

## Variabilidad de la frecuencia cardiaca en caninos saludables, adultos y residentes en hipoxia hipobárica (Bogotá, 2600 metros sobre el nivel del mar)

Heart rate variability in healthy adult dogs, and residents in hypobaric hipoxia (Bogotá, 2600 meters above sea level)

Claudia Marcela Guerrero S.<sup>1\*</sup>, Piero Vargas-Pinto<sup>2</sup>, Luis Eduardo Cruz<sup>3</sup>

### RESUMEN

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) se refiere a las fluctuaciones de la frecuencia cardiaca latido a latido y representa la influencia neurovegetativa y endocrina sobre el corazón. En el presente trabajo se obtuvieron los valores de HRV en caninos sanos adultos de diferente sexo, residentes en la ciudad de Bogotá (2600 msnm). Se obtuvieron parámetros de HRV en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia mediante registros Holter de 60 minutos. Se determinó la distribución de los datos por medio de la prueba de Shapiro-Wilk. Los canes se distribuyeron en dos subgrupos para estudiar su comportamiento en relación con el sexo y la edad. Se utilizaron las pruebas de ANOVA y Kruskal Wallis para determinar diferencias estadísticas. En general, los valores medios de HRV difieren de los reportados por otros autores en estudios a nivel del mar y en altitudes menores. Las diferencias de HRV con relación al sexo fueron significativas en los parámetros de RMSSD y pNN50. No hubo diferencias en la relación HRV y edad.

**Palabras clave:** variabilidad de la frecuencia cardiaca, perros, hipoxia hipobárica, Bogotá, grandes altitudes, adaptación

<sup>1</sup> Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia

<sup>2</sup> Departamento de Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia

\* Autor de correspondencia: Claudia Marcela Guerrero; [cguerreros@udca.edu.co](mailto:cguerreros@udca.edu.co)

Recibido: 27 de septiembre de 2023

Aceptado para publicación: 22 de septiembre de 2024

Publicado: 31 de octubre de 2024

©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

## ABSTRACT

Heart rate variability (HRV) refers to beat-to-beat fluctuations in heart rate and represents the neurovegetative and endocrine influence on the heart. In the present study, HRV values were obtained in healthy adult canines of both sexes, residing in the city of Bogotá (2600 meters above sea level). Time-domain and frequency-domain HRV parameters were obtained using 60-minute Holter recordings. The distribution of the data was determined using the Shapiro-Wilk test. The dogs were distributed into two subgroups to study their behaviour in relation to sex and age. ANOVA and Kruskal Wallis tests were used to determine statistical differences. In general, the mean HRV values differ from those reported by other authors in studies at sea level and at lower altitudes. The differences in HRV in relation to sex were significant in the RMSSD and pNN50 parameters. There were no differences in the relationship between HRV and age.

**Key words:** heart rate variability, dogs, hypobaric hypoxia, Bogotá, high altitudes, adaptation

## INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) es un parámetro útil en la evaluación de la salud cardiaca y del sistema nervioso vegetativo; su análisis ha sido implementado en diversas áreas de la medicina desde su descubrimiento en 1963 (Malik y Camm, 1996; Billman, 2011; Gernot, 2017). La HRV es el grado de fluctuación en la longitud de los intervalos entre un latido cardiaco y el siguiente. Se interpreta como el resultado del control del sistema nervioso vegetativo y otros mecanismos reflejos homeostáticos que responden a las condiciones cambiantes a las que está expuesto un sujeto vivo (grado de actividad física, estrés mental o físico, ciclos circadianos etc.) (Malik y Camm, 1996; Ramírez, 2017). Este parámetro puede analizarse mediante métodos matemáticos en el dominio del tiempo o de la frecuencia (Malik y Camm, 1996).

Los métodos en el dominio del tiempo analizan la estadística de la variabilidad en términos del tiempo y duración de los intervalos entre dos ondas R (RR) del electrocardiograma (ECG), mientras que los métodos en el dominio de las frecuencias analizan la

HRV en relación con la amplitud y fase relativas de las ondas registradas durante el registro ECG, derivando gráficamente la información del espectro de potencia de la señal (Malik y Camm, 1996; Ramírez, 2017). Los principales índices en el dominio del tiempo son la desviación estándar de los intervalos NN (SDNN), la desviación estándar del promedio de intervalos NN (SDANN), la raíz cuadrada de la media de las diferencias de intervalos NN sucesivos elevados al cuadrado (RMSSD), el número de diferencias de intervalo entre intervalos NN consecutivos mayores a 50 milisegundos (NN50) y la proporción derivada de la división del NN50 en el número total de intervalos NN (pNN50) (Malik y Camm, 1996; Gernot, 2017; Ramírez, 2017; Shaffer y Ginsberg, 2017).

Los índices en el dominio de la frecuencia son la banda de alta frecuencia (HF) que se encuentra entre los 0.15 y 0.4 Hz, la banda de la baja frecuencia (LF) que se encuentra entre los 0.04 y 0.15 Hz, la banda de muy baja frecuencia (VLF) entre los 0.003 y 0.04 Hz, la banda de ultra baja frecuencia (ULF) con ritmos menores a los 0.003 Hz, la relación de las altas y bajas frecuencias (LF/HF) y la potencia total (TP) (Gernot, 2017; Ramírez, 2017; Shaffer y Ginsberg, 2017).

Se conoce que la HRV representa la actividad del sistema nervioso simpático y parasimpático sobre el corazón en relación con la actividad respiratoria, humoral, barorreceptora y termoregulatoria en condiciones fisiológicas y patológicas (Malik y Camm, 1996; Gernot, 2017). Sin embargo, aunque se han realizado estudios de HRV en medicina veterinaria de pequeñas especies (Calvert y Jacobs, 2000; Matsunaga *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*; 2014; Vargas-Pinto *et al.*, 2017), específicamente en caninos, aún no hay un consenso sobre los métodos y valores de referencia de la HRV que permitan su utilización en la clínica diaria y mucho menos en condiciones ambientales extremas como es el ambiente de hipoxia hipobárica en altitudes medias, altas, muy altas y extremas (Barry y Pollard, 2003; Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015; Chueainta *et al.*, 2019).

Por lo anterior, y sabiendo que la altitud produce el fenómeno de hipoxia hipobárica y que puede desencadenar procesos fisiopatológicos como la hipertensión pulmonar (Vogel y Hannon, 1966; Martínez, 2017), el propósito del presente estudio fue estudiar el comportamiento de la HRV en grandes altitudes, específicamente en la ciudad de Bogotá, Colombia, la cual se encuentra a 2600 msnm y presenta una gran población de caninos como animales de compañía (Barry y Pollard, 2003; López, 2012).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en la ciudad de Bogotá, Colombia, entre febrero y septiembre de 2021. Fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia (Acta 02-008-20).

Se utilizaron 30 perros, mayormente mestizos (n=19), así como de las razas Husky Siberiano (n=3), Cocker Spaniel (n=2), Schnauzer estándar, Doberman, Weimaraner,

Pastor Australiano, Border Collie, y Pitbull (n=1 por raza). Solo se consideraron perros sanos, de 1 a 5 años, 10 a 30 kg de peso corporal, mesocéfalos o dolicocefalos, de condición corporal 4 a 7 de 9 (Freeman, 2011) y residentes permanentes de Bogotá, (nacido en la ciudad o al menos con 2 años de residencia permanente).

Los caninos se obtuvieron a través de una convocatoria en la Universidad Nacional de Colombia, y se les realizaron tres pruebas para su selección: 1) Anamnesis y examen físico para excluir posibles patologías, 2) Exámenes paraclínicos: hemograma, alanino amino transferasa (ALT) y creatinina, y examen ecocardiográfico para descartar anomalías cardíacas; y 3) Registro Holter de 60 minutos (5 electrodos adhesivos a nivel del cuarto y quinto espacio intercostal del lado izquierdo, cuarto y sexto espacio intercostal del lado derecho y a nivel del manubrio del esternón previa depilación). El registro Holter se realizó en un cuarto aislado de otros animales, en el cual los caninos podían caminar, sentarse y acostarse libremente, y beber agua.

Los índices de HRV obtenidos en el dominio del tiempo fueron frecuencia cardíaca, la desviación estándar de los intervalos NN (SDNN), la raíz cuadrada de la media de las diferencias de intervalos NN sucesivos elevados al cuadrado (RMSSD), y la proporción derivada de la división del NN50 en el número total de intervalos NN (pNN50). En el dominio de las frecuencias fueron la banda de alta frecuencia (HF), la banda de la baja frecuencia (LF), la banda de muy baja frecuencia (VLF), la banda de ultra baja frecuencia (ULF) con ritmos menores a los 0.003 Hz, y la relación de las altas y bajas frecuencias (LF/HF). Los datos fueron analizados con el programa ECG Lab (Copyright 2008SR33590) descartando secciones del registro donde hubiera mucho ruido y corrigiendo marcaciones automáticas incorrectas, además de descartar los animales que mostrarán anomalías a nivel electrocardiográfico.

Los resultados son presentados como estadística descriptiva utilizando SAS v. 9.4. Para analizar la distribución de los datos de HRV se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo una distribución asimétrica en la mayoría de los índices (media, mediana, desviación estándar e intervalos de confianza). Además, para estudiar el comportamiento de los índices de HRV se conformaron dos subgrupos: según sexo: machos (n=12) y hembras (n=18) y según edad: jóvenes de 1 a 2 años (n=9) y adultos de 2 a 5 años (n=21). Los subgrupos fueron analizados respecto a cada índice de HRV en el dominio del tiempo y de la frecuencia por medio de un análisis univariable de modelo lineal generalizado ANOVA para los datos con distribución simétrica y por medio de la prueba de Kruskal-Wallis para los datos con distribución asimétrica. En ambos casos se consideró una significancia del nivel de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

La muestra se compuso de 30 caninos, en su mayoría hembras (n=18), mayormente de raza mestiza, de  $3.16 \pm 1.22$  años y peso promedio de  $21.89 \pm 5.42$  kg. Una hembra y tres machos estaban enteros y el resto estaba castrado. Los resultados clínicos revelaron valores dentro de los rangos normales, aunque algunos animales presentaron frecuencias cardíacas y respiratorias altas (Cuadro 1).

Los parámetros hematológicos y de química sanguínea se encontraron en su mayoría dentro de los valores de referencia para la ciudad de Bogotá (Agudelo y Arambulo, 2001); sin embargo, algunos animales presentaron valores aumentados de hematocrito y recuento de glóbulos rojos (Cuadro 2). Por

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables clínicas de la muestra (n=30 canes)

Parámetro	Media	DE	I.C. 95%	Rango	
				Mínimo	Máximo
Condición corporal	6.27	0.78	0.29	4	7
Frecuencia cardíaca (lpm)	108.8	23.22	8.67	76	164
Frecuencia respiratoria (rpm)	35.2	14.11	5.26	20	72
Temperatura corporal (°C)	38.3	0.48	0.17	37.3	39.3

Cuadro 2. Resultados hematológicos y de bioquímica sanguínea de canes (n=30) de la ciudad de Bogotá, Colombia

	Hto %	Hb g/L	RGR $\times 10^{12}/L$	RGB $\times 10^9/L$	Plaq $\times 10^9/L$	PPT g/L	ALB g/L	ALT U/L	CREA mg/dl
Media	55.59	174.23	7.74	10.93	352.77	63.99	33.42	40.31	1.14
DE	5.52	19.69	0.81	3.08	138.55	5.38	2.75	15.13	0.25
I.C. 95%	2.06	7.35	0.30	1.15	51.73	2.01	1.03	5.65	0.09

DE= desviación estándar; IC 95%= intervalos de confianza del 95%

Hto= hematocrito; Hb= hemoglobina; RGR= recuento de glóbulos rojos; RGB= recuento de glóbulos blancos; Plaq= plaquetas; PPT= proteínas plasmáticas totales; ALB= albúmina; ALT= alanino-aminotransferasa; CREA=creatinina

Cuadro 3. Parámetros ecocardiográficos de canes (n=30) de la ciudad de Bogotá, Colombia

	VI Idd	VI ids	EF %	FS %	LA/Ao (cm)	V max VP (m/s)	V max VA (m/s)
Media	3.49	1.99	74.31	43.06	1.19	1.02	1.14
DE	0.52	0.39	9.12	8.30	0.13	0.28	0.24
I.C. 95%	0.19	0.14	3.40	3.10	0.05	0.10	0.09

DE= desviación estándar; IC 95%= intervalos de confianza del 95%

VI Idd= diámetro interno del ventrículo izquierdo en diástole; VI ids= diámetro interno del ventrículo izquierdo en sístole; EF= fracción de eyección; FS= fracción de acortamiento; LA/Ao= relación atrio izquierdo-aorta; Vmax VP= velocidad

Cuadro 4. Variabilidad de la frecuencia cardiaca en el dominio del tiempo y dominio de las frecuencias en canes (n=30) de la ciudad de Bogotá, Colombia

Parámetro	Media	± DE	Mediana	IC 95%
FC (lpm)*°	100.70	21.06	99.5	7.86
Dominio del tiempo				
SDNN (ms)	151.90	80.82	142.5	30.18
RMSSD (ms)	57.60	19.22	58	7.18
PNN50 (%)*	29.87	12.14	30	4.53
Dominio de la frecuencia				
HF (ms <sup>2</sup> )	1468.52	1057.07	1199.35	394.72
LF(ms <sup>2</sup> )	1022.41	531.79	1003.3	198.57
VLF (ms <sup>2</sup> )*	588.52	223.01	541.1	83.27
LF/HF	0.86	0.39	0.70	0.14

FC= Frecuencia cardiaca; SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos NN; RMSSD: raíz cuadrática del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado de intervalos NN adyacentes; PNN50: porcentaje total de las diferencias entre los intervalos NN adyacentes mayores de 50 ms

HF: componentes de alta frecuencia entre los 0.15-0.40 Hz; LF: componentes de baja frecuencia entre los 0.04-0.15 Hz; VLF: componentes de muy baja frecuencia entre los 0.003-0.04 Hz; LF/HF: relación entre las frecuencias bajas y altas

ms= milisegundo; ms<sup>2</sup>= valor absoluto de potencia

\* Parámetro con distribución normal

La frecuencia cardiaca corresponde a la obtenida en el registro Holter

otro lado, los parámetros ecocardiográficos se encontraron dentro de los valores de referencia, aunque en algunos casos se observó la fracción de eyección y acortamiento, velocidad máxima de la válvula pulmonar y aortica y diámetro interno del ventrículo izquierdo

superior a lo reportado, sin presentar indicios de enfermedad cardiaca (Cuadro 3).

Los parámetros de HRV se muestran en el Cuadro 4. La FC, pNN50 y VLF presentaron una distribución simétrica, mientras

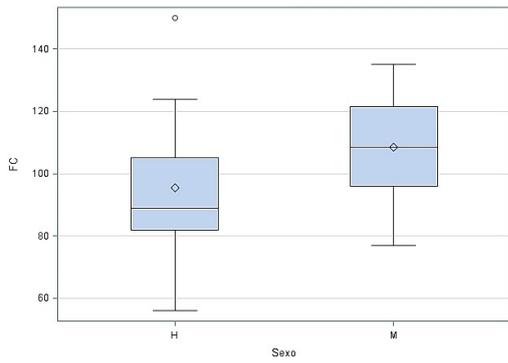


Figura 1. Distribución de frecuencia cardiaca según sexo. H=hembra, M=macho

que el resto de los parámetros presentaron una distribución asimétrica. Se encontró una leve tendencia, en la FC respecto al sexo, siendo menor en las hembras que en los machos ( $95 \pm 22$  vs.  $109 \pm 17$ ), pero sin alcanzar la significancia estadística (Figura 1). Respecto a los parámetros de HRV y sexo, se encontraron diferencias significativas en pNN50 y RMSSD, siendo mayor en las hembras (Cuadro 5, Figura 2), mientras que no hubo diferencias significativas en HRV por la edad en ninguno de los parámetros en estudio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Variabilidad de la frecuencia cardiaca HRV de acuerdo con los dominios de tiempo y frecuencia según sexo y edad de los canes (n=30)

	Sexo		p valor	Edad		p valor
	Hembras Media $\pm$ DE (Me) n=18	Machos Media $\pm$ DE (Me)n=12		Joven (1-2 años) Media $\pm$ DE (Me) n=7	Adulto (>2-5 años) Media $\pm$ DE (Me) n=23	
FC*	95.44 $\pm$ 22.05 (89)	108.58 $\pm$ 17.46 (108.5)	0.09 <sup>a</sup>	105.88 $\pm$ 22.85 (109)	98.47 $\pm$ 20.41 (98)	0.39 <sup>a</sup>
Dominio del tiempo						
SDNN	169.33 $\pm$ 90.71 (153.5)	125.75 $\pm$ 57.09 (110)	0.098 <sup>b</sup>	118.11 $\pm$ 40.51 (101)	166.38 $\pm$ 89.89 (145)	0.167 <sup>b</sup>
RMSSD	63.33 $\pm$ 20.35 (66)	49 $\pm$ 14.12 (49)	0.03 <sup>b</sup>	52.77 $\pm$ 15.33 (49)	59.66 $\pm$ 20.66 (64)	0.389 <sup>b</sup>
PNN50*	33.55 $\pm$ 12.11 (37)	24.33 $\pm$ 10.30 (25.5)	0.04 <sup>a</sup>	27.88 $\pm$ 12.44 (26)	30.71 $\pm$ 12.21 (33)	0.57 <sup>a</sup>
Dominio de la frecuencia						
HF	1696.20 $\pm$ 1156.16 (1624.3)	1127 $\pm$ 817.31 (874.9)	0.15 <sup>b</sup>	1344.92 $\pm$ 943.24 (935.7)	1521.49 $\pm$ 1120.06 (1278.2)	0.80 <sup>b</sup>
LF	1110.07 $\pm$ 586.48 {1009.45}	890.9 $\pm$ 427.26 (821.95)	0.309 <sup>b</sup>	910.92 $\pm$ 407.74 (1009)	1070.18 $\pm$ 579.28 (997.6)	0.60 <sup>b</sup>
VLF*	580.96 $\pm$ 173.88 (627.5)	599.86 $\pm$ 290.10 (505.75)	0.82 <sup>a</sup>	561.14 $\pm$ 163.51 (504.2)	600.25 $\pm$ 246.85 (623.6)	0.67 <sup>a</sup>
LF/HF	0.79 $\pm$ 0.38 (0.64)	0.95 $\pm$ 0.40 (0.81)	0.13 <sup>b</sup>	0.79 $\pm$ 0.23 (0.74)	0.89 $\pm$ 0.44 (0.69)	0.908 <sup>b</sup>

FC= Frecuencia cardiaca; SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos NN; RMSSD: raíz cuadrática del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado de intervalos NN adyacentes; PNN50: porcentaje total de las diferencias entre los intervalos NN adyacentes mayores de 50 ms

HF: componentes de alta frecuencia entre los 0.15-0.40 Hz; LF: componentes de baja frecuencia entre los 0.04-0.15 Hz; VLF: componentes de muy baja frecuencia entre los 0.003-0.04 Hz; LF/HF: relación entre las frecuencias bajas y altas

<sup>a</sup> Prueba de análisis lineal generalizado para datos con distribución normal; <sup>b</sup> Prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos (p<0.05)

\* Parámetros con distribución normal  
Frecuencia cardiaca obtenida en el registro Holter

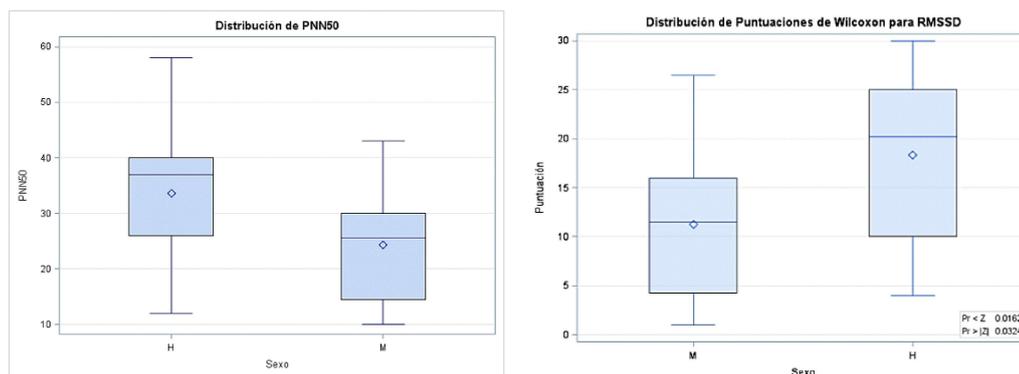


Figura 2. Distribución de las variables pNN50 (izquierda) y RMSSD (derecha) respecto al sexo. *H*=hembras, *M*=machos. Las diferencias fueron significativas ( $p < 0.05$ )

## DISCUSIÓN

En general, los canes presentaron características similares en cuanto a peso y condición corporal, cuyos exámenes paraclínicos y ecocardiográficos sugieren que no presentaban ninguna enfermedad de base o sistémica que pudiera afectar los parámetros de HRV. Algunos valores aumentados de hematocrito y recuento de glóbulos rojos fueron atribuidos a fenómenos fisiológicos producidos principalmente por el estrés, contracción esplénica y ayuno.

El aumento en parámetros ecocardiográficos por encima de los valores de referencia que se observó en algunos animales (fracción de eyección y acortamiento, velocidad máxima de la válvula pulmonar y aórtica, diámetro interno del ventrículo izquierdo), pero sin presentar indicios de enfermedad cardiaca pudo atribuirse al estrés y variaciones de tipo individual. Es importante indicar que la metodología y las condiciones medioambientales del estudio fueron similares para todos los animales y similares a las reportadas en otros estudios (Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015). Es así, que se podría decir que la principal variable con impacto directo e indirecto en la HRV fue la altura a nivel del mar en que viven los anima-

les de estudio. Al observar los resultados de HRV obtenidos en este estudio y los descriptos por otros autores a nivel del mar (Bogucki, 2015; Martinello, 2022) se observan valores menores (a excepción de la FC y el LF/HF) en la mayoría de los índices de HRV en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

En cuanto a los índices en el dominio del tiempo, se sabe que la SDNN refleja los componentes cíclicos responsables de la variabilidad del registro electrocardiográfico o Holter; mientras que la RMSSD y pNN50 representa en su mayoría el control o actividad parasimpática sobre la frecuencia cardiaca (Malik y Camm, 1996; Gernot, 2017; Shaffer y Ginsberg, 2017). En el dominio de la frecuencia, la banda HF representa la regulación parasimpática y es afectada por la respiración y la presión arterial (Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015; Ramírez, 2017; Shaffer y Ginsberg, 2017). La banda LF es afectada tanto por el sistema nervioso simpático y parasimpático, la actividad barorreceptora y por condiciones estresantes (Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015; Gernot, 2017; Shaffer y Ginsberg, 2017). La banda VLF se cree está regulada por la actividad simpática, barorreceptora, el sistema nervioso intrínseco cardiaco, y la actividad termoregulatoria y endocrina (Malik y Camm, 1996; Bogucki y Noszczyk-Nowa, 2015, Shaffer y

Ginsberg, 2017). La relación LF/HF se suele considerar como un índice de balance entre el sistema nervioso simpático y parasimpático; sin embargo, hoy en día se sabe que estas bandas están influenciadas por otros factores, y al igual que el TP corresponde a una medida general de variabilidad que no discrimina entre los componentes simpático y parasimpático u otros (Kamath *et al.*, 2013; Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015; Ramírez, 2017).

Por la información que se dispone sobre cada índice de HRV se podría decir que la HRV es probablemente menor en caninos expuestos de forma permanente a altitudes medias a altas (y a la hipoxia hipobárica concomitante) comparada con la de caninos que residen a nivel del mar o en alturas bajas. Esto puede deberse a que la hipoxia suele causar un aumento en la actividad simpática y en la presión arterial sistémica y pulmonar, además de cambios en la regulación hormonal, principalmente las hormonas relacionadas al equilibrio hídrico, ácido básico y la presión arterial (Mason, 2000; Taylor, 2011; Bernardi, 2012; West *et al.*, 2013b; Chawla y Saxena, 2014). Sin embargo, estas alteraciones pueden variar según la especie y el tiempo de aclimatación o el grado de adaptación (Sakai *et al.*, 2007; West *et al.*, 2013a,b). En estudios realizados en caninos y humanos se ha encontrado un aumento en la FC, disminución en el rendimiento físico y en los índices de HRV durante la exposición, principalmente de forma aguda, a altitudes medias y altas (>2000 msnm) (Zuzewicz *et al.*, 1999; Boos *et al.*, 2017; Menchetti *et al.*, 2022).

Se encontró una mayor variabilidad de la frecuencia cardíaca, específicamente en los índices RMSSD y pNN50 en hembras comparado con los machos, lo cual ha sido descrito también en humanos (Koenig y Thayer, 2016; Shaffer y Ginsberg, 2017), en donde las mujeres presentan mayores índices de actividad parasimpática. Sin embargo, en caninos no se han encontrado diferencias significativas en índices de HRV según el sexo (Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015;

Martinello *et al.*, 2022). Por otro lado, y aunque la influencia del sexo en los parámetros de HRV en la altitud es controversial (Dart *et al.*, 2002; Koenig y Thayer, 2016; Boos *et al.*, 2017; Shaffer y Ginsberg, 2017), existe evidencia científica en diferentes especies de que tanto las hormonas sexuales como otros factores relacionados al sexo influyen la actividad eléctrica cardíaca (Chen *et al.*, 1999; Taneja *et al.*, 2001; Dart *et al.*, 2002).

Si bien en este estudio no se encontraron diferencias significativas en los parámetros de HRV según la edad, se tienen reportes que demuestran menores valores en cachorros (Bogucki y Noszczyk-Nowak, 2015; Martinello *et al.*, 2022).

## CONCLUSIONES

- Los índices de RMSSD y pNN50 difieren significativamente entre machos y hembras residentes en altitudes medias a altas (Bogotá, 2600 msnm), siendo mayores en hembras.
- Se observó una ligera menor frecuencia cardíaca media en hembras que en machos, aunque sin diferencia significativa.
- Los valores de HRV obtenidos en caninos en el presente estudio difieren de valores reportados por otros autores en estudios realizados a nivel del mar.

## LITERATURA CITADA

1. **Agudelo C, Arambulo L. 2001.** Determinación de parámetros hematológicos y bioquímicos en caninos sanos en la ciudad de Santafé de Bogotá en la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría. Colombia: Univ. Nacional de Colombia. 223 p.
2. **Barry P, Pollard A. 2003.** Altitude illness. *Br Med J* 328: 915-919. doi: 10.1136/bmj.326.7395.915

3. **Billman G 2011.** Heart rate variability - a historical perspective. *Front Physiol* 2: 86. doi: 10.3389/fphys.2011.00086
4. **Bernardi L. 2012.** Effects of high altitude. En: Robertson *et al.* Primer on the autonomic nervous system. 3<sup>rd</sup> ed. p 281-282.
5. **Bogucki S, Noszczyk-Nowak A. 2015.** Short term heart rate variability (HRV) in healthy dogs. *Pol J Vet Sci* 18: 307-312. doi: 10.1515/pjvs-2015-0040
6. **Boos CJ, Vincent E, Mellor A, O'Hara J, Newman RC, Scott P, Cooke M, et al. 2017.** The effect of sex on heart rate variability at high altitude. *Med Sci Sports Exerc* 49: 2562-2569. doi: 10.1249/MSS.0000000000001384
7. **Calvert C, Jacobs G 2000.** Heart rate variability in Doberman Pinschers with and without echocardiographic evidence of dilated cardiomyopathy. *Am J Vet Res* 61: 506-511. doi: 10.2460/ajvr.2000.-61.506
8. **Chawla A, Saxena S. 2014.** Physiology of high-altitude acclimatization. *Resonance* 19: 538-548. doi: 10.1007/s12045-014-0057-3
9. **Chen Y, Lee S, Hsieh M, Hsiao C, Yu W, Chiou C, Chen S. 1999.** Effects of 17 $\beta$ -estradiol on tachycardia-induced changes of atrial refractoriness and cisapride-induced ventricular arrhythmia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 10: 587-98. doi: 10.1111/j.1540-8167.1999.tb00716.x
10. **Chueainta P, Pongkan W, Chavalit B. 2019.** Clinical applications of heart rate variability in dogs. *Vet Integrative Sci* 17: 195-220.
11. **Dart A, Du Xiao-Jun, Kingwell B. 2002.** Gender, sex hormones and autonomic nervous control of the cardiovascular system. *Cardiovasc Res* 53: 678-687. doi: 10.1016/s0008-6363(01)00508-9
12. **Freeman L, Becvarova I, Cave N, MacKay C, Nguyen P, Rama B, Takashima G, et al. 2011.** WSAVA Nutritional assessment guidelines task force. *J Small Anim Pract* 52: 385-96. doi: 10.1111/j.1748-5827.2011.01079.x
13. **Gernot Ernest. 2017.** Hidden signals - The history and methods of heart rate variability. *Front Public Health* 5: 265. doi: 10.3389/fpubh.2017.00265
14. **Kamath M, Watanabe M, Upton A. 2013.** Methodological aspects of heart rate variability analysis. In: Heart rate variability (HRV) signal analysis, clinical applications. CRC Press. p 10-43.
15. **Koenig J, Thayer J. 2016.** Sex differences in healthy human heart rate variability: a meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 64: 288-310. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.03.007
16. **López V. 2012.** Condiciones atmosféricas predominantes en el piedemonte de la cordillera Oriental, determinantes del régimen climático en las sedes de la Universidad de la Salle, Bogotá. *Èpsilon* 18: 87-10.
17. **Malik M, Camm J. 1996.** Heart rate variability, Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart J* 17: 354-381.
18. **Martinello L, Cruz A, Romao F, Ferreira M, Tsunemi M, Chiacchio S, Fernandez de Godoy M, Gomes M. 2022.** Short-term heart rate variability analysis in healthy dogs of different ages. *Acta Scientiae Vet* 50. doi: 10.22456/1679-9216.118578
19. **Martínez A. 2017.** Descripción de índices ecocardiográficos de la arteria pulmonar y ventrículo derecho en caninos saludables a nivel del mar y en un ambiente hipobárico natural (2600 msnm). Tesis de Maestría. Colombia: Univ. Nacional de Colombia. 113 p.
20. **Mason N. 2000.** The physiology of the high altitude: an introduction to the cardio-respiratory changes occurring on ascent to altitude. *Curr Anaesth Crit Care* 11: 34-41. doi: 10.1054/cacc.2000.-0242

21. **Matsunaga T, Harada T, Mitsui T, Inokuma M, Hashimoto M, Miyauchi M, Murano H, Shibutani Y. 2001.** Spectral analysis of circadian rhythms in heart rate variability of dogs. *Am J Vet Res.* Vol 62: 37-42. doi: 10.2460/ajvr.2001.62.37
22. **Menchetti L, Iaboni M, Matteo M, Guelfi G, Diverio S. 2022.** How do avalanche dogs (and their handlers) cope with physical exercise? Heart rate changes during endurance in a snowy environment. *Animals (Basel)* 12: 168. doi: 10.3390/ani12020168
23. **Oliveira M, Muzzi R, Muzzi L, Ferreira D, Silva E. 2014.** Heart rate variability and arrhythmias evaluated with Holter in dogs with degenerative mitral valve disease. *Arq Bras Med Vet Zootec* 66: 425-432.
24. **Ramírez L. 2017.** Medición del impacto de la administración subaracnoidea de un anestésico local, en la regulación autonómica del ritmo cardiaco, por medio del análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca y su relación con bradicardia e hipotensión. Tesis de Maestría. Colombia: Univ. Nacional de Colombia. 128 p.
25. **Sakai A, Takeshi I, Tomonobu K, Takayuki M. 2007.** Pulmonary adaptation to high altitude in wild mammals. In: Aldashev A, Naeije R (eds). *Problems of high-altitude medicine and biology.* Springer. p 101-118.
26. **Shaffer F, Ginsberg JP. 2017.** An overview of heart rate variability. Metrics and norms. *Front Public Health* 5: 258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258
27. **Taneja T, Windhagen M, Passman R, Goldberger J, Kadish A. 2001.** Effects of sex and age on electrocardiographic and cardiac electrophysiological properties in adults. *Pacing Clin Electrophysiol* 24: 16-21. doi: 10.1046/j.1460-9592.-2001.00016.x
28. **Taylor A. 2011.** High-altitude illness: physiology, risk factors, prevention, and treatment. *Rambam Maimonides Med J* 2: e0022. doi: 10.5041/RMMJ.10022
29. **Vargas-Pinto P, Arango S, Rodríguez V, Rivas J, Vargas-Pinto P. 2017.** Frecuencia cardiaca y su variabilidad en caninos de agility en gran altura. *Rev Inv Vet Perú* 28: 236-241. doi: 10.15381/rivep.v28i2.13071
30. **Vogel J, Hannon J. 1966.** Cardiovascular and metabolic response of dogs to exercise at high altitude. *J Appl Physiol* 21: 1595-1601. doi: 10.1152/jappl.1966.-21.5.1595
31. **West J, Schoene R, Luks A, Milledge J. 2013a.** Altitude acclimatization and deterioration. In: *High altitude medicine and physiology.* 5<sup>th</sup> ed. CRC Press. p 53-65.
32. **West J, Schoene R, Luks A, Milledge J. 2013b.** Cardiovascular system. In: *High altitude medicine and physiology.* 5<sup>th</sup> ed. CRC Press. p 101-120.
33. **Zuzewicz K, Biernat B, Kempa G, Kwarecki K. 1999.** Heart rate variability in exposure to high altitude hypoxia of short duration. *Int J Occup Saf Ergon* 5: 337-46. doi: 10.1080/10803548.1999.-11076424