

Variabilidad de la frecuencia cardiaca en bovinos - Monografía

Gabriela Viuche Torres, Miguel Angel Vargas Bernal
& María Alejandra Cuenca Quimbayo

Director (a):
Adriana María Pedraza Toscano MV, MSc, PhD

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Médico(a) Veterinario

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Medicina Veterinaria
Programa de Medicina Veterinaria
Bogotá D.C
Agosto de 2020

Dedicatoria

A mi bebé, que es la razón de mi vida, el que siempre me da más de lo que puede y espero retribuírselo de la mejor manera, mi padre.

A mi madre, que me hizo una mujer fuerte y capaz como ella, a la que quiero enorgullecer en todo momento.

A mis hijitos de cuatro patas, que son mi motivación para cada reto que asumo, me alientan y por sobre todo me alivian cuando estoy a punto de rendirme.

A mis abuelos, que siempre han creído en mí y me han apoyado en todo sentido brindándome su sabiduría y su mano en cada paso de mi vida.

A mi madrina, porque la distancia física es nada, la pienso y abrazo en cada logro.

A mi amor, por creer en mí desde el primer momento, y acompañarme con tanta paciencia y comprensión hasta en los malos días.

Gabriela V.

Especialmente a mi madre, que siempre ha estado allí cuando la necesito y es la principal razón de mi esfuerzo y felicidad quiero dedicar este logro con todo mi amor.

A mi perrito que ha estado a mi lado durante 19 años, y más que un apoyo emocional ha sido mi mejor amigo.

A mi hermana porque me aconseja en cada paso que doy y siempre quiere lo mejor para mi.

Miguel V.

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida, quiero agradecer profundamente a Dios, a mi familia, a mi novio, mis amigos, a Dasha y a todas aquellas personas que hicieron esto posible y que caminaron junto a mí incondicionalmente, brindándome apoyo, amor, fortaleza y siendo mi inspiración.

Especialmente agradezco a mi mamá por ser mi motor y mi guía, sin ella nada hubiese sido posible, por su firmeza hasta en los momentos difíciles, por ser mi brújula y mi mapa, cuando me sentía perdida.

A mi abuela, por su compañía y su dedicación, por creer en mí desde el primer momento.

A Michael, por ser mi motivación, mi cómplice, mi luz, mi apoyo incondicional, y mi verdadero amor.

A mi hermano, por enseñarme a luchar, a creer, a soñar y a volar.

A Dasha, porque me brindó compañía, paz, fortaleza, alegría y las ganas de luchar hasta el final.

A mi padre, por su cariño y su dedicación, por enseñarme a ser un excelente ser humano.

María A.

Agradecimientos

Solo quiero agradecer a la Dra Adriana Pedraza, directora de este trabajo, que desde inicios de esta carrera que estoy por culminar me alentó a ser mejor cada día, con paciencia, dedicación y sabiduría se ha convertido en un ideal a seguir para mi futura vida profesional. Gracias por dejar tantas huellas en este camino, por ser partícipe y coautora de este escrito que hoy me acerca cada vez más a lo que sueño ser.

Y a mis compañeros de trabajo Male y Migue, que soportaron mi impaciencia y carácter desde la primera idea de este proyecto, gracias por ser tan buenos amigos y futuros colegas, estoy muy orgullosa de ustedes.

Gabriela V.

Agradezco a la Dra Adriana Pedraza, por guiarnos incondicionalmente, por ser una excelente tutora, docente y sobretodo por ser un excelente ser humano. Gracias por tanta calidez y por tanto cariño. Te admiro profundamente.

También quiero agradecer a Miguel y a Gabriela, por su amistad, por su paciencia, por apoyarme y por acompañarme en este proceso, los quiero con todo mi corazón, mis futuros colegas.

María A.

Resumen

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un parámetro muy importante, para evaluar la actividad eléctrica del corazón y el funcionamiento del sistema nervioso autónomo, especialmente el equilibrio entre la actividad simpática y la actividad vagal. En un animal sano, en reposo, la frecuencia entre cada latido es más variable, debido a la flexibilidad y la capacidad de adaptación que se requiere para hacer frente rápidamente a estímulos tanto internos, como externos, que puedan alterar la homeostasis del animal. Es por ello, que la medición de la VFC se ha empezado a utilizar con mayor incidencia en el campo de investigación con animales, para analizar los cambios en el equilibrio simpático-vagal relacionados comúnmente con enfermedades y situaciones de alto estrés psicológico o ambiental. Este trabajo analiza la investigación reciente y antigua de VFC en animales de granja, describe cómo se regula la actividad cardíaca y las relaciones entre VFC, equilibrio simpático-vagal, estrés y bienestar animal. Posteriormente hace una introducción a los tipos de equipos y enfoques metodológicos que se han adaptado y desarrollado para medir los intervalos entre latidos (IBI) y estimar la VFC en estos animales. A lo largo del trabajo se analizan experimentos, métodos y conclusiones derivadas de la medición de VFC en bovinos.

Abstract

Heart rate variability (HRV) is a very important parameter to assess the electrical activity of the heart and the functioning of the autonomic nervous system, especially the balance between sympathetic activity and vagal activity. In a healthy animal, at rest, the frequency between each beat is more variable, due to the flexibility and adaptability required to quickly cope with both internal and external stimuli that can alter the homeostasis of the animal. For this reason, HRV measurement has begun to be used with greater incidence in the field of research with animals, to analyze the changes in the sympathetic-vagal balance commonly related to diseases and situations of high psychological or environmental stress. This work analyzes the recent and old research on HRV in farm animals, describes how cardiac activity is regulated and the relationships between HRV, sympathetic-vagal balance, stress and animal welfare. It then introduces the types of equipment and methodological approaches that have been adapted and developed to measure heartbeat intervals (IBI) and estimate HRV in these animals. Throughout the work, experiments, methods and conclusions derived from the measurement of HRV in cattle are analyzed.

Tabla de contenido

Abstract.....	4
1. Introducción.....	7
2. Planteamiento del Problema... ..	8
3. Justificación	9
4. Objetivos.....	10
4.1. Objetivo General.....	10
4.2. Objetivos específicos.....	10
5. Metodología.....	11
6. Resultados.....	12
6.1. Estado del Arte.....	12
6.1.1. Frecuencia Cardiacas.....	13
6.1.2. Sistema de Conducción del Corazón	14
6.1.3. Variabilidad de la Frecuencia Cardiacas.....	15
6.1.3.1. Medición de la VFC:.....	17
6.1.3.2. Factores que influyen en la VFC.....	27
6.1.3.3. Dominio de Tiempo y Dominio de Frecuencia:.....	32
6.1.3.4. Variabilidad de la Frecuencia Cardiacas en Bovinos.....	34
7. Discusión.....	37
8. Conclusiones.....	39
Bibliografía.....	40

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Esquema de control autónomo cardiovascular.....	16
Ilustración 2. Vaca de ordeño equipada con cinturón pectoral, dispositivos y electrodos...19	
Ilustración 3. Intervalos y segmentos importantes del electrocardiograma.....	21
Ilustración 4. Montura de electrodos y colocación de los electrodos en el bovino.....	23
Ilustración 5. Vaca experimental usando equipo de medición.....	30

1. Introducción

La variabilidad de la frecuencia cardiaca es un parámetro muy importante, que nos permite evaluar la actividad eléctrica del corazón. En un animal sano, en reposo, la frecuencia entre cada latido es más variable, debido a la flexibilidad y la capacidad de adaptación que se requiere para hacer frente rápidamente a diferentes estímulos, tanto internos como externos, que puedan alterar la homeostasis del animal (Rodas, 2008). Debido a esto, se utilizan herramientas tales como el electrocardiograma tipo Holter, el cual facilita el análisis de este parámetro.

A lo largo del presente trabajo, se abordarán las generalidades de la VFC principalmente en bovinos, así como los diferentes conceptos que nos ayudarán a entender los propósitos de esta revisión, que son: recopilar información sobre el estado actual de la medición de la VFC, técnicas, manejo, análisis e interpretación de datos; así como la identificación de áreas de investigación futura sobre VFC que puedan mejorar nuestra capacidad para evaluar el estrés y el estado de bienestar de los bovinos.

2. Planteamiento del Problema

El uso de la VFC es usada principalmente en medicina humana, enfocada en el área deportiva, para el control y seguimiento de la carga de entrenamiento y los efectos que este causa en el organismo (García, 2012) , aunque también es usado como predictor de enfermedades cardiovasculares, no se realizan las mediciones con la debida frecuencia y por ende le dificulta al clínico predecir futuras alteraciones (Veloza et al, 2019).

En medicina veterinaria su uso ha venido en aumento estudiando diferentes especies, entre ellos se encuentran: comparación de parámetros hemodinámicos entre especies domésticas (Manzo, Ootaki, Ootaki, Kamohara & Fukamachi , 2009), uso de VFC como indicador de estrés en bovinos (Kovács, Kézér, Jurkovich, Kulcsár-Huszenicza & Tózsér , 2016), inclusive evaluando el efecto de la postura y la temperatura en la VFC (Frondelius, Jarvenranta, Koponen & Mononen, 2015) entre otras publicaciones. Sin embargo, en la actualidad existe poca literatura que aborde la VFC en razas bovinas (Quevedo, Lourenço, Bolaños, Alfonso, Ulian & Chiacchio, 2019).

Pregunta investigativa

¿Cómo se pueden relacionar las alteraciones en la VFC con los cambios en el entorno o condiciones climáticas a los que se someten los animales y que pueden ser generadores de estrés?

3. Justificación

La importancia de este estudio se basa en la revisión de literatura referente a la variabilidad de la frecuencia cardiaca en bovinos, además de analizar, comprender y establecer su posible relación con factores ambientales, que puedan generar estrés en los animales, afectando así su bienestar (Gygax & Nosal, 2006).

A largo plazo la medición de la VFC podría ser un parámetro a tener en cuenta en el abordaje clínico del paciente

4. Objetivos

4.1 Objetivo General:

- Determinar el potencial de acción de la variabilidad de la frecuencia cardiaca en bovinos.

4.2 Objetivos específicos:

1. Explicar detalladamente qué es la variabilidad de la frecuencia cardiaca.
2. Identificar los factores que están relacionados con la variabilidad de la frecuencia cardiaca en bovinos.
3. Realizar una compilación de información que nos permita entender la importancia de la VFC como herramienta en la clínica

5. Metodología

Para el presente trabajo, se realizó una revisión de literatura en las bases de datos de Google Scholar, National library of medicine (PubMed) & Science Direct acerca de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en bovinos. Para la búsqueda se tuvieron en cuenta los artículos de investigación y revisión, publicados entre los años 1980 a 2019 en inglés y en español. El criterio de inclusión que comparten los artículos de investigación consultados fue que las vacas estuvieran clínicamente sanas. Para la búsqueda se utilizaron las siguientes combinaciones de términos: Variabilidad de la frecuencia cardíaca en bovinos O Variabilidad de frecuencia cardíaca en animales de granja O Heart rate variability in cows O HRV in cows O Sistema nervioso autónomo y frecuencia cardíaca O sistema nervioso autónomo y variabilidad de la frecuencia cardíaca.

6. Resultados

Durante la búsqueda en las diferentes bases de datos encontramos aproximadamente 53 artículos relacionados a variabilidad de la frecuencia cardiaca en bovinos entre los años 1980 y 2019. Los artículos encontrados incluyen comunicaciones cortas y artículos de investigación principalmente.

6.1 Estado del Arte

El corazón funciona como una bomba muscular, con ciclos sucesivos repetitivos mecánicos y eléctricos, los cuales inician con la generación de un potencial de acción en el nodo sinusal; este ciclo alterna entre una fase de relajación y llenado ventricular denominada diástole y una fase de contracción y eyección llamada sístole (Anónimo, 2019). El corazón de los mamíferos consta de cuatro compartimentos compuestos por dos aurículas, y dos ventrículos. Las aurículas son cámaras receptoras superiores para el retorno de la sangre venosa (Rehman & Rehman, 2019), y los ventrículos comprenden la mayor parte del volumen del corazón, se encuentran debajo de las aurículas y bombean la sangre desde el corazón hacia los pulmones y las arterias (Gutiérrez, 2013). La aurícula derecha recibe la sangre desoxigenada de todo el cuerpo, a excepción de los pulmones, a través de las venas cavas superior e inferior (Rehman & Rehman, 2019). La sangre desoxigenada fluye al ventrículo derecho y se bombea a los pulmones a través de las arterias pulmonares, donde se eliminan los desechos y se reemplaza el oxígeno (Tucker, Weber & Burns, 2020). La sangre oxigenada se transporta a través de las venas pulmonares hacia la aurícula izquierda y entra al ventrículo izquierdo. Cuando el

ventrículo izquierdo se contrae, la sangre se expulsa a través de la aorta hacia el sistema arterial (Shaffer & Ginsberg, 2017).

6.1.1 Frecuencia Cardíaca

La frecuencia cardíaca (FC), es uno de los parámetros más utilizados para analizar y evaluar la actividad del corazón. En un animal sano, en reposo, la frecuencia entre cada latido es más variable (Rodas, 2008) y a esta variación se le denomina Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC), definiéndose como el cambio que ocurre entre un intervalo de latidos cardíacos consecutivos, que nos permite obtener información acerca del funcionamiento del Sistema Nervioso Autónomo. (SNA) (Gallo, 2001) Además de reflejar la regulación del equilibrio autónomo la FC: regula la presión arterial, el intercambio de gases, el intestino, el corazón y el tono vascular, que se refiere al diámetro de los vasos sanguíneos que regulan la presión sanguínea (Gevirtz et al 2016, citado por: Shaffer 2014).

El músculo cardíaco cuenta con ciertas propiedades que soportan sus funciones tanto eléctrica (despolarización) como mecánica (contracción). Las propiedades eléctricas son: Cronotropismo (o automatismo) genera impulsos capaces de activar el tejido y producir una contracción. Dromotropismo (o conductividad) es la capacidad que tiene el miocárdio de poder transmitir o conducir el impulso, Batmotropismo (o excitabilidad) es la capacidad que tiene el músculo cardíaco de responder a un estímulo y generar un potencial de acción (Barco, Pedroso, García, Navarro & Regal, 2018). Las propiedades mecánicas son:

Inotropismo (o contractibilidad) es la capacidad que tiene el músculo cardíaco de transformar en fuerza contráctil la respuesta a un estímulo. Lusitropismo (o relajación) se refiere a la capacidad de relajación que tiene el músculo cardíaco, forma parte del proceso excitación-contracción-relajación y como la contracción, también depende del ATP y del calcio. La relajación determina el tiempo de llenado ventricular y consecuentemente incidirá en el volumen sistólico. (Hunter, 2016)

6.1.2 Sistema de conducción del corazón

Debido a esta regulación autónoma, el corazón trabaja sin necesidad de estímulos externos, y es controlado por un sistema de impulsos eléctricos que controlan las células musculares, que a su vez se contraen debido a un potencial de acción. Estas células, también denominadas miocitos, se encuentran comunicadas unas con otras formando un “sincitio” por el cual se transmiten los impulsos eléctricos. Una vez que un miocito desencadena un potencial de acción será transmitido a todo el tejido cardíaco logrando su contracción casi en simultáneo. En resumen, este sistema, permite que el impulso generado en el nodo sinusal sea propagado y estimule al miocardio causando su contracción. Cabe resaltar que, cualquier célula muscular cardíaca puede iniciar un latido (Cunningham, 2009. Citado por Gallo et al, 2017), la mayoría de las células tienen la capacidad de mantenerse estables cuando este potencial está en reposo.

Este sistema de conducción, está conformado por el nodo sinusal, el nodo auriculoventricular (nodo AV), el haz de His (el cual es la continuación del nodo AV) y la fibras de Purkinje. El nodo AV se encuentra en la base del septo interauricular, su principal función es la de transmitir estímulos de las aurículas a los ventrículos, además de esto limita la cantidad de

estímulos que llegan a los ventrículos para evitar arritmias (Cunningham, 2009. Citado por Gallo et al, 2017). Las fibras de Purkinje son el último componente del sistema de conducción debido a que son las encargadas de provocar la despolarización de los ventrículos, transmitiendo la activación eléctrica que se originó en el nodo sinusal.

6.1.3 Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca:

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) consiste en cambios en los intervalos de tiempo (milésimas de segundo) entre latidos cardíacos consecutivos llamados intervalos entre latidos (IBI) (McCraty & Shaffer, 2015). Sin embargo, las oscilaciones de un corazón sano son complejas y cambian constantemente, lo que permite que el sistema cardiovascular se adapte rápidamente a los desafíos físicos y psicológicos repentinos de la homeostasis. (Shaffer & Ginsberg, 2017). La FC y la VFC se relacionan de una manera inversamente proporcional en cuanto la intensidad y carga de trabajo se refiere, pues a medida que la frecuencia cardíaca aumenta la variabilidad disminuye, de igual forma cuando la frecuencia cardíaca disminuye la variabilidad aumenta (Rodas, Carballido, Ramos & Capdevila, 2008). En un individuo clínicamente sano, hay un equilibrio constante en las ramas del sistema nervioso autónomo (SNA), entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP), puesto que estas ramas inervan al corazón (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014) tal y como se puede observar en la *ilustración 1*. Las neuronas preganglionares simpáticas se encuentran en la médula espinal, concretamente en los primeros segmentos torácicos (Gutiérrez, 2013) mientras que las neuronas preganglionares parasimpáticas se encuentran en el núcleo dorsal del vago (Carvajal, 2016). Una mayor oscilación en la VFC indica un óptimo nivel del organismo para tener la

capacidad de autorregulación, adaptabilidad y la recuperación ante estímulos internos y/o externos, significando un dominio del sistema nervioso parasimpático. Por el contrario, cuando hay una disminución en la VFC nos indica un dominio del sistema nervioso simpático (Borrell et al, 2007. Citado por Trenk, 2015).

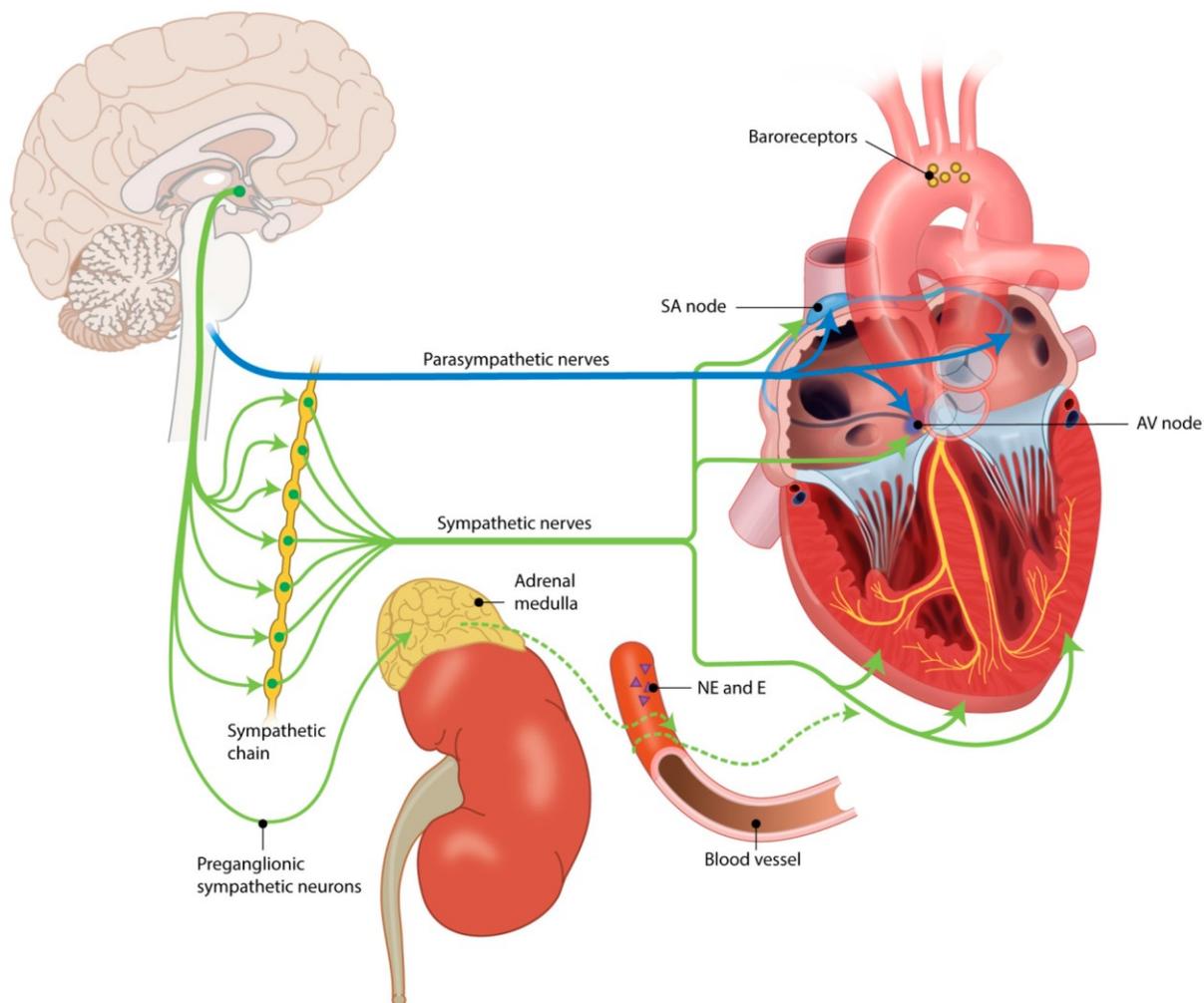


Ilustración 1. Esquema de control autónomo cardiovascular. En *Postnatal Cardiac Autonomic Nervous Control in Pediatric Congenital Heart Disease*, 2016, J. Cardiovasc. Dev. Dis. Derechos de autor (2016) por Nederend, Jongbloed, De Geus, Blom. Adaptación autorizada.

El SNP debilita la fuerza de contracción a través de impulsos eléctricos vagales de alta frecuencia, proceso mediado por la acetilcolina que se une con los receptores muscarínicos M2 en las células marcapasos del corazón (Farías, Mascher, Paredes, Torres & Juárez, 2010), provocando el incremento en la permeabilidad de las membranas a los iones de potasio, causando un incremento en la negatividad al interior de las células (hiperpolarización) y, de esta forma se vuelven menos excitables (Alfonso & Báez, 2008). Por otro lado el SNS aumenta la frecuencia e intensidad de la FC por acción de los neurotransmisores adrenalina y/o noradrenalina (Farias et al., 2010), los cuales aumentan la permeabilidad en la membrana para los iones Na^+ Y Ca , permitiendo una mayor facilidad en la excitación en el nodo sinusal, y facilitando la excitación del potencial de acción en el nodo A-V y los haces A-V disminuyendo el tiempo de circulación de los atrios a los ventrículos (Alfonso & Báez, 2008).

Mientras el animal está en reposo, está regulado por el sistema parasimpático (inervación vagal), en comparación cuando se realiza actividad física, se asocia una disminución de la actividad parasimpática y un aumento simpático (Vargas, Galindo, Pedraza & Vargas, 2018)

6.1.3.1 Medición de la VFC:

Existen varios métodos y equipos para medir la VFC. La forma más común en la que podemos medir la VFC, es a través del electrocardiograma (ECG). Actualmente existen otros dispositivos para medir la VFC, que se utilizan principalmente para la investigación en medicina deportiva, pero que han servido también para evaluar dichos parámetros en medicina veterinaria. (Von Borell, 2007)

Hay modelos diferentes disponibles en el mercado que registran la actividad cardíaca y detectan intervalos entre latidos (IBI), en una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. El primer modelo (S810i) puede registrar un promedio de 70 latidos por minuto (lpm), su tiempo máximo de grabación es de 4 horas. El S810i, y su predecesor, el Vantage NV (almacena 4000 intervalos RR), se han aplicado ampliamente en investigación veterinaria y conductual.

Otro dispositivo con el que se puede tener acceso a los intervalos R-R es el Polar Recorder (modelos H6, H7, H10) el cual es un monitor ambulatorio digital de 24 horas que puede grabar datos de IBI durante períodos mucho más largos (Tulppo et al., 2003).

Además, este dispositivo también puede almacenar periodos de tiempo cortos (20 s) de ECG que no es posible con los otros modelos Polar. Para el uso de estos dispositivos en bovinos se fija una banda alrededor del tórax en posición craneal y se ajustan los dos electrodos a nivel de la escápula y a nivel de la articulación del codo, como se observa en la ilustración 2.(Wierig et al, 2018)

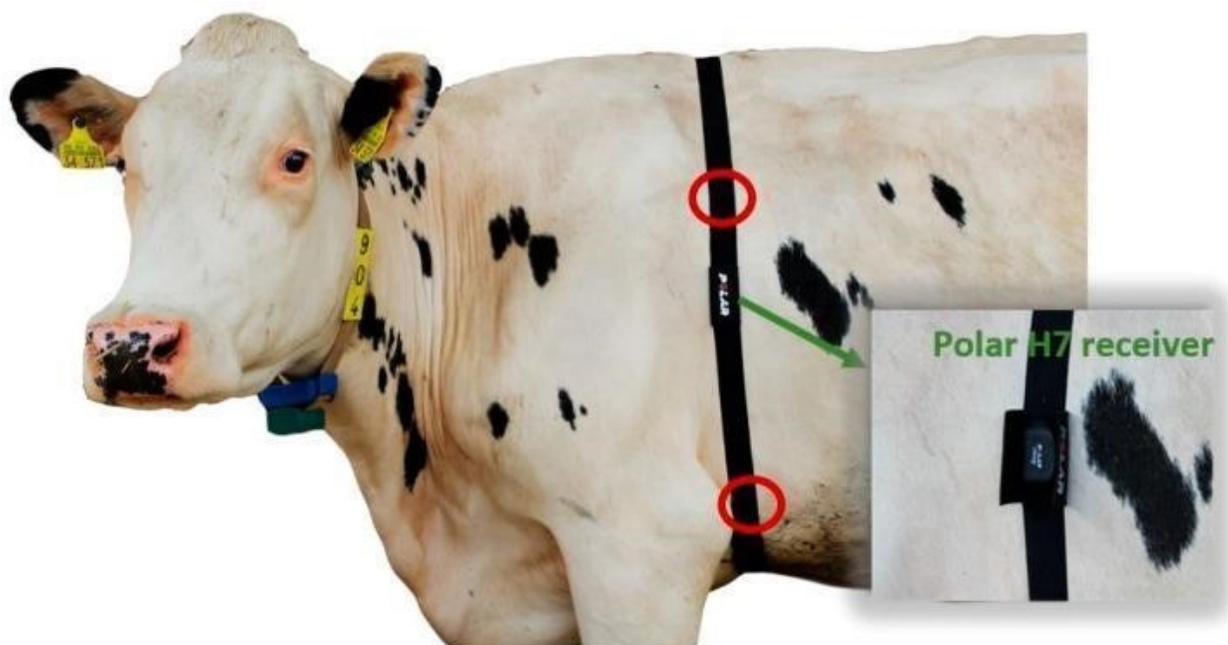


Ilustración 2. Vaca de ordeño equipada con cinturón pectoral junto con dispositivo polar H7 y 2 electrodos señalados en círculos rojos. En *Recording Heart Rate Variability of Dairy Cows to the Cloud—Why Smartphones Provide Smart Solutions*, por Wierig et al, 2018, Suiza: Sensors (basel). Derechos de autor (2018) por Wierig et al. Adaptación autorizada.

La detección del IBI se lleva a cabo durante la grabación y los datos del IBI resultantes se transmiten de forma inalámbrica y se almacenan en un registrador de datos. Estos datos se pueden descargar en una PC para un análisis posterior de VFC. Hay dos tipos diferentes de cinturones de cobre de electrodos disponibles para usar con estos monitores. Para animales más pequeños como cabras, ovejas, cerdos y terneros, un cinturón estándar con una correa elástica se puede adaptar fácilmente para fijarlo alrededor del tórax del animal y para grandes animales,

como bovinos o equinos, se debe usar un transmisor específico con dos electrodos separados para optimizar el posicionamiento del electrodo. Además, otros modelos de la marca polar cuentan con tecnología bluetooth, haciendo que la medición electrocardiográfica sea aún menos estresante para el animal y obteniendo no solo datos IBI sino también ECG en animales sin las restricciones físicas (Mohr, Langbein & Nürnberg, 2002). La información captada por este dispositivo es enviada a un reloj polar referencia V800 y adicionalmente puede ser enviada a un smartphone mediante aplicaciones que conectan estos dos dispositivos para así tener los datos en diferentes dispositivos para analizarlos posteriormente en un PC (Wierig et al, 2018).

El electrocardiograma detecta la actividad eléctrica del corazón en función del tiempo transcurrido. Los datos tomados por este dispositivo se representan mediante una gráfica con distintos trazados, las cuales representan momentos diferentes en cuanto acontecimientos eléctricos cardiacos se refiere. Para su aplicación es frecuente el uso de electrodos metálicos, los cuales se ubican sobre la superficie corporal y los voltajes que recogen se representan en una pantalla (Klein, 2014), tal como se puede observar en la Ilustración 3.

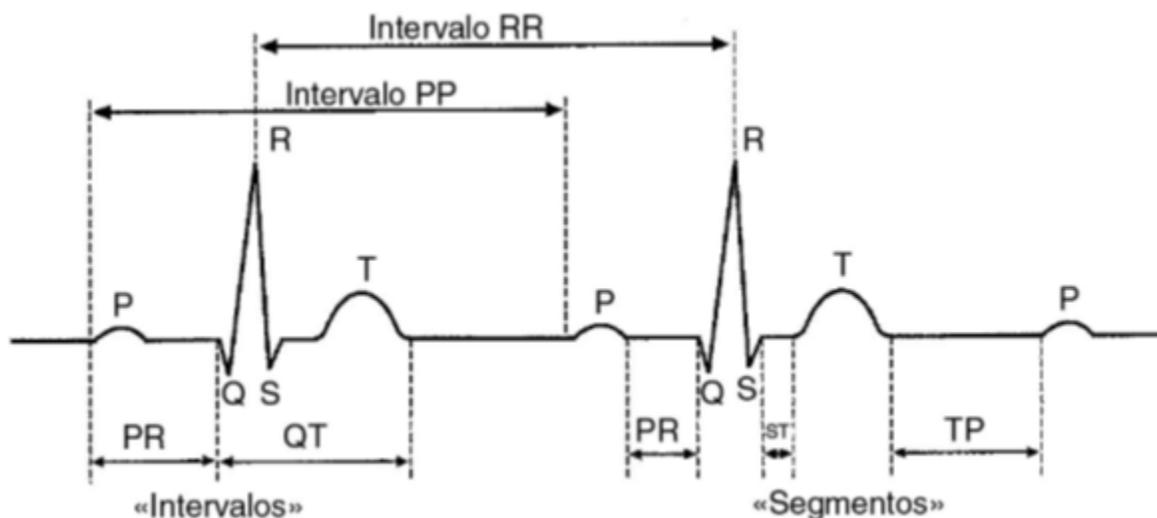


Ilustración 3. En *Cunningham fisiología veterinaria*, por Klein, 2014, España.

La primera desviación en el trazado electrocardiográfico es la *onda P*, la cual representa la despolarización auricular, posteriormente retorna a 0 el voltaje electrocardiográfico. En ese momento el potencial de acción se propaga de una célula a otra por el nódulo auriculoventricular, pero al ser un tejido tan pequeño su despolarización no es detectada por el electrocardiograma. (Klein, 2014). Inmediatamente aparecen Q, R y S, los cuales forman el complejo *QRS*, representando la propagación de la onda excitatoria en ambos ventrículos y el tabique interventricular. Finalmente, la repolarización del músculo ventricular es representada por la *onda T*. (Zavala, 2017).

Se puede medir la actividad eléctrica del corazón bovino mediante electrocardiogramas precordiales unipolares y de extremidades; la caracterización de este método se describió en un experimento realizado en el Departamento de Anatomía y Fisiología Animal de la Facultad de

Medicina Veterinaria de la Universidad de Montreal por Deroth L en 1980, en el cual se tomaron ECG de 32 vacas clínicamente sanas de la raza Holstein con una edad promedio de 4,7 años, registrados en un electrocardiógrafo portátil de tres canales, en el cual se utilizaron 12 derivaciones (I, II, III, aVR, aVL, aVF, CV6LU, CV6LL, CV6RL, CV6RU, V10 y base del apice).

Los registros del ECG se realizaron en el establo con los animales de pie sobre una almohadilla de goma gruesa para aislamiento y las extremidades colocadas en posición paralela, se utilizó una montura de electrodo que soporta los cables que conducen a las pinzas cocodrilo modificadas (Ilustración 4). Estos electrodos se colocaron sobre un pliegue de piel, previamente rociados con etanol como desengrasante. (Deroth, L., 1980).

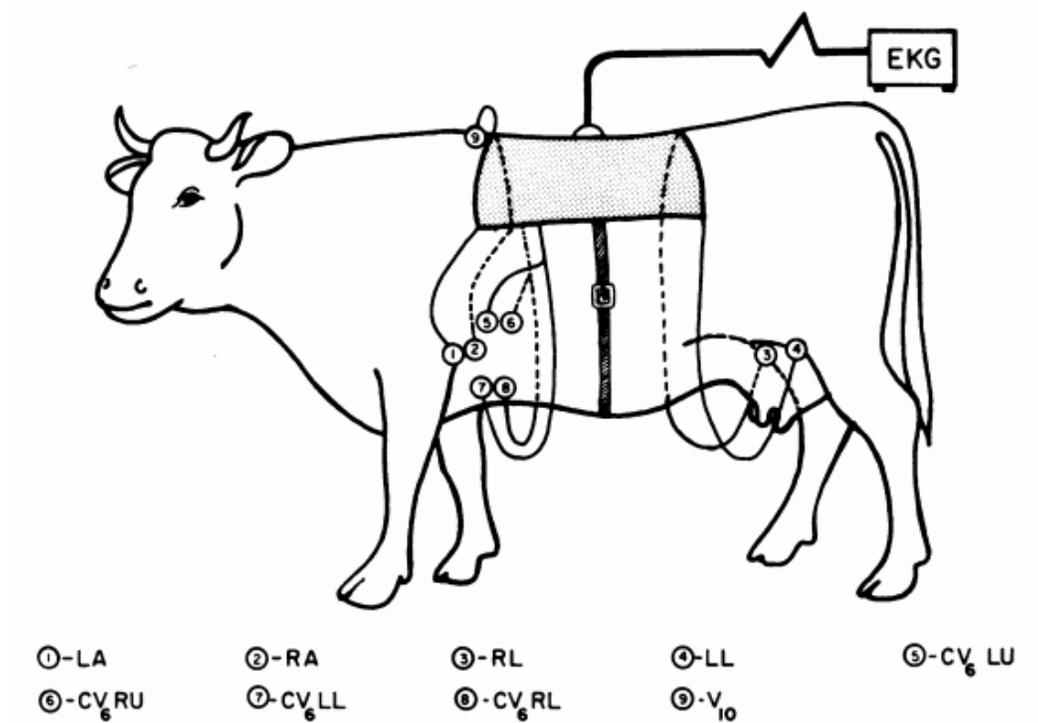


Ilustración 4. Montura de electrodos y la colocación de los electrodos para las 12 derivaciones en el bovino. En *Electrocardiographic Parameters in the Normal Lactating Holstein Cow* por Deroth, L, 1980.

La posición de los conductores y electrodos en el animal que se recomienda es la siguiente:

- Para la derivación I, con conductores de extremidades bipolares, el electrodo negativo, en la pata delantera derecha en la cara medial del olécranon (RA), y el electrodo positivo, en la pata delantera izquierda en la cara medial del olécranon (LA).

- Para la II, con conductores de extremidades bipolares, el electrodo negativo en RA y el electrodo positivo en la pata trasera izquierda en la cara medial de la patela (LL).

- Para la III, conductores de extremidades bipolares, el electrodo negativo en LA y el electrodo positivo en LL.

En cuanto a las derivaciones unipolares con aumento:

- Para la aVR se puede colocar el electrodo negativo en LA o en LL. Y el electrodo positivo en RA.

- Para la aVL, se puede colocar el electrodo en RA, o en LL y el electrodo positivo en LA.

- Para la aVF, se puede colocar el electrodo negativo en RA o en LA. Y el electrodo positivo en LL.

En cuanto a las derivaciones precordiales, lo ideal es ubicarlas así:

- Para la CV6LU, se puede colocar el electrodo negativo en, RA o en LA o en LL, y el electrodo positivo en el Sexto espacio intercostal izquierdo, dorsal de 5 a 7 cm de la unión costocóndral.

- Para la CV6LL, se puede colocar el electrodo negativo en RA o en LA o en LL, y el electrodo positivo en el Sexto espacio intercostal izquierdo, ventral de 5 a 7 cm de la unión costocóndral.

- Para la CV6RL, se puede colocar el electrodo negativo en RA o en LA o en LL, y el electrodo positivo Sexto espacio intercostal derecho, 5 a 7 cm ventral de la unión costocóndral.

- Para la CV6RU, se puede colocar el electrodo negativo en la pata delantera derecha en la cara medial del olécranon, en la pata delantera izquierda, cara medial del olécranon

o en la pata trasera izquierda. aspecto medial de la patela y el electrodo positivo en el Sexto espacio intercostal derecho, dorsal de 5 a 7 cm de la unión costochondral.

- Para la VI, se puede colocar el electrodo negativo en la pata delantera derecha en la cara medial del olécranon, en la pata delantera izquierda, cara medial del olécranon o en la pata trasera izquierda. aspecto medial de la patela y el electrodo positivo en la Apófisis espinosa, a nivel de la sexta/ séptima vértebra torácica.

En cuanto a la derivación precordial bipolar, base del ápice (BA), el electrodo negativo se debe colocar en ángulo caudal de la escápula derecha y el electrodo positivo en el quinto espacio intercostal en la unión costochondral. (Deroth, L., 1980).

Estos datos son obtenidos por medio del registro del electrocardiograma que capta la señal eléctrica del corazón, que es registrada a una velocidad muy lenta, estos datos son digitalizados, codificados y almacenadas en una memoria (Gámiz, Jiménez, Juanatey, Huerta, & Ambrosio, 2000) para posteriormente ser analizados estadísticamente.

Una vez registrado el electrocardiograma, se realiza el análisis del mismo utilizando el software del equipo y obteniendo de esta manera las mediciones de dominio de tiempo, la cual implica cálculos simples de intervalos medios normales a normales (NN) y se determina la varianza de estos intervalos con la variable de análisis de desviación estándar de los intervalos RR normales (SDNN) lo que significa que se suprimen los latidos anormales. Por otro lado, también se realiza el dominio de frecuencia (HF, LF, LF/HF), componentes de intensidad que hacen parte de la densidad de potencia espectral (PSD), el cual provee información de cómo es distribuido el poder en función de la frecuencia (Kim, Cheon, Bai, Lee, & Koo, 2018). Sus

interpretaciones están bien relacionadas con el pronóstico clínico y la información que se requiere para establecer un diagnóstico (Font, Pedret, Ramos & Ortís, 2008).

Las intensidades que hacen parte del análisis de dominio de frecuencia nos permiten diferenciar la actividad del sistema nervioso autónomo, siendo el componente de alta frecuencia (HF) reflejo de la actividad del SNP, es decir refleja la actividad del nervio vago, mientras que el componente de baja frecuencia (LF) refleja la actividad del sistema nervioso simpático (Kim, 2018) y el componente de relación de potencia LF/HF refleja la regulación entre el SNS Y SNP. (Shaffer, 2017)

La importancia de la VFC recae en la evaluación del SNA, cuantificar el riesgo de enfermedades que pueden ser cardíacas o no (Kleiger, Stein, & Bigger, 2005) y predicción clínica, ya que variabilidad reducida se asocia a factores de riesgo como la morbilidad y mortalidad cardiovascular (Díaz,Sánchez & Cabrera, 2014), además de observarse también en pacientes con disfunciones autonómicas que incluyen ansiedad y depresión (Stein, Domitrovich, Hui, Rautaharju & Gottfdiener 2005. Citado por: Shaffer et al., 2014). Su uso en medicina veterinaria ha venido aumentando y se ha utilizado principalmente para investigaciones acerca del comportamiento, cambios en el balance simpático vagal relacionado a condiciones patológicas, estrés, disfunción del comportamiento, prácticas de manejo, regímenes de manejo y también en el estado emocional y temperamental (Borell et. al, 2007).

6.1.3.2 Factores que influyen en la VFC:

Existen muchos factores, que influyen en la VFC, tales como la actividad física, el estado reproductivo del animal, la edad, el sexo, el estrés, las condiciones climáticas, cambios medioambientales como altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) en la que se encuentran los animales, el consumo de agua, la postura, factores genéticos y algunos medicamentos. (Rodas et al., 2008). Además de los errores que pueden existir según el tipo de dispositivo que se utilice, por ejemplo, con los monitores cardíacos que solo registran datos de IBI se pueden identificar errores verdaderos en los datos, ya que la señal de ECG en sí no se registra, no hay una forma absoluta de identificar errores en las mediciones de IBI después de la recopilación de datos (Norman et al., 2005)

En cuanto a las condiciones que tienen algunas prácticas de manejo, en las cuales, en ocasiones, los animales están sometidos a diferentes estímulos, como por ejemplo el ruido, que se describe como un sonido agudo, crónico o intermitente y puede actuar como un factor estresante potencial en especies de producción como lo son los bovinos (Johns, Patt & Hillmann, 2015).

Los animales de granja se enfrentan a varios estímulos acústicos a lo largo de sus vidas, incluida la ventilación, los carros de alimentación, los limpiadores de establos o la máquina de vacío en la sala de ordeño. Además de esto, en algunas regiones alpinas, las vacas suelen estar equipadas con una campana durante la temporada de verano, con el fin de garantizar que los

agricultores puedan ubicar a sus animales en los amplios pastos (Arnold, Jongman & Hernsworth, 2008)

Hay varios tipos de campanas, en exposiciones de ganado bovino suelen utilizarse campanas grandes y pesadas, aunque en las granjas se emplean unas más pequeñas, los animales están expuestos a ellas todo el día durante varios meses. (Johns et al., 2015)

El timbre de una campana se caracteriza por amplitudes y frecuencias altas y variables, de sonidos que surgen de manera intermitente, dependiendo del movimiento de la campana. (Christensen, Keeling & Nielsen., 2005)

Las vacas tienen una capacidad auditiva bien desarrollada, por lo cual, una campana puede conducir a desviaciones en el comportamiento, como lo son disminuir el tiempo de rumia y el tiempo de reposo en el que permanecen acostadas, lo cual indicaría una reducción del bienestar a largo plazo si los animales no se habitúan al sonido de la campana. Además del tiempo de rumia y el tiempo de descanso de los bovinos, que son comportamientos normales, como lo mencionamos anteriormente, los cambios en el equilibrio vago-simpático (reflejado por los parámetros de variabilidad de la frecuencia cardíaca) se han utilizado como un indicador de bienestar animal que permite comparar diferentes procedimientos de manejo, tecnologías y métodos de manejo en términos de bienestar animal.(Gygax & Nosal, 2006)

En un estudio realizado en Reino Unido, en una granja en funcionamiento cerca de Zúrich, Suiza en el año 2015, por Johns, Patt y Hillmann en el cual se investigó el impacto del uso de una campana en el comportamiento y la variabilidad del ritmo cardíaco en 19 vacas

lecheras de raza Brown-Swiss (Pardo Suizo), no lactantes y que anteriormente habían tenido contacto con campanas.

Se evaluó si el uso de una campana funcional (exposición al peso y la campana) y una campana que no produce ningún ruido (exposición al peso solamente) durante 3 días afectaría el comportamiento y la actividad vagal de las vacas en comparación con no usar una campana. Y teniendo en cuenta que las campanas se vuelven audibles cuando los animales mueven sus cabezas, se podría pensar que las vacas se moverían menos para silenciar la campana o posiblemente para reducir la carga de su peso (Johns et al., 2015)

Por lo cual, se esperaba que hubiese cambios significativos en el comportamiento en general y también en la VFC, ya que usar una campana puede conducir a un cambio en el equilibrio vago-simpático, lo que resulta en una VFC reducida. (Johns, Patt & Hillmann., 2015b)

Para esto, se dotó a las vacas del equipo de medición (cabestro, registrador con acelerómetro 3D y cinturón de tórax, como se observa en la ilustración 5.



Ilustración 5. Fotografía de Julia Johns, (United Kingdom, 2015) Archivo fotográfico de Do bells affect behaviour and heart rate variability in grazing dairy cows.

La variabilidad de la frecuencia cardíaca se registró utilizando Polar Equine (Polar Elektro Europe BV, Zug, Suiza, 120 g), esto permite una medición no invasiva de los latidos del corazón (Geverink, Schouten, Gort & Wiegant, 2002)

Para mejorar la conductividad entre el electrodo y el contacto con la piel, se aplicó gel de electrodo (Anandic Medical Systems AG / SA, Feuerthalen, Suiza). Se fijó un cinturón de tórax con dos electrodos integrados alrededor del torso detrás de las patas delanteras. Un electrodo se colocó ventralmente en el lado izquierdo del esternón y el otro en una distancia dada por el cinturón de tórax en la pared torácica izquierda. Se colocó un receptor para registrar los datos entre los dos electrodos. El cinturón de tórax estaba protegido adicionalmente por un cinturón elástico de aproximadamente 5 cm de ancho, y la cruz también estaba protegida por material de

espuma. Los datos se descargaron a una computadora a través de una estación base usando Bluetooth (Equipo Polar 2 Pro, versión 1.3.0.3, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Los resultados que arrojó el estudio fueron inesperados en cuanto a VFC se refiere, ya que la medida fisiológica no disminuyó entre ninguno de los tratamientos. (Johns, et al., 2015)

A pesar de que se centraron en la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante períodos de reposo en los cuales las vacas se encontraban acostadas, en los que se supone que esta es adecuada para reflejar los efectos a largo plazo mejor que la frecuencia cardíaca (Frondelius, et al, 2015). No se encontró ningún efecto de ninguno de los tratamientos con campana, lo que indica que no hay impacto de usar una campana en el equilibrio vago-simpático dentro de la duración del estudio. Finalmente se concluyó que son necesarias observaciones a largo plazo para cuantificar los efectos de las campanas en el bienestar específicamente para observar si hay una VFC disminuida en animales expuestos al ruido y el peso de las campanas por periodos de tiempo prolongados (Johns et al., 2015).

Por otro lado, se han realizado diversos estudios en caninos, que evalúan la variabilidad de la frecuencia cardíaca desde distintos ámbitos, por ejemplo, en uno de estos estudios se tuvieron en cuenta caninos que practican el deporte de agility y caninos sedentarios, para comparar este parámetro, las diferencias en VFC entre los grupos que fueron evaluados podrían estar relacionadas a diferencias el tono parasimpático que suele ser más alto en animales que están adaptados al ejercicio y por lo tanto poseen mejor adaptación cardiovascular (Billman y Kukielka, 2006).

6.1.3.3 Dominio de Tiempo y Dominio de Frecuencia:

Para cuantificar la variabilidad en las mediciones de intervalo entre latidos (IBI) es necesario utilizar las mediciones de dominio de tiempo y dominio de frecuencia.

Para realizar el análisis del dominio de tiempo con las grabaciones obtenidas se deben realizar cálculos teniendo en cuenta el parámetro (NN) es decir los intervalos normales-normales y la varianza entre esos intervalos, siendo la (SDNN) una de las variables que más se utiliza. Hay que tener en cuenta que para el análisis del dominio de tiempo se deben realizar 2 tipos de mediciones, medición estadística y medición geométrica, y cada una comprende diferentes variables.

Para la medición estadística se utilizan las siguientes variables:

SDNN: Desviación estándar de todos los intervalos NN

SDANN: Desviación estándar de los promedios de intervalos NN en todos los segmentos de 5 minutos de toda la grabación.

RMSSD: Raíz cuadrada de la media de la suma de los cuadrados de las diferencias entre intervalos NN adyacentes.

ÍNDICE SDNN: Media de las desviaciones estándar de todos los intervalos NN para todos los segmentos de 5 minutos de toda la grabación.

(Kim,2018).

SDSD: Desviación estándar de diferencias entre intervalos NN adyacentes.

NN50: Número de pares de intervalos NN adyacentes que difieren en más de 50 ms en toda la grabación; son posibles tres variantes contando todos esos pares de intervalos NN o solo pares en

los que el primer o el segundo intervalo es más largo

pNN50 (%): Recuento NN50 dividido por el número total de todos los intervalos NN

(Kim,2018)

En las mediciones geométricas se utilizan las siguientes variables:

Índice triangular VFC: Número total de todos los intervalos NN dividido por la altura del histograma de todos los intervalos NN medidos en una escala discreta con contenedores de 7.8125 ms (1/128 segundos)

TINN: Ancho de la línea base de la interpolación triangular mínima diferencia cuadrada del pico más alto del histograma de todos los intervalos NN

Índice diferencial: Diferencia entre los anchos del histograma de diferencias entre intervalos NN adyacentes medidos a alturas seleccionadas (por ejemplo, en los niveles de 1,000 y 10,000 muestras)

Índice logarítmico: Coeficiente ϕ de la curva exponencial negativa $k \cdot e^{-\phi t}$, que es la mejor aproximación del histograma de diferencias absolutas entre intervalos NN adyacentes

(Kim,2018).

El dominio de frecuencia estima la distribución de potencia en 4 bandas de frecuencia las cuales se dividen de acuerdo a la cantidad de Hertz (Hz) , es decir la cantidad de propagación de las ondas electromagnéticas y son: (Shaffer & Ginsberg, 2017)

-Potencia absoluta de la banda de frecuencias super bajas (VLF) <0.04 Hz

-Potencia absoluta de la banda de frecuencias bajas (LF) 0.04-0.15 Hz

-Potencia absoluta de la banda de frecuencias altas (HF) 0.15-0.4 Hz

-Relación LF/HF

La potencia de baja frecuencia está regulada por acción conjunta entre el sistema simpático y el parasimpático (Vargas et al., 2018) y está ligado con las fluctuaciones en la presión arterial (Akselrod et al, 1985. Citado por Bun, 2017). La potencia de alta frecuencia está regulada fundamentalmente por acción parasimpática (nervio vago), y corresponde a la frecuencia respiratoria (Bun, 2017). La acción de la homeostasis entre estos sistemas se ve reflejado en los intervalos cardiacos RR. (Vargas et al., 2018)

Se necesita un tiempo mínimo para poder analizar los dominios de frecuencia, siendo como mínimo: 13.3 segundos para el componente de frecuencia alta (HF) y para el componente de frecuencia baja (LF) como mínimo 50 segundos. No obstante, las recomendaciones generales son tomar un electrocardiograma de mínimo 5 minutos, e ideal de 10 minutos. Para aquellos estudios donde se pretende evaluar las variaciones circadianas es necesario que la grabación del holter sea de 24 horas constante (Aubert, Seps y Beckers,2003).

6.1.3.4 Variabilidad de la Frecuencia cardiaca en Bovinos:

Como se mencionó anteriormente, existen diferentes equipos, tipo Holter, sistemas fijos o monitores portátiles con los cuales se puede medir la VFC en bovinos; en algunos casos al

momento de poner los electrodos se han realizado tricotomía pero esto no es absolutamente necesario (Hagen, Schimied, Lexer & Waiblinger 2005)

Lo ideal es aplicar gel de electrodo que cubra bien la zona para optimizar el contacto de la piel con el mismo. Además los animales deben tener un tiempo mínimo de una hora para acostumbrarse al equipo, cabe resaltar que las reacciones son visibles después de fijar el cinturón unos 5 a 10 min después del ajuste (Mohr et al., 2002)

Anteriormente Pomfrett, et al utilizaron la medición de la VFC en bovinos para detectar alteraciones en el tronco encefálico causadas por encefalopatía espongiiforme bovina (EEB). Es interesante ver, cómo además de la bradicardia estos estudios informan un tono vagal aumentado, marcado por un aumento drástico en el poder espectral de insuficiencia cardiaca (IC) el cual estuvo presente 9 meses antes de que los animales manifestarán signos clínicos de EEB (Pomfrett, Glover, Bollen & Pollard 2004)

Otra investigación demostró que la variabilidad a corto plazo (RMSSD) y la variabilidad a largo plazo (SDNN), de HRV disminuye drásticamente en terneros cuando se encuentran en situaciones de estrés, que van desde una temperatura ambiente elevada, la aparición de un alto número de insectos a su alrededor hasta los signos clínicos de la diarrea, en los que suelen afectarse de manera importante (Mohr et al., 2002)

Como parámetros y recomendaciones recopiladas en la revisión hay que tener en cuenta que para medir la VFC en bovinos para evaluar estrés y bienestar, los electrodos deben colocarse

en el lado izquierdo del animal, con un electrodo cerca del esternón y el otro sobre la escápula derecha, realizar la tricotomía de la zona no es necesario pero en algunos casos puede ser útil, y la aplicación de gel electrodo es un punto casi que indiscutible ya que permite una lectura mucho más certera. (Hagen et al., 2005)

Begazo, Portocarrero & Dávila (2017) afirmaron. “Los animales que viven en grandes alturas presentan hipertrofia e hiperplasia cardiaca, que se presentan por los cambios adaptativos que sufre el organismo al cambiar de hábitat, y criarse en condiciones de altura, disminución de oxígeno ambiental” (P. 229). Y al hacer una comparación entre terneros criados a altura baja demuestran una diferencia de $P < 0.05$ en la frecuencia cardiaca y tamaño de las ondas.

7. Discusión

En la presente revisión bibliográfica, si bien se indaga en todos los aspectos relacionados a la Frecuencia Cardíaca y la medición de la VFC en Bovinos, profundizando en los diferentes métodos que existen actualmente para realizar el análisis de este parámetro, y sus utilidades en cuanto a la determinación de salud y bienestar animal en esta especie. Aún hay muchos vacíos e incógnitas en cuanto a la VFC en esta especie, abriendo campo a otras investigaciones que puedan profundizar en diferentes variables medio ambientales que probablemente afecten de manera crónica la salud y bienestar de los Bovinos, como lo es por ejemplo el sometimiento a diversos pisos térmicos, alturas y condiciones ambientales cambiantes, según sea su lugar de procedencia y hábitat permanente.

Considerando los resultados de varios de los artículos aquí mencionados, se debería implementar de manera rutinaria la evaluación de la actividad eléctrica cardíaca y su variabilidad en la práctica clínica, ya que como explicamos anteriormente, podría funcionar como una prueba complementaria acertada para la realización de un diagnóstico precoz en cuanto un cambio en la fisiología de los animales, incluso antes de la presentación de signos y síntomas, teniendo en cuenta que un cambio en la homeostasis del organismo podrían detectarse de manera temprana con la VFC, este sería un punto de partida para un avance en la medicina preventiva en Bovinos, mejorando así tanto la calidad de vida de los animales como la terapéutica y el pronóstico de patologías que puedan encontrarse en fases tempranas.

A pesar de que hay ciertas diferencias significativas en comparaciones de terneros en gran altura moderada y a nivel del mar para frecuencia cardíaca y tamaño de las ondas, se requiere más

investigación para comparar la VFC entre dos o más razas bovinas de distinto origen geográfico, en cuanto altura se refiere, y cuantificar si hay diferencias significativas causadas por estrés de cambio de hábitat, teniendo en cuenta que hay razas que no están genéticamente diseñadas para sobrevivir en ciertos tipos de hábitats, en donde pueden llegar a hacer un proceso de aclimatación, pero no de adaptación, y estos indicadores de estrés o de comodidad, según sea el caso, en estos animales, que en general son estoicos, podemos entender más a fondo analizando las distintas variaciones relacionadas con la VFC.

8. Conclusiones

La medición de la VFC es una medida de regulación autónoma de la actividad cardíaca tanto en pequeños como en grandes animales, en los últimos años se ha empleado en distintos escenarios con objetivos específicos en los cuales ha tenido resultados importantes que significan una mejoría en las formas de entender a los animales en sus comportamientos, conductas y patologías.

Como ejemplo de esto, la VFC ha servido como marcador para evaluar el estrés y el bienestar en diferentes hábitats ya sea en granjas, o en condiciones de laboratorio; por otro lado, estudiar la regulación cardiovascular básica en diversas situaciones de prueba, incluidos los estudios de modelos basados en animales ayudan al entendimiento de las enfermedades humanas; En la mayoría de los estudios, se han utilizado monitores Holter ambulatorios no invasivos o monitores de FC telemétricos para el muestreo de datos. Los datos se analizan y expresan comúnmente en el dominio del tiempo y la frecuencia, así como geométricamente

Referencias

1. Akselrod, S., Gordon, D., Madwed, J., Snidman, N., Shannon, D. and Cohen, R., 1985. Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 249(4), pp.H867-H875.
2. Alfonso, J.I., Báez, M.E. (2008). Regulación del sistema cardiovascular por el sistema nervioso autónomo. Universidad de la habana, facultad de biología. 11-41.
3. Arnold NA, Ng KT, Jongman EC, Hernsworth PH (2008) Evitar instalaciones de ordeño grabadas ruido por vaquillas lecheras en una tarea de elección de Ymaze. Aplicación AnimBehav Sci 109: 201 – 210
4. Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). *Heart Rate Variability in Athletes. Sports Medicine*, 33(12), 889–919.
5. Anónimo. (2019). El corazón como bomba:fases del ciclo cardíaco. UNAM. Departamento de fisiología, facultad de medicina. Disponible en : <http://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2019/10/El-coraz%C3%B3n-como-bomba.pdf>
6. Barco, A. Pedroso, B. García, D. Navarro, V., Regal, M. (2018). Bases fisiológicas de la desfibrilación ventricular. *MediSur*, 16(6), 940-950.

7. Begazo C., Portocarrero P., Dávila F. (2017). *Electrocardiographic Parameters in Holstein Calves Reared at High Altitude and at sea level*. Rev Inv Vet Perú. 28(2): 227-235
8. Billman GE, Kukielka M. (2006) Effects of endurance exercise training on heart rate variability and susceptibility to sudden cardiac death: protection is not due to enhanced cardiac vagal regulation. J Appl Physiol 100: 896-906.
9. Bun, C., Watanabe, Y., Uenoyama, y., Inoue, N., Ieda, N., Matsuda, F., Pheng, V. (2018). *Evaluation of heat stress response in crossbred dairy cows under tropical climate by analysis of heart rate variability*. J. Vet. Med. Sci. 80(1)181–185.
10. Carvajal, A. L. (2016). *Rol de los plexos ganglionares en la génesis y el mantenimiento de la fibrilación auricular y la modulación del sistema nervioso autónomo como parte del tratamiento de la fibrilación auricular*. Revista colombiana de cardiología. (23): 19-26.
11. Cunningham, J. G., & Klein, B. G. (2009). *Fisiología veterinaria (4a. ed)*. Barcelona: Elsevier.

12. Christensen JW, Keeling LJ, Nielsen BL (2005) Respuestas de caballos a novela visual, olfativa y estímulos auditivos *Aplicación AnimBehav Sci* 93: 53 - sesenta y cinco.
13. Deroth, L. Electrocardiographic parameters in the normal lactating holstein cows. (1980). *Can. vet. J.* 21: 271-277
14. Díaz, G.F. (2012). Hipertensión pulmonar a moderada altura en niños. *Rev Colomb Cardiol*; 19(4): 199-207.
15. Díaz, B. B., Sánchez, J. J., & Cabrera de Leona, A. (2014). Frecuencia cardiaca en reposo y enfermedad cardiovascular. Resting heart rate and cardiovascular disease. *Medicina clinica*, 34-38.
16. Farías, J.A., Mascher, D., Paredes, M.C., Torres, P.V., Juárez, M. A. (2010). El marcapaso del corazón puede ser modulado por la acetilcolina mediante una vía delimitada a la membrana. *Revista de Educación Bioquímica*. 29. 29-38.
17. Font, G.R., Pedret C., Ramos J., Ortís, L.C. (2008) Variabilidad de la frecuencia cardiaca: conceptos, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II) *Arch Med Deporte Rev Fed Esp Med Deporte Confed Iberoam Med Deporte*. 119-127

18. Frondelius L, Jarvenranta K, Koponen T, Mononen J (2015) Los efectos de la postura corporal y la temperament sobre la variabilidad del ritmo cardíaco en vacas lecheras. *Phys Behav* 139: 437 - 441.

19. Gallo, J., Alvarez, D., & Fabiarz, J. (2001). Análisis en tiempo y frecuencia de la variabilidad R-R en deportistas y sedentarios. *Acta Médica Colombiana*, 65-72

20. Gámiz , J. L., Jiménez , A., Juanatey, J. R., Huerta, E. M., & Ambrosio, E. S. (2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología en la monitorización ambulatoria del electrocardiograma y presión arterial. *Revista española de cardiología*, 91-109.

21. García, J. (2012). Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca al control del entrenamiento deportivo: análisis en modo frecuencia. *Arch Med Deporte*;30(1):43-51

22. Geverink NA, Schouten EG, Gort G, Wiegant VM. Individual differences in behavioral and physiological responses to restraint stress in pigs. *Physiol Behav* 2002;77:451-7

23. Gevirtz RN, Lehrer PM, Schwartz MS. (2016) Biorretroalimentación cardiorrespiratoria . 4ta ed. En: Schwartz MS, Andrasik F. The Guilford Press pag. 196–213.
24. Gutiérrez, J. A. (2013). “kardiatlas” Atlas interactivo de morfología cardiaca humana (tesis de maestría en morfología humana). UNAL. Colombia.
25. Hunter, M. (2016). Electrofisiología cardiaca. Universidad FASTA. Obtenido de:
<https://www.exapuni.com/carreras/apunteHash/1fd28024b35794c16fb1c85681ddb8b4>
26. Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., & Koo, B.-H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*, 235-245.
27. Gygax L, Nosal D (2006) Comunicación breve: contribución de la vibración y el ruido durante el ordeño a El recuento de células somáticas de la leche. *J Dairy Sci* 89: 2499 – 2502
28. Hagen K, Langbein J, Schmied C, Lexer D, Waiblinger S. Frecuencia cardíaca variabilidad en vacas lecheras - influencias de la raza y el sistema de ordeño. *Physiol Behav* 2005; 85: 195 – 204

29. Johns J, Patt A, Hillmann E (2015a). Do Bells Affect Behaviour and Heart Rate Variability in Grazing Dairy Cows? PLoS ONE 10 (6): e0131632. doi: 10.1371 / journal.pone.0131632
30. Johns J, Patt A, Hillmann E (2015b) Effects of sounds of different quality on the behaviour and heart beat parameters of goats. *Appl Anim Behav Sci* 165: 72–80
31. Kleiger, R., Stein, P., & Bigger, T. J. (2005). Heart Rate Variability: Measurement and Clinical Utility. *Annals of Noninvasive electrocardiology*, 88-101.
32. Kovács L, Kézér FL, Jurkovich V, Kulcsár-Huszenicza M, Tózsér J. (2016). Heart Rate Variability as an Indicator of Chronic Stress Caused by Lameness in Dairy Cows. PLOS ONE 11(1): e0146625.
33. Manzo A, Ootaki Y, Ootaki C, Kamohara K, Fukamachi K. (2009). Comparative study of heart rate variability between healthy human subjects and healthy dogs, rabbits and calves. *Lab Anim*;43(1):41-45.
34. McCraty R, Shaffer F. (2015). Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health Risk. *Glob Adv Health Med.* 4 : 46–61.

35. Nederend, I.; Jongbloed, M.R.M.; De Geus, E.J.C.; Blom, N.A.; Ten Harkel, A.D.J. Postnatal Cardiac Autonomic Nervous Control in Pediatric Congenital Heart Disease. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* **2016**, *3*, 16.
36. Mohr E, Langbein J, Nürnberg G. Variabilidad de la frecuencia cardíaca - un no invasivo enfoque para medir el estrés en terneros y vacas. *Physiol Behav* 2002; 75: 251 - 9)
37. Norman SE, Eager RA, Waran NK, Jeffery L, Schroter RC, Marlin DJ. Grabación de señales de ECG en una grabadora portátil MiniDisc para análisis de variabilidad de frecuencia cardíaca en el dominio de tiempo y frecuencia. *Physiol Behav* 2005; 83: 729 - 38)
38. CJD, Glover DG, Bollen BG, Pollard BJ. Perturbación del corazón. tasa de variabilidad en ganado alimentado con material infectado con EEB. *Vet Rec* 2004; 154: 687 - 91)
39. Quevedo, D. A., Lourenço, M. L., Bolaños, C. D., Alfonso, A., Ulian, C. M., & Chiacchio, S. B. (2019). Maternal, fetal and neonatal heart rate and heart rate variability in Holstein cattle. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 286-291.
40. Rehman I, Rehman A. (2020). Anatomy, Thorax, Heart. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

41. Rodas, G., Carballido, C., Ramos, J., & Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (i). *Archivos de medicina del deporte*, 41-47
42. Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in psychology*, 5:1040.
43. 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
44. Stein PK, Domitrovich PP, Hui N, Rautaharju P, Gottfodiener. (2005). *J. J Cardiovasc Electrophysiol*.16:954–9.10.1111.
45. Trenk, L., Kuhl, J., Aurich, J., Aurich, C., & Nagel, C. (2015). Heart rate and heart rate variability in pregnant dairy cows and their fetuses determined by fetomaternal electrocardiography. *Theriogenology*, 84(8), 1405–1410.
46. Tucker WD, Weber C, Burns B. (2020). Anatomy, Thorax, Heart Pulmonary Arteries. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

47. Tulppo MP, Hautala AJ, Mäkikallio TH, Laukkanen RT, Nissila S, Hughson RL, y col. Efectos del entrenamiento aeróbico en la dinámica de la frecuencia cardíaca en sujetos sedentarios. *J Appl Physiol* 2003; 95: 364 - 72)
48. Vargas , P., Galindo , V., Pedraza, A., & Vargas, P. (2018). Efecto del entrenamiento en Agility en gran altitud en perros. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 41-54.
49. Veloza, Laura, Jiménez, Camilo, Quiñones, Daniel, Polanía, Felipe, Pachón-Valero, Lida C., & Rodríguez-Triviño, Claudia Y.. (2019). Variabilidad de la frecuencia cardíaca como factor predictor de las enfermedades cardiovasculares. *Revista Colombiana de Cardiología*, 26(4), 205-210
50. Von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., ... Veissier, I. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals — A review. *Physiology & Behavior*, 92(3), 293–316.
51. Wierig, M., Mandtler, L. P., Rottmann, P., Stroh, V., Müller, U., Büscher, W., & Plümer, L. (2018). Recording Heart Rate Variability of Dairy Cows to the Cloud-Why Smartphones Provide Smart Solutions. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(8), 2541.

52. Zabala, J. A. (2017). Descripción del electrocardiograma normal y lectura del electrocardiograma. *Revista mexicana de anestesiología*; 40 (Suppl:1):210-213.
53. Rodas, G., Carballido, C., Ramos, J., & Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (i). *Archivos de medicina del deporte*, 41-47