hipoxemia espontánea moderada y severa en altitud.

Profundizando en la explicación de la ausencia de correlación entre PF y SPF en este estudio, se ofrecen tres hipótesis, especialmente teniendo en cuenta que la relación entre PF y FiO₂ es compleja, no es lineal, ni constante [1, 23]. En primera instancia, la correlación entre PaO₂ y SpO₂ puede modificarse con la altitud. Así, del análisis de la curva de disociación de hemoglobina, por su configuración sigmoidea, se puede inferir que la correlación entre PaO₂ y SaO₂ es lineal mientras la SaO₂ oscile entre 90 y 97%; la SaO₂ cambia mínimamente en respuesta a PaO₂ elevadas, pero puede variar casi 10 veces más en respuesta a cambios sutiles de PaO₂ cuando permanece en el rango de 20 a 60 mm de Hg [5]. Entonces, a elevada altitud, pequeñas fluctuaciones de PaO₂ pueden resultar en grandes variaciones de SpO₂, incluso cambios transitorios en el patrón ventilatorio o el movimiento podrían afectar la lectura [5]. Pese a que en este estudio se realizó un esfuerzo en consignar el valor más constante de la SpO₂ registrada al momento de la punción arterial, posibles sesgos en la obtención de la lectura no podrían descartarse. Además, la respuesta ventilatoria a la hipoxia hipobárica puede variar ampliamente entre individuos; por tanto, puede esperarse un amplio rango de SaO₂ aceptable en individuos sanos y como resultado una expresión mayor del efecto Haldane [40, 41]. Adicionalmente, el pH, la temperatura, la PaCO₂ y la concentración de 2–3 DPG pueden modificar la curva de disociación de hemoglobina; no obstante, se puede asumir que ninguna de estas variables fue anormal en los caninos clínicamente sanos de este estudio.

En segundo lugar, es posible considerar que la correlación entre PaO₂ y SpO₂ se afecte por el grado de hipoxia. De lo anterior, se deduciría que además de la altitud, la severidad de la hipoxemia también impacta la correlación de PaO₂ con SpO₂. Lo anterior se sustentaría teniendo en cuenta que los estudios antes mencionados identifican una buena correlación entre PF y SPF en pacientes con alteración del intercambio gaseoso pulmonar. Incluso, la correlación entre PF y SPF detectada por Ortiz *et al.* [20] a elevada altitud (2.600 m.s.n.m) ocurrió en pacientes ventilados, cuya FiO₂ y PaCO₂ pueden controlarse. En contraste, los hallazgos aquí reportados, pertenecen a pacientes sanos, con FiO₂ ambiental y con variaciones posibles en el patrón ventilatorio. A esta hipótesis se suma la tendencia observada en este estudio a reducir la dispersión de datos cuando el PF y el SPF tienden a valores más bajos (FIG. 2), lo cual resalta la necesidad de probar la correlación de PF y SPF en caninos con disfunción pulmonar espontánea en condiciones de altitud. Farrell *et al.* [19] notaron que la correlación entre PaO₂ y SpO₂ mejoraba en caninos con hipoxia por disfunción pulmonar sometidos a ventilación asistida [19].

La tercera explicación se relaciona con la precisión de la pulsioximetría para predecir la PaO₂. Valores altos de SpO₂ tienden a sobrestimar la PaO₂ y valores bajos de SpO₂ tienden a

subestimar la PaO₂ [19, 40]. En condiciones de elevada altitud, dichas variaciones pueden hacer menos confiable la toma de decisiones clínicas basadas en la pulso-oximetría [40], pues la precisión y exactitud de SpO₂ menor a 80–90 % es inferior [5, 42]. Adicionalmente, la técnica de pulsioximetría en si misma contiene varias limitaciones que podrían afectar la correlación. El color y grosor de la mucosa, el movimiento del paciente, la temperatura local (vasoconstricción asociada a hipoperfusión o hipotensión), dishemoglobinemias, anemia severa, excesiva luz ambiental, etc., son factores que reducen la precisión de la técnica para predecir la PaO₂ [7, 43]. Por tanto, en medicina de altitud se ha considerado que la interpretación de la SpO₂ debería estimar un rango esperado más que sutiles modificaciones en el tiempo para optimizar la toma de decisiones clínicas [5]. La administración de acepromacina puede causar cambios potenciales a nivel cardiovascular (hipotensión), además de disminuir de forma marcada la frecuencia respiratoria y la ventilación minuto [1], pero se ha demostrado que la dosis administrada en este estudio no tiene injerencia directa sobre la frecuencia respiratoria o la gasometría arterial [1, 44]

Finalmente, el número de pacientes incluido en este estudio es escaso para inferir generalizaciones en la población. Adicionalmente presenta otras limitaciones que deben tenerse en cuenta en investigaciones futuras. Por ejemplo, el lugar de obtención de SpO₂ no fue estandarizado dadas las características individuales de cada canino (temperamento, raza, color de las mucosas, tamaño, entre otros). También, pese a que la comparación de PF, SF, y SPF entre animales sanos y con disfunción respiratoria resulta valiosa para estimar indirectamente el grado de derivación pulmonar, las tendencias aquí reportadas deben corroborarse en caninos con patologías respiratorias primarias. Dados los hallazgos en investigaciones previas, sería valioso conocer si la correlación entre PF y SPF puede conservarse mientras exista suplementación con O₂ y la ventilación sea asistida en eventos de hipoxemia espontánea.

CONCLUSIÓN

En conclusión, este estudio determinó que los valores de PF, SF y SPF en caninos sanos son menores comparados con los registrados a baja altitud. También, se identificó que la correlación entre PF y SF es buena y su interpretación es equiparable. Sin embargo, la correlación entre PF y SPF fue débil en las condiciones de este estudio. Se propone que la correlación entre PF y SPF se afectó por el efecto sumado de la elevación, el grado leve de hipoxemia y las limitaciones inherentes a la técnica de pulsioximetría.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Fuentes de financiación

Para la realización de este estudio se contó con la participación del laboratorio veterinario Reacvet S.A.S, Bogotá, Colombia, que suministró las tarjetas de prueba epoc^o BGEM para el analizador portátil usado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo multidisciplinario que conforma la Clínica Veterinaria de La Universidad de La Salle por disponer todo lo necesario para la realización del estudio y su exitosa conclusión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Carver A, Bragg R, Sullivan L. Evaluation of PaO₂/FiO₂ and SaO₂/FiO₂ ratios in postoperative dogs recovering on room air or nasal oxygen insufflation. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* [Internet]. 2016; 26(3):437–445 doi: <https://doi.org/n4pg>
- [2] Buttrick ML, Riedesel DH, Selcer BA, Barstad RD. Hypoxemia in the acutely traumatized canine patient. *J. Vet. Emerg. Crit. Care.* [Internet]. 1992; 2:73–79. doi: <https://doi.org/bhjn9d>
- [3] Piemontese C, Stabile M, Di-Bella C, Scardia A, Vicenti C, Acquafredda C, Crovace A, Lacitignola L, Staffieri F. The incidence of hypoxemia in dogs recovering from general anesthesia detected with pulse-oximetry and related risk factors. *Vet. J.* [Internet]. 2024; 305:106–135. doi: <https://doi.org/n4ph>
- [4] Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, Carlet J, Falke K, Hudson L, Lamy M, LeGall JR, Roger L, Morris A, Spragg R. The American-European consensus conference on ARDS definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* [Internet]. 1994; 149(3 Pt 1):819–824. doi: <https://doi.org/ggc7hp>
- [5] Luks AM, Swenson ER. Pulse oximetry at high altitude. *High Alt. Med. Biol.* [Internet]. 2011; 12(2):109–119. doi: <https://doi.org/fwnz53>
- [6] Calabro JM, Prittie JE, Palma DA. Preliminary evaluation of the utility of comparing SpO₂/FiO₂ and PaO₂/FiO₂ ratios in dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* [Internet]. 2013; 23(3):280–285 doi: <https://doi.org/n4pj>
- [7] De Carvalho EB, Sobreira-Leite TR, de Magalhães-Sacramento RF, Loureiro do-Nascimento PR, Samary CS, Macedo-Rocco PR, Silva PL. Justificativa e limitações da SpO₂/FiO₂ como possível substituta da PaO₂/FiO₂ em diferentes cenários pré-clínicos e clínicos. *Rev. Bras. Ter. Intensiva* [Internet]. 2022; 34(1):185–196 doi: <https://doi.org/n4pk>
- [8] Matthews NS, Hartke S, Allen-Jr JC. An evaluation of pulse oximeters in dogs, cats and horses. *Vet. Anaesth. Analg.* [Internet]. 2003; 30(1):3–14 doi: <https://doi.org/cbs2wn>
- [9] Zanusso F, De Benedictis GM, Zemko P, Bellini L. Non-invasive assessment of oxygenation status using the oxygen reserve index in dogs. *BMC. Vet. Res.* [Internet]. 2023; 19(1):241. doi: <https://doi.org/n4pm>
- [10] Bilan N, Dastranji A, Behbahani-Ghalehgholab A. Comparison of the PaO₂/FiO₂ ratio and the PaO₂/FiO₂ ratio in patients with acute lung injury or acute respiratory distress syndrome. *J. Cardiovasc. Thorac. Res.* [Internet]. 2015; 7(1):28–31 doi: <https://doi.org/gfwrkx>

- [11] Chen W, Janz DR, Shaver CM, Bernard GR, Bastarache JA, Ware LB. Clinical characteristics and outcomes are similar in ARDS diagnosed by oxygen saturation/FiO₂ ratio compared with PaO₂/FiO₂ Ratio. *Chest* [Internet]. 2015; 148(6):1477–1483. doi: <https://doi.org/f76v66>
- [12] Khemani RG, Patel NR, Bart RD, Newth CJL. Comparison of the pulse oximetric saturation/fraction of inspired oxygen ratio and the PaO₂/fraction of inspired oxygen ratio in children. *Chest*. [Internet]. 2009; 135(3):662–668. doi: <https://doi.org/b9mfh3>
- [13] Lobete C, Medina A, Rey C, Mayordomo–Colunga J, Concha A, Menéndez S. Correlation of oxygen saturation as measured by pulse oximetry/fraction of inspired oxygen ratio with PaO₂/fraction of inspired oxygen ratio in a heterogeneous sample of critically ill children. *J. Crit. Care*. [Internet]. 2013; 28(4):538.e1–538.e7. doi: <https://doi.org/f27q2r>
- [14] Rice TW, Wheeler AP, Bernard GR, Hayden DL, Schoenfeld DA, Ware LB. Comparison of the SpO₂/FiO₂ ratio and the PaO₂/FiO₂ ratio in patients with acute lung injury or ARDS. *Chest* [Internet]. 2007; 132(2):410–417. doi: <https://doi.org/c5xv5f>
- [15] Rottgering JG, De Man AME, Schuurs TC, Wils E–J, Daniels JM, Van den – Aardweg JG, Girbes ARJ, Smulders YM. Determining a target SpO₂ to maintain PaO₂ within a physiological range. *PLoS One* [Internet]. 2021; 16(5):e0250740. doi: <https://doi.org/n4pn>
- [16] Thomas NJ, Shaffer ML, Willson DF, Shih M–C, Curley MAQ. Defining acute lung disease in children with the oxygenation saturation index. *Pediatr. Crit. Care Med*. [Internet]. 2010; 11(1):12–17. doi: <https://doi.org/cg5wxr>
- [17] Fairman NB. Evaluation of pulse oximetry as a continuous monitoring technique in critically intensive ill dogs in the small animal care unit. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* [Internet]. 1992; 2(2):50–56. doi: <https://doi.org/cgnv8n>
- [18] Arulpagasam S, Lux C, Odunayo A, Biskup J, Sun X. Evaluation of pulse oximetry in healthy brachycephalic dogs. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* [Internet]. 2018; 54(6):344–350. doi: <https://doi.org/gfm3bg>
- [19] Farrell KS, Hopper K, Cagle LA, Epstein SE. Evaluation of pulse oximetry as a surrogate for PaO₂ in awake dogs breathing room air and anesthetized dogs on mechanical ventilation. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* [Internet]. 2019; 29(6):1–8. doi: <https://doi.org/n4pp>
- [20] Ortiz G, Bastidas A, Garay–Fernández M, Lara A, Benavides M, Rocha E, Buitrago A, Díaz G, Ordóñez J, Reyes LF. Correlation and validity of imputed PaO₂/FiO₂ and SpO₂/FiO₂ in patients with invasive mechanical ventilation at 2600 m above sea level. *Med. Intensiva* [Internet]. 2022; 46(9):501–507. doi: <https://doi.org/n4pq>
- [21] López–Vergara MI. Correlación y concordancia por diferentes métodos del índice PaO₂/FiO₂ con el índice SaO₂/FiO₂ a gran altitud en la unidad de cuidado intensivo del Hospital Santa Clara de Bogotá, entre junio de 2016 a junio de 2018 [tesis de grado en Internet]. Bogotá (Colombia): Universidad El Bosque; 2019 [consultado 11 Jul. 2023]. 60 p. Disponible en: <https://n9.cl/2vnaf>.
- [22] Bermúdez–Duarte PM, Dalmau–Barros EA. Interpretation of arterial gases in canines with respiratory pathologies. *Rev. Vet. (UNNE)*. [Internet]. 2024; 35(1):79–92. doi: <https://doi.org/n4pr>
- [23] Pérez–Padilla JR. Altitude, the ratio of PaO₂ to fraction of inspired oxygen, and shunt: impact on the assessment of acute lung injury. *Arch. Bronconeumo.* [Internet]. 2004; 40(10):459–462. doi: <https://doi.org/crrnxc>
- [24] Liu X, Pan C, Si L, Tong S, Niu Y, Qiu H, Gan G. Definition of acute respiratory distress syndrome on the plateau of Xining, Qinghai: A verification of the Berlin definition altitude–PaO₂/FiO₂–corrected criteria. *Front. Med.* [Internet]. 2022; 9:648835. doi: <https://doi.org/n4pt>
- [25] Zhang SF, Lin SX, Gao W, Liu HP, Liu Y, Zhang DH, Chen TD, Guo YM, Huang YX. Report of the consensus conference on diagnostic criteria of ALI/ARDS at high altitudes in Western China. *Intensive Care Med.* [Internet]. 2001; 27(9):1539–1546. doi: <https://doi.org/ffq5vb>
- [26] Moncada Nuela YC. Revisión y monitoreo de las diferentes etapas anestésicas: prequirúrgica, intraquirúrgica y postquirúrgica de los caninos (*Canis lupus familiaris*). [tesis de grado en Internet]. Machala (Ecuador): Universidad Técnica de Machala; 2020 [consultado 09 Oct. 2024]. 47 p. Disponible en: <https://goo.su/0yplzM>
- [27] Bernal–Bernal LD, Pineda–Gutierrez FD. Valores de gases arteriales y electrolitos en 50 caninos sanos en la sabana de Bogotá medidos con el sistema de análisis de sangre EPOC® [tesis de grado en Internet]. Bogotá (Colombia): Universidad de La Salle; 2013 [consultado 16 Nov. 2023]. 37 p. Disponible en: <https://n9.cl/30d1o>
- [28] Hoareau GL, Jourdan G, Mellema M, Verwaerde P. Evaluation of arterial blood gases and arterial blood pressures in brachycephalic dogs. *J. Vet. Intern. Med.* [Internet]. 2012; 26(4):897–904. doi: <https://doi.org/ggv7k5>
- [29] Holowaychuk MK, Hansen BD, DeFrancesco TC, Marks SL. Ionized hypocalcemia in critically ill dogs. *J. Vet. Intern. Med.* [Internet]. 2009; 23(3):509–513. doi: <https://doi.org/cj2rm4>
- [30] Wilkins PA, Otto CM, Baumgardner JE, Dunkel B, Bedenice D, Paradis MR, Staffieri F, Syring RS, Slack J, Grasso S, Pranzo G. Acute lung injury and acute respiratory distress syndromes in veterinary medicine: consensus definitions: the Dorothy Russell Havemeyer working group on ALI and ARDS in veterinary medicine. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* [Internet]. 2007; 17(4):333–339. doi: <https://doi.org/dc2cjt>
- [31] Gómez–Duque A, Fernández G, Quijano M, León L, Quitián D, Gómez–Quintero C. Utilidad de la relación Sao₂/Fio₂ en la evaluación del grado de compromiso pulmonar en pacientes críticos. *Rev. Fac. Med.* [Internet]. 2002 [cited 2 Aug 2024]; 50(1):2–7. Disponible en: <https://n9.cl/6h1ib>
- [32] Marmanillo–Mendoza G, Zuñiga–Manrique R, Cornejo–DelValle O, Canqui LP. SatO₂/FiO₂ rate versus PaO₂/FiO₂ rate for predicting mortality in patients with COVID–19 in a high–altitude hospital. *Acta Méd. Peru.* [Internet]. 2021; 38(4):273–278. doi: <https://doi.org/n4pv>

- [33] Jibaja M, Ortiz–Ruiz G, García F, Garay–Fernández M, de Jesús–Montelongo F, Martínez J, Virues JA, Baez – Pravía O, Salazar S, Villacorta–Cordova F, Morales F, Tinoco – Solórzano A, Ibañez–Guzmán C, Valle–Pinheiro B, Zubia–Olaskoaga F, Dueñas C, Lara–García A, Cardinal–Fernández P. Hospital mortality and effect of adjusting PaO₂/FiO₂ according to altitude above the sea level in acclimatized patients undergoing invasive mechanical ventilation. A multicenter study. *Arch. Bronconeumol.* [Internet]. 2020; 56(4):218–224 doi: <https://doi.org/n4pw>
- [34] Leteurtre S, Dupré M, Dorkenoo A, Lampin ME, Leclerc F. Assessment of the Pediatric Index of mortality 2 with the PaO₂/FiO₂ ratio derived from the SpO₂/FiO₂ ratio: A prospective pilot study in a French pediatric intensive care unit. *Pediatr. Crit. Care Med.* [Internet]. 2011; 12(4):184–186. doi: <https://doi.org/c45x7r>
- [35] Miranda MC, López–Herce J, Martínez MC, Carrillo A. Relación de la relación PaO₂/FiO₂ y SatO₂/FiO₂ con la mortalidad y la duración de ingreso en niños críticamente enfermos. *An. Pediatr.* [Internet]. 2012; 76(1):16–22. doi: <https://doi.org/d5gxdf>
- [36] Pandharipande PP, Shintani AK, Hagerman HE, St–Jacques PJ, Rice TW, Sanders NW, Ware LB, Bernard GR, Ely EW. Derivation and validation of SpO₂/FiO₂ ratio to impute for PaO₂/FiO₂ ratio in the respiratory component of the sequential organ failure assessment score. *Crit. Care Med.* [Internet]. 2009; 37(4):1317–1321. doi: <https://doi.org/bft8hm>
- [37] Jusi RL, Limpin MB, Bayot RD, De Guia T, Ayuyao F. Determination of critical threshold value of SpO₂/FiO₂ ratio in the diagnosis of acute lung injury. *Eur. Respir. J.* [Internet]. 2012 [consultado 24 Ago. 2024]; 40(Supl.56):P2020. Available from: <https://goo.su/emrRgJ>
- [38] Batchinsky AI, Wendorff D, Jones J, Beely B, Roberts T, Choi JH, Harea G, Cancio LC, Davis M, Cannon J, Sams V. Noninvasive SpO₂/FiO₂ ratio as surrogate for PaO₂/FiO₂ ratio during simulated prolonged field care and ground and high–altitude evacuation. *J. Trauma Acute Care Surg.* [Internet]. 2020; 89(2S):S126–S131. doi: <https://doi.org/gh6wx8>
- [39] Eicher L, Young AA, Hoover L, Kuo KW, Her J. Retrospective evaluation of the respiratory rate–oxygenation index to predict the outcome of high–flow nasal cannula oxygen therapy in dogs (2018–2021): 81 cases. *J. Vet. Emerg. Crit. Care (San Antonio).* [Internet]. 2024; 34(3):252–261. doi: <https://doi.org/n4px>
- [40] Prosperi P, Verratti V, Taverna A, Rua R, Bonan S, Rapacchiale G, Bondi D, Di Giulio C, Lorkowski J, Spacone A. Ventilatory function and oxygen delivery at high altitude in the Himalayas. *Respir. Physiol. Neurobiol.* [Internet]. 2023; 314:104086. doi: <https://doi.org/n4pz>
- [41] Weil JV. Variation in human ventilatory control – Genetic influence on the hypoxic ventilatory response. *Respir. Physiol. Neurobiol.* [Internet]. 2003; 135(2–3):239–246. doi: <https://doi.org/bj2dcg>
- [42] Collins JA, Rudenski A, Gibson J, Howard L, O’Driscoll R. Relating oxygen partial pressure, saturation and content: The haemoglobin–oxygen dissociation curve. *Breathe. Eur. Respir. J.* [Internet]. 2015; 11(3):194–201. doi: <https://doi.org/gccv33>
- [43] Chan ED, Chan MM, Chan MM. Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations. *Respir. Med.* [Internet]. 2013; 107(6):789–799. doi: <https://doi.org/f2pdwj>
- [44] Raposo–Monteiro E, Rodrigues–Junior A, Quirilos–Assis HM, Campagnol D, Quitzan JG. Comparative study on the sedative effects of morphine, methadone, butorphanol or tramadol, in combination with acepromazine, in dogs. *Vet. Anaesth. Analg.* [Internet]. 2009; 36(1):25–33. doi: <https://doi.org/c2cqms>