

Electrolitos, frecuencia cardiaca y variabilidad de la frecuencia cardiaca en el periparto de vacas holstein

Darío Alejandro Cedeño Quevedo¹ / Carmen Alicia Daza Bolaños²

Resumen

No existen estudios que correlacionen electrolitos con la frecuencia cardiaca (FC) y la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) en el periparto de vacas. En teoría las concentraciones de electrolitos en suero pueden afectar la VFC directamente al influir sobre la excitabilidad del músculo cardiaco. Se estudiaron 23 vacas de la raza holstein. Los índices de VFC se analizaron en seis momentos mediante la electrocardiografía. Se evaluaron los índices en el método del dominio del tiempo y frecuencia, desviación estándar de las diferencias entre latidos consecutivos (SDNN), raíz cuadrada del promedio de las diferencias entre intervalos sucesivos elevadas al cuadrado (RMSSD), baja frecuencia (LF) y alta frecuencia (HF), así como la relación LF/HF. Se midieron las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Pi por medio de espectrofotometría y Na^+ y K^+ mediante fotometría. La FC aumentó en el día antes del parto y luego disminuyó después del parto. Los índices parasimpáticos de RMSSD y HF aumentaron. El índice simpátovagal de relación LF/HF disminuyó significativamente. Las concentraciones de los electrolitos Ca^{2+} y Pi disminuyeron después del parto mientras el Na^+ aumentó. El día antes del parto el índice LF aumentó, mientras que la HF disminuyó, lo que indica la modulación de la FC y la ventilación por el nervio vago. El K^+ un día antes del parto mostró una fuerte asociación con el índice de HF. El día después del parto la correlación entre el K y la FC, HF y LF mostró una fuerte asociación.

Palabras clave: bovinos, electrocardiografía, gestación, macrominerales.

Electrolytes, heart rate, and heart rate variability during the peripartum period in Holstein cows

Abstract

There are no studies that correlate electrolytes with heart rate (HR) and heart rate variability (HRV) during the peripartum period in cows. In theory, electrolyte concentrations in serum can directly affect HRV by influencing the excitability of the heart muscle. Twenty-three cows of the Holstein breed were studied. HRV indexes were analyzed in six moments by electrocardiography. The indices were evaluated in the time domain and frequency, standard deviation of successive intervals (SDNN), root mean square of the average difference of successive intervals (RMSSD), low frequency (LF), and high frequency (HF), as well as the LF/HF ratio. Ca^{2+} , Mg^{2+} , and Pi concentrations were measured by means of spectrophotometry, as well as concentrations of Na^+ and K^+ by means of photometry. HR increased on the day before delivery and then decreased after delivery. The parasympathetic indices of RMSSD and HF increased. The sympathovagal balance between LF/HF decreased significantly. Concentrations of the electrolytes Ca^{2+} and Pi decreased after delivery, while Na^+ concentration increased. The day before delivery, the LF index increased, while HF decreased, indicating HR modulation and

- 1 Médico veterinario. Esp. M.Sc. Ph.D. Departamento de Salud Animal. Universidad de Nariño, FACIPEC, Pasto, Nariño, Colombia. ✉ dcedeno@udenar.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9324-7752>
- 2 Médica veterinaria. M.Sc. Ph.D. Facultad Medicina Veterinaria, Universidad Antonio Nariño, sede Cauca, Colombia. ✉ cdaza14@gamil.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6471-1210>

Cómo citar este artículo: Cedeño Quevedo DA, Daza Bolaños CA. Electrolitos, frecuencia cardiaca y variabilidad de la frecuencia cardiaca en el periparto de vacas holstein. Rev Med Vet. 2019;(38):91-100. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss38.8>

ventilation via the vagus nerve. One day before delivery, K^+ showed a strong association with the HF index. The day after delivery, the correlation between K^+ and HR, HF, and LF showed a strong association.

Keywords: bovines, electrocardiography, gestation, macrominerals.

Eletrólitos, frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca no periparto de vacas Holstein

Resumo

Não há estudos que correlacionem eletrólitos com frequência cardíaca (FC) e variabilidade da frequência cardíaca (VFC) no periparto de vacas. Em teoria, as concentrações de eletrólitos em soro podem afetar a VFC diretamente ao influenciar a excitabilidade do músculo cardíaco. Estudaram-se 23 vacas da raça holstein. Os índices de VFC foram analisados em seis momentos mediante a eletrocardiografia. Avaliaram-se os índices no método de domínio do tempo e frequência, desvio padrão das diferenças entre batimentos consecutivos (SDNN), raiz quadrada da média das diferenças entre intervalos sucessivos elevadas ao quadrado (RMSSD), baixa frequência (LF) e alta frequência (HF), bem como a relação LF/HF. As concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Pi foram medidas por espectrofotometria, e Na^+ e K^+ por fotometria. A FC aumentou no dia antes do parto e logo diminuiu após o parto. Os índices parassimpáticos de RMSSD e HF aumentaram. O índice simpatovagal de relação LF/HF diminuiu significativamente. As concentrações dos eletrólitos Ca^{2+} e Pi diminuíram após o parto enquanto o Na^+ aumentou. O dia antes do parto o índice LF aumentou, enquanto que a HF diminuiu, o que indica a modulação da FC e a ventilação pelo nervo vago. O K^+ um dia antes do parto mostrou forte associação com o índice de HF. O dia após o parto a correlação entre o K e a FC, HF e LF mostrou forte associação.

Palavras-chave: bovinos, eletrocardiografia, gestação, macrominerais.

INTRODUCCIÓN

Durante la preñez y los primeros días de lactancia ocurren cambios adaptivos morfológicos y funcionales en las vacas. Se observan cambios en los procesos metabólicos y en la actividad de sus mecanismos reguladores relacionados con el crecimiento y desarrollo del feto, como la preparación de la glándula mamaria. Igualmente, se presentan cambios funcionales en los sistemas cardiovascular, digestivo, respiratorio y excretor, entre otros (1).

Las medidas de los parámetros cardiovasculares, incluida la frecuencia cardíaca (FC), se han utilizado como

indicadores de salud y bienestar en muchas especies. El corazón está bajo control simpático y parasimpático y la FC es el efecto de las funciones reguladoras del sistema nervioso autónomo (SNA) (2). Como consecuencia de los mecanismos reguladores en curso, la FC nunca es constante, pero varía de latido a latido, incluso en ausencia de estrés físico. En un animal sano, en reposo, los latidos se producen con una frecuencia variable, es decir, el tiempo (en milisegundos) entre los latidos del corazón cambia de latido a latido. Esta variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es la variación de los intervalos de tiempo entre latido y latido, también conocidos como intervalos R-R (3).

La VFC refleja el equilibrio del tono simpático y parasimpático y se utiliza como un indicador de la actividad del SNA en respuesta al estrés (4). Las reducciones en los valores de los índices de VFC, la desviación estándar del intervalo latido a latido (SDNN) y la raíz cuadrada media de las sucesivas diferencias latido a latido (RMSSD) reflejan un cambio hacia una dominación más simpática, mientras que los aumentos indican un cambio hacia dominación parasimpática (5). Los picos de baja frecuencia (LF nu) en el análisis espectral se asocian con actividad simpática y parcialmente con la parasimpática (6). Los estudios han demostrado la utilidad de la relación LF/HF del espectro de potencia, la cual muestra un aumento en la relación LF/HF como un cambio regulatorio hacia la dominancia simpática (6,7). El alto tono vagal se ha relacionado con la actividad reguladora autonómica eficiente, que permite a un organismo aumentar su sensibilidad y respuesta a los desafíos fisiológicos y ambientales (8).

En animales, la rama parasimpática del SNA desempeña un papel clave en la regulación de la FC en respuesta al estrés (9). Medir el tono vagal cardiaco mediante la RMSSD y la frecuencia alta (HF) es útil para investigaciones del estrés en el ganado lechero en diferentes condiciones fisiológicas (10).

Durante el periodo de transición, en un animal en un ambiente sano y un manejo adecuado, el equilibrio dinámico se hace posible debido a una red de sistemas de control realimentados que constituyen los mecanismos de autorregulación. En las vacas al final de la preñez ocurre hipocalcemia e hipofosfatemia. En promedio, 5 g de calcio (Ca) se transfieren diariamente del organismo materno al fetal (11). La menor concentración de Ca y fósforo (P) se ha observado en el momento del parto (12). A diferencia del Ca y el P, la concentración de magnesio aumentó durante el parto. El magnesio (Mg) en suero puede aumentar recíprocamente a medida que disminuye el Ca (13). De acuerdo con Skrzypczak et al. (14), la regulación del balance de sodio (Na) en vacas adultas sanas es efectiva y la concentración de Na en sangre se mantiene dentro de los límites fisiológicos.

Sin embargo, dependiendo de la condición fisiológica y del periodo de vida, se observan grandes variaciones (15). También durante las últimas semanas de preñez, la concentración de Na en plasma sanguíneo es relativamente estable. Reportan un aumento en la concentración de Na en la última semana de preñez y en el día del parto. Durante las primeras dos semanas después parto, la concentración de Na disminuye significativamente (13). Según Radkowska y Herbut (13) y Grünwaldt et al. (15), la concentración de potasio (K) sérico de las vacas durante la preñez y el comienzo de la lactancia es estable y el rango de valores de referencia es de 3,8 a 5,1 mmol / l.

En teoría las concentraciones de electrolitos en suero pueden afectar la VFC directamente al influir sobre la excitabilidad del músculo cardiaco y la FC, e indirectamente al modificar la presión sanguínea en el momento del parto y del parto. A pesar de esto, no hay estudios que correlacionan las concentraciones de electrolitos con la VFC. Por lo tanto, el estudio se diseñó para determinar la correlación de los parámetros del sistema autónomo nervioso y las concentraciones electrolitos sanguíneos en vacas holstein próximas al parto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y clima

La hacienda está ubicada en el trópico seco. La granja se encuentra a una altitud de 804 (m s. n. m., 22°53'09" S y 48°26'42" O. La región tiene un clima subtropical húmedo, con valores de temperatura y humedad que van desde 5,3 hasta 34,5 °C y desde 62,3 a 85,5 %, respectivamente, durante el periodo de estudio.

Consideraciones éticas

Este proyecto contó con la aprobación del Comité de Ética en el Uso de Animales (CEUA) (n.º 89-2014), y el dueño de la granja dio su consentimiento informado.

Animales

Se seleccionaron veintitrés vacas multíparas ($5,6 \pm 1,5$ partos); son animales aparentemente sanos sin problemas en la etapa de periodo seco. El día exacto de la preñez se calculó a partir de los registros reproductivos (inseminación artificial o servicio natural) con la confirmación de la preñez. Desde el comienzo del periodo seco, los animales permanecieron en un potrero de maternidad donde recibieron ensilaje de maíz tres veces al día. El potrero está provisto de sombra natural y agua a voluntad. Dos semanas antes del comienzo de la prueba, se manipularon las vacas para que se acostumbraran a la instalación y los procedimientos de manejo del electrocardiograma (ECG).

Diseño experimental

Se realizaron 6 registros electrocardiográficos durante el último periodo de la gestación y un día después del parto. Los registros, junto con los muestreos de sangre, se hicieron 35 días antes del parto (-35 d), 28 días antes del parto (-28 d), 21 días antes del parto (-21 d), 14 días antes del parto (-14 d), 7 días antes del parto (-7 d), un día previo al parto (-1 d) y un día posterior al parto (+1 d).

Recolección y análisis de sangre

Las muestras de sangre se tomaron entre 10 y 15 min tras finalizar los registros del ECG. Tras inmovilizar a las vacas en un brete de trabajo, se recogieron muestras de sangre mediante punción a la vena coccígea, utilizando agujas desechables y en tubos vacío con heparina de litio de 2,5 ml. Las muestras se centrifugaron a 3000 r. p. m. durante 8 min, y se almacenaron alícuotas de plasma a -20°C hasta su análisis. Las concentraciones plasmáticas de Ca^{2+} , magnesio Mg^{2+} y fósforo inorgánico (Pi) se analizaron por medio de un espectrofotómetro UV-visible, y el Na^{+} y el K^{+} , mediante fotometría de emisión en llama.

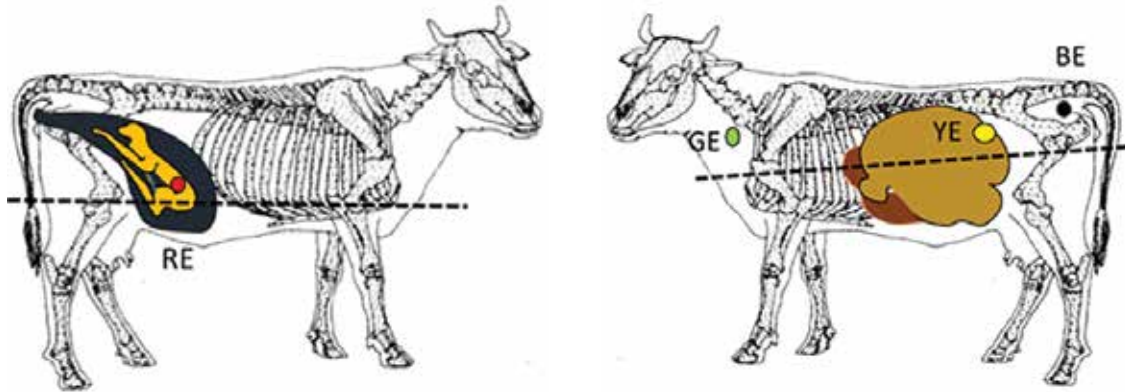
Electrocardiografía

Las mediciones del ECG en las vacas se realizaron con el sistema de grabación Televet 100 (versión 4.2.3, Kruuse, Marslev, Dinamarca). Se rasuraron 2 cm^2 de pelo en los sitios donde los electrodos se adhirieron a las almohadillas autoadhesivas. En el lado izquierdo, el electrodo verde quedó adherido al cuello; el electrodo amarillo, a la región del flanco, y el electrodo negro, a la grupa. En el lado derecho, el electrodo rojo se adhirió al abdomen, a la altura de la babilla, a lo largo de la línea desde la articulación de la babilla hasta la punta del codo (figura 1). Los electrodos se conectaron al dispositivo de grabación Televet 100, que envió los datos por medio de Bluetooth a una computadora.

Análisis de variabilidad de la frecuencia cardíaca

Se utilizó un software para el análisis de la VFC. Se utilizó un intervalo de tiempo de 5 min de cada registro para determinar los índices de VFC (13). Los índices de VFC analizados fueron *dominio de tiempo y frecuencia*. Se evaluó la FC, y en el dominio del tiempo, los índices RR, SDNN y RMSSD. SDNN se usó para reflejar todos los componentes cíclicos de la variabilidad en series registradas de intervalos RR. El índice RMSSD se utilizó como una estimación de las variaciones de alta frecuencia en las grabaciones RR a corto plazo. Los parámetros estudiados del dominio de la frecuencia fueron la baja frecuencia medida en unidades normalizadas (LF nu), la alta frecuencia medida en unidades normalizadas (HF nu) y la relación LF/HF. Se usó LF para examinar modulaciones simpáticas mientras que HF, para evaluar modulaciones parasimpáticas. La relación LF/HF se utilizó para evaluar el equilibrio simpatovagal. Las frecuencias respiratorias divergentes en las vacas se tomaron en cuenta al establecer los límites de la banda de HF a 0,25 Hz (límite inferior) y 0,58 Hz (límite superior) para las vacas (16).

Figura 1. Colocación de electrodos para la electrocardiografía en vacas, RE = electrodo rojo, BE = electrodo negro, YE = electrodo amarillo, GE = electrodo verde



Fuente: Cedeño, archivo personal.

Métodos de estadística

El análisis estadístico se realizó mediante el software SPSS (SPSS 21) para Windows. Para evaluar la normalidad de los valores se usaron pruebas de Kolmogorov-Smirnov, mientras que para comprobar la existencia de diferencias significativas se realizó un ANOVA. Se realizó la prueba de Bonferroni como *post hoc* para los parámetros metabólicos, FC y VFC en todos los tiempos del muestreo. Además, se utilizó una prueba T para comparar las etapas de muestreo con el primer tiempo de mues-

treo. Los resultados se expresan como media (\pm SEM). La significación estadística se estableció en $p < 0,05$.

RESULTADOS

La tabla 1 muestra la FC, el intervalo RR, los índices en el dominio del tiempo (SDNN y RMSSD), los parámetros del dominio de la frecuencia (LF nu y HF nu) y la relación LF / HF en seis momentos antes del parto y un momento después del parto.

Tabla 1. Índices de variabilidad de la frecuencia cardiaca ($x \pm SEM$, mínimo y máximo) en seis momentos durante un periodo de 35 días antes y un día después del parto en vacas holstein

	Días antes del parto						Día después del parto
	Día 35	Día 28	Día 21	Día 14	Día 7	Día 1	Día 1
RR (ms)	849 \pm 37 ^a	776 \pm 25 ^a	783 \pm 29 ^a	802 \pm 26 ^a	792 \pm 19 ^a	762 \pm 33 ^b	757 \pm 24 ^a
	594 – 1035	625 – 937	650 – 974	613 – 1022	667 – 926	616 – 1135	578 – 899
SDNN (ms)	30,9 \pm 3,7 ^{ab}	25,4 \pm 1,5 ^a	34,1 \pm 2,5 ^{ab}	38,1 \pm 3,3 ^b	30,4 \pm 2,6 ^{ab}	28,3 \pm 2,2 ^{ab}	23,6 \pm 2,8 ^a
	22,6 – 47,8	15,1 – 32	21 – 52,8	19 – 61,4	14,9 – 55,1	13,9 – 46,4	11,7 – 38,8
FC (bpm)	71 \pm 3,09 ^a	78 \pm 2,6 ^a	77 \pm 2,7 ^a	76 \pm 2,4 ^a	77 \pm 1,9 ^a	80 \pm 2,9 ^b	79 \pm 2,7 ^a
	57 – 86	64 – 96	61 – 92	59 – 97	64 – 89	52 – 97	67 – 103
RMSSD (ms)	12,9 \pm 1,7	10,9 \pm 1,03	12,1 \pm 1,4	11,5 \pm 1,1	11,7 \pm 1,3	10,7 \pm 1,5	13,9 \pm 1,09
	7,9 – 21	7,1 – 18,4	4,4 – 21,5	5,1 – 22,3	4,7 – 21,5	0 – 27,9	8,5 – 23,4
LF (nu)	91,9 \pm 2,8	91,9 \pm 2,4	91,7 \pm 2,2	91,4 \pm 2,5	87,9 \pm 3	85,1 \pm 3	79,1 \pm 3,8
	76 – 99,7	67 – 98,7	68 – 98,4	60 – 99,1	47 – 98,4	58 – 97,9	56 – 96
HF (nu)	9,8 \pm 1,8	8,3 \pm 2,4	8,1 \pm 2,1	8,2 \pm 2,4	14,2 \pm 3	16,9 \pm 5,1	19,6 \pm 3,8
	1,6 – 13,2	1,3 – 32	1,6 – 31	0,9 – 39,4	1,6 – 52,3	2,1 – 90,5	1,3 – 43,1
LF/HF	13,8 \pm 6,2 ^a	19,7 \pm 5 ^a	21,7 \pm 4,6 ^a	32,6 \pm 7,1 ^b	17,2 \pm 4,3 ^a	15,6 \pm 4,2 ^a	10,0 \pm 4,3 ^a
	2,2 – 63	2 – 46,8	2,1 – 62,6	3,5 – 110	2,6 – 62,8	0 – 27,8	1,6 – 16,9

Prueba de Bonferroni: dentro de la línea, las letras en superíndice (a, b) denotan una diferencia significativa, $x \pm SEM$, error estándar de la media, $p < 0,05$; FC = frecuencia cardiaca; RR = intervalo latido a latido; SDNN = desviación estándar de la diferencia entre intervalos RR consecutivos; RMSSD = raíz cuadrada de la media de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos RR; LF nu = baja frecuencia medida en unidades normalizadas; HF nu = alta frecuencia medida en unidades normalizadas; relación LF/HF.

Fuente: elaboración propia

Se encontraron cambios significativos en la FC. La FC se mantuvo estable desde el momento día 35 (244 días de gestación) hasta el momento del parto que aumentó significativamente a valores de $80 \pm 2,9$ l. p. m. Cae a su normalidad al día siguiente del parto. En este periodo de gestación (244-279 días), el índice, la SDNN, manifestó cambios significativos durante los 35 días antes y después del parto, cuando el parámetro cae significativamente ($23,6 \pm 2,8$). El parámetro de dominio de tiempo, RMSSD, fue descendiendo hasta el día del parto pero no alcanzó cambios significativos. Con respecto a los índices del dominio de la frecuencia, LF y HF, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las grabaciones antes o después del parto. Sin embargo, la relación LF/HF fue significativa-

mente diferente ($p < 0,05$) entre el día 14 antes del parto y 24 h después del parto.

En la tabla 2 se muestra el comportamiento de los iones en el último mes de gestación y un día después del parto. La concentración de calcio fue relativamente estable durante el último mes de gestación. Los valores promedio fueron de $8,5 \pm 0,5$ mg / dL y disminuyeron después del parto a $7,9 \pm 0,7$ mg / dL, sin cambios estadísticamente significativos. La concentración promedio de fósforo mostró una tendencia a disminuir significativamente desde el día 35 preparto ($6,8 \pm 1,2$ mg / dL, $P = 0,03$). Después del parto, la concentración plasmática de fósforo disminuyó significativamente ($5,4 \pm 1,2$ mg/dL; $P = 0,007$). El tiempo de muestreo tuvo un

efecto significativo sobre el Mg, con una disminución significativa desde el día 21 ($2,3 \pm 0,2$ mg / dL, $P = 0,02$) y el día 1 antes del parto ($2,2 \pm 0,3$ mg / dL; $P = 0,008$). El Na desde el día 35 ($119,9 \pm 1,4$ mEq/L) aumentó gradualmente hasta el día después del parto con valores no significativos. El K no mostró cambios significativos durante el periodo de estudio.

En la tabla 3 se muestra la correlación de algunos metabolitos con los índices de VFC. En el primer día después del parto, se observó una fuerte asociación entre el K y la HF ($R = 0,93$; $P = 0,002$). Del mismo modo, el Na mostró una fuerte correlación con la relación LF/HF ($R = 0,73$; $P = 0,04$). Un día antes del parto, se determinó una fuerte asociación entre el K con HF nu ($R = -0,78$; $P = 0,03$).

Tabla 2. Concentración de iones electrolitos en plasma sanguíneo ($x \pm$ SEM, mínimo y máximo) en seis momentos de vacas holstein en la preñez tardía

Parámetro	Días antes del parto					Después del parto	
	Día 35	Día 28	Día 21	Día 14	Día 7	Día 1	Día 1
Sodio (mEq/L)	$119,9 \pm 1,4^a$	$120,8 \pm 2,6^a$	$127,2 \pm 3,8^a$	$127,9 \pm 2,7^b$	$123,8 \pm 2,2^a$	$123,5 \pm 1,8^a$	$128,1 \pm 2,4^a$
	111 – 125	102 – 135	108 – 154	114 – 152	107 – 143	102 – 134	113 – 149
Potasio (mEq/L)	$3,4 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,1$	$3,6 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$
	3,1 – 3,9	2,7 – 4,1	2,9 – 4,5	3,1 – 4,9	2,9 – 4,8	2,7 – 4,3	3 – 5
Magnesio (mg/dL)	$2,4 \pm 0,1^c$	$2,4 \pm 0,1^{bc}$	$2,3 \pm 0,1^{ab}$	$2,2 \pm 0,1^{bc}$	$2,2 \pm 0,1^{bc}$	$2,2 \pm 0,1^a$	$2,3 \pm 0,1^c$
	2,1 – 2,5	1,9 – 3,3	1,9 – 2,6	1,6 – 2,6	1,6 – 2,4	1,6 – 2,6	1,9 – 2,9
Fósforo (mg/dL)	$6,8 \pm 0,4^{bc}$	$6,5 \pm 1^{abc}$	$6,5 \pm 0,4^c$	$5,6 \pm 0,3^{abc}$	$5,9 \pm 0,3^{ab}$	$6,5 \pm 0,3^a$	$5,4 \pm 0,3^{abc}$
	4,8 – 8,5	4,3 – 11,2	4,5 – 9,1	3,8 – 8,1	3,6 – 8,3	4,4 – 9,4	3,1 – 8,1
Calcio (mg/dL)	$8,5 \pm 0,1$	$8,6 \pm 0,3$	$8,2 \pm 0,1$	$7,9 \pm 0,2$	$8,3 \pm 0,2$	$8,4 \pm 0,1$	$7,9 \pm 0,1$
	7,8 – 9,1	7,2 – 11,6	7 – 8,8	6,5 – 9,2	6,4 – 9,9	7,6 – 9,6	6,8 – 8,7

Prueba de Bonferroni: dentro de la línea, letras de diferentes superíndices (a, b, c) denotan una diferencia significativa, $x \pm$ SEM, error estándar de la media, $p < 0,05$

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Correlación parcial (frecuencia cardiaca como covariante) entre índices de variabilidad de la frecuencia cardiaca y parámetros bioquímicos en vacas holstein en la preñez tardía

Parámetro	Índices de variabilidad de frecuencia cardiaca	Momento de la toma	R	P-valor
Sodio (mEq/L)	HF (nu)	Día 28 preparto	-0,83	0,02
Sodio (mEq/L)	LF/HF Ratio	Día 1 posparto	0,73	0,04
Potasio (mEq/L)	HF(nu)	Día 1 preparto	-0,78	0,03
Potasio(mEq/L)	HF(nu)	Día 1 posparto	-0,93	0,002

R = coeficiente de correlación; $p < 0,05$

Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

Hay pocos estudios sobre la evaluación de la VFC en ganado lechero. Se investigaron los índices de VFC en el dominio del tiempo y de la frecuencia, así como las concentraciones de electrolitos séricos en el periodo del parto de vacas multíparas de la raza holstein, para describir cambios entre los latidos del corazón y la actividad metabólica.

Un aumento lento pero continuo en la FC durante la gestación junto con la disminución rápida después del parto en el presente estudio indica que la preñez tiene un efecto considerable en el sistema cardiovascular. En ese momento hay dominio y estimulación simpática, lo que acelera la despolarización del SNA, produce taquicardia y disminuye la VFC (17). En contraste con la FC, la VFC en las vacas mostró solo cambios menores, no significativos durante el último mes de la gestación y el primer día después del parto. Los índices RMSSD y HF no aumentaron el día después del parto, lo que muestra un predominio parasimpático (representa una mayor VFC) y manifiesta un aumento de la función reguladora y de la capacidad de mantener la homeostasis del SNA (18). Mientras que el índice simpátovagal (relación LF/HF) disminuyó significativamente desde la línea de base hasta el día del parto, lo que demuestra un predominio vagal. Las vacas con este comportamiento fisiológico que manifiesta un mayor tono vagal tienen una capacidad de adaptación eficiente al estrés del parto (6). La relación LF/HF proporciona información esencial sobre el estado del equilibrio simpátovagal en el ganado lechero. Un aumento en la relación LF/HF se interpreta como un cambio regulatorio hacia el simpático y una disminución de la dominancia parasimpática (17). El último mes de gestación de las vacas mantenidas en un potrero, que garantice buena sombra, alimentación y un manejo eficiente respetando los principios de bienestar animal, tiene un efecto sobre los índices de VFC de las vacas para enfrentar distintos niveles de estrés y mantener la homeostasis metabólica.

En los periodos preparto y posparto hay cambios fisiológicos en ciertos metabolitos. Estos cambios no son

necesariamente indicativos de enfermedad, sino que reflejan las variaciones fisiológicas. La caída las concentraciones de Ca sérico ocurre al parto o en los primeros días después del parto. Esta reducción en Ca^{2+} es causada por el inicio de la lactancia, donde ocurre una importante pérdida de este en calostro y leche (19). Las vacas multíparas tienden a tener concentraciones bajas de Ca^{2+} . Una de las razones es la disminución del número de receptores para 1,25-dihidroxitamina D en el intestino, lo que tiene como resultado una menor absorción del mineral (20). Esta situación podría explicar el límite inferior muy bajo determinado para el Ca.

Durante el parto se observaron cambios en la concentración de electrolitos, especialmente en variaciones de Na, resultado de la alta actividad en el sistema renina-angiotensina-aldosterona al final de la preñez y de la sinergia con vasopresina, lo que puede conducir al balance de Na^+ . Menor excreción de Na y agua a través del tracto urinario puede causar un aumento en el volumen de fluido extracelular. En este estudio el aumento en concentración de Na inmediatamente antes del parto puede estar asociado a un aumento en la concentración de aldosterona observada inmediatamente antes del parto y durante la primera semana de lactancia (21). Las vacas en este estudio mostraron una concentración de K estable que varió durante la preñez de 3,4 a 3,9 mmol/l. Se observó una disminución en la concentración de este electrolito al inicio del estudio con una alta estabilidad en las siguientes semanas.

En el día 35 antes del parto, el Na plasmático en las vacas presentó bajas concentraciones. Desde este momento, las concentraciones de Na comenzaron a aumentar en forma significativa hasta el parto. La concentración de Na modula la presión sanguínea (22) en consecuencia a la VFC (23). En el estudio actual, en el primer día antes del parto, se determinó una correlación significativa entre el Na plasmático y la variabilidad de la FC, lo que indica una disminución en la actividad del nervio simpático. Un día después del parto se registró la presencia de una fuerte correlación entre el Na, el índice de relación LF/HF y la FC; esto implica el predominio de un tono vagal (8). Un día antes del parto, la FC mostró una di-

ferencia significativa. En este mismo punto de tiempo, el K mostró una fuerte asociación con el índice HF, lo que indica un cambio hacia la dominancia parasimpática. Mientras que el día después del parto la correlación entre el K y la FC, las frecuencias bajas y altas mostraron una fuerte asociación, hecho que implica una modulación cardiaca y respiratoria con dominancia vagal (6).

CONCLUSIONES

De los electrolitos estudiados, aparte del Na y el K, hubo una asociación significativa con los parámetros de la VFC, en especial un día antes y después del parto. Las concentraciones de electrolitos pueden modular la VFC a través de sus efectos sobre la excitabilidad del corazón y la presión arterial en el momento del parto.

REFERENCIAS

1. Kornmatitsuk B, Veronesi MC, Madej A, Dahl E, Ropstad E, Beckers JF, et al. Hormonal measurements in late pregnancy and parturition in dairy cows--possible tools to monitor foetal well being. *Anim Reprod Sci.* 2002;72(3-4):153-64. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(02\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(02)00092-1)
2. Berntson GG, Bigger JT, Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M, et al. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology.* 1979;34(6):623-48. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
3. Kovács L, Jurkovich V, Bakony M, Szenci O, Póti P, Yózsér T. Welfare implication of measuring heart rate and heart rate variability in dairy cattle: literature review and conclusions for future research. *Animal.* 2014;8(2):316-30. <https://doi.org/10.1017/S1751731113002140>
4. McMullen MK, Whitehouse JM, Shine G, Towell A. Respiratory and non-respiratory sinus arrhythmia: Implications for heart rate variability. *J Clin Monit Comput.* 2012;26(1):21-8.
5. Madwed JB, Albrecht P, Mark RG, Cohen RJ. Low-frequency oscillations in arterial pressure and heart rate: a simple computer model. *Am J Physiol* 1989;256(6 Pt 2):H1573-9. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1989.256.6.H1573>
6. Akselrod S, Gordon D, Madwed JB, Snidman NC, Shannon DC, Cohen RJ. Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *Am J Physiol.* 1985;249(4 Pt 2):867-75. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1985.249.4.H867>
7. Levy MN, Martin PJ. Neural control of the heart. En: Berne RM, editor. *Handbook of physiology.* Bethesda: American Physiological Society; 1978. p. 37-354.
8. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DS, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuations: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science.* 1981;213(4504):220-2. <https://doi.org/10.1126/science.6166045>
9. Abboud S, Sadeh D. Power spectrum analysis of fetal heart rate variability using the abdominal maternal electrocardiogram. *J Biomed Eng.* 1990;12(2):161-4. [https://doi.org/10.1016/0141-5425\(90\)90138-D](https://doi.org/10.1016/0141-5425(90)90138-D)
10. Hansen SS, Ersbøll, Blom AK, Jørgensen JY. Preventive strategies and risk factors for milk fever in Danish dairy herds: a questionnaire survey. *Prev Vet Med.* 2007;80(4):271-86. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.03.002>
11. Kamiya Y, Kamiya M, Tanaka M, Shioya S. Effects of calcium intake and parity on plasma minerals and bone turnover around parturition. *Anim Sci J.* 2005;76(4):325-30. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2005.00271.x>
12. Drackley JK. Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J Dairy Sci.* 1999;82(11):2259-73. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3)
13. Radkowska I, Herbut E. Hematological and biochemical blood parameters in dairy cows depending on the management system. *Anim Sci Pap Rep.* 2014;32(4):317-25. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/223e/f6aeced0e13b4f62eed0c23b683a5d0701a.pdf>

14. Skrzypczak W, Kurpińska A, Stański L, Jarosz J. Sodium, potassium and chloride homeostasis in cows during pregnancy and first months of lactation. *Acta Biol Cracov Ser Zool.* 2014;55/56:58-64. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/fab5/ad07db9f8e-49639d5500aaec69addaa158e8.pdf>
15. Grünwaldt EG, Guevara LC, Estévez OR, Vicente A, Rousselle H, Alcuten N, Aguerregaray D, Stasi CR. Biochemical and haematological measurements in beef cattle in Mendoza plain rangelands (Argentina). *Trop Anim Health Pro.* 2005;37(6):527-40.
16. Tarvainen MP, Niskanen JP. Kubios HRV Version 2.0. User's Guide. Kuopio, Finlandia: Universidad de Kuopio; 2008.
17. Von Borell E, Langbein J, Després G, Hansen S, Leterrier C, Marchant-Forde J, et al. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals--a review. *Physiol Behav.* 2007;92(3):293-316. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.01.007>
18. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology, North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation.* 1996;93(5):1043-65.
19. Kamiya Y, Kamiya M, Tanaka M. The effect of high ambient temperature on Ca, P and Mg balance and bone turnover in high-yielding dairy cows. *Anim Sci J.* 2010;81(4):482-6. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2010.00761.x>
20. Horst RL, Goff JP, Reinhardt TA. Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow. *J Dairy Sci.* 1994;77(7):1936-51. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77140-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77140-X)
21. Yokus B, Cakir UD. Seasonal and physiological variations in serum chemistry and mineral concentrations in cattle. *Biol Trace Elemen Res.* 2006;109(3):255-66. <https://doi.org/10.1385/BTER:109:3:255>
22. Falkner B, Kushner H. Effect of sodium loading on cardiovascular response in young blacks and whites. *Hypertension.* 1990;15(1):36-43. <https://doi.org/10.1161/01.HYP.15.1.36>
23. McNeely JD, Windham BG, Anderson DE. Dietary sodium effects on heart rate variability in salt sensitivity of blood pressure. *Psychophysiology.* 2008;45(3):405-11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00629.x>