

ARTÍCULO ORIGINAL

Cálculo automatizado del vector eléctrico integral de la actividad ventricular cardíaca en equinos

Maikel Camejo Zamora, Alberto Pompa Núñez, Yasser Vázquez Alfonso, Yoel Morales Castillo

Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Agraria de La Habana «Fructuoso Rodríguez Pérez» (UNAH),
km 23 1/2, San José de las Lajas, CP 32 700, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico maikel@unah.edu.cu.

RESUMEN: El electrocardiograma es una herramienta valiosa en el estudio de la actividad eléctrica cardíaca y la ubicación del vector eléctrico integral (VEI) medio del complejo QRS y es un aspecto importante para el diagnóstico de alteraciones cardiovasculares. El objetivo del presente trabajo fue diseñar un algoritmo que permite la determinación automatizada de la posición del VEI medio del complejo QRS en equinos. Se recolectaron 27 registros electrocardiográficos de equinos y se midieron los voltajes netos del QRS en las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 . Los cálculos se realizaron por medio de la computadora y de forma manual después de haber llevado el pseudocódigo al lenguaje Java, a través del entorno NetBeans IDE 8.0. Los resultados mostraron que no hay diferencias entre los valores numéricos al efectuar el procesamiento de datos por los dos métodos utilizados. Se concluye que el algoritmo presentado es confiable en cuanto a los pasos a seguir para la determinación de la posición del VEI medio del complejo QRS, ya que al comparar los resultados obtenidos a través del cálculo por medio de la computadora y de forma manual, se comprueba que los valores coinciden totalmente en todos los casos. De esta forma, si se mide la amplitud de las ondas registradas en las derivaciones monopares V_{1c} , V_{5c} y V_6 se puede calcular la orientación espacial del VEI de cualquiera de las ondas electrocardiográficas. La correspondiente al complejo QRS se ubica en el segundo octante, en dirección cefálica.

Palabras clave: electrocardiograma, automatizar, algoritmo, vector eléctrico integral.

Automated calculation of the integral electric vector of the ventricular cardiac activity in equines

ABSTRACT: The electrocardiogram is a valuable tool in the study of the cardiac electrical activity, and localization of the integral electric vector average (IEV) of the complex QRS is an important aspect for the diagnosis of cardiovascular alterations. The aim of the present work was to design an algorithm allowing the automated determination of the position of the average EIV of the complex QRS in equine. Twenty seven electrocardiographic registers of equines were collected and the net QRS voltages measured in the derivations V_{1c} , V_{5c} and V_6 . The calculations were made by means of a computer and manually after taken the pseudocode to the Java language through the environment NetBeans IDE 8.0. The results showed that there were no differences between the numerical values when the data were processed by the two methods used. It is concluded that the algorithm presented is reliable regarding the steps to follow for determining the position of the average IEV of the complex QRS because in comparing the results obtained by both the computer and manually, all the values coincided completely in all the cases. Thus, if the length of the waves recorded in the monopolar derivations V_{1c} , V_{5c} and V_6 is measured, it is possible to calculate the spatial orientation of the IEV of any of the electrocardiographic waves. That corresponding to the complex QRS is located in the second octant, in cephalic direction.

Key words: electrocardiogram, automation, algorithm, integral electrical vector.

INTRODUCCIÓN

El electrocardiograma de superficie de 12 derivaciones sigue siendo una herramienta valiosa en el estudio de la actividad eléctrica cardíaca, aún en los actuales momentos de alta tecnología y grandes descubrimientos, continúa aportando información detallada sobre los procesos de despolarización y repolarización que ocurren en las células miocárdicas. Los avances en esta materia comenzaron en el año 1903 con el establecimiento de los principios básicos de la electrocardiografía por W. Einthoven y los aportes de Lewis, Wiggers y Wilson, entre otros (1, 2).

Entre los parámetros de estudio, interesa de manera particular la determinación de la posición del vector eléctrico integral (VEI) con el uso de diagramas de flujo y de pseudocódigo. Los algoritmos y los diagramas de flujo se utilizan con frecuencia en la Medicina Veterinaria (3,4). Un diagrama de flujo es un esquema que permite recorrer visualmente los diferentes pasos y secuencias para resolver un problema de manera clara y sencilla, al discernir los caminos a seguir de acuerdo a las condiciones planteadas (5, 6, 7).

Para expresar la solución contenida en un gráfico y llevarla a una computadora se requiere transformar la información diagramática a través de un lenguaje que la máquina pueda procesar. Existen diferentes lenguajes de alto nivel que hacen este cometido: Pascal, C, Visual Basic, Java, entre otros. Para facilitar esta tarea de una manera natural y progresiva, sin tener altos conocimientos de lenguajes de programación, se recurre al pseudocódigo, que consiste en utilizar el lenguaje cotidiano con algunos términos de los lenguajes de alto nivel. Este proceso ayuda a entender el contenido de un diagrama de flujo hacia un lenguaje escrito (5).

El objetivo de este trabajo fue diseñar un algoritmo que permite la determinación automatizada de la posición del VEI medio del complejo QRS en equino.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Finca Rancho Domingo García Frías, ubicada en la porción centro sur de las provincias actuales La Habana y Mayabeque. Se trabajó con una muestra que comprende la población total de 9 sementales equinos de diferentes razas: uno pura sangre inglés, tres pura sangre español y cinco árabes.

Para valorar el estado de salud de los animales se tuvo en cuenta las recomendaciones de Fernández (8),

que plantea los siguientes aspectos de vital importancia en el examen exploratorio del animal: anamnesis, inspección del medio que rodea al animal, exploración en la distancia, constantes vitales, temperatura, frecuencia respiratoria (respiración/min), frecuencia cardíaca (latidos/min), grado de hidratación, tiempo de llenado capilar, color de las mucosas, determinación de la edad por la dentición y la ficha de inspección veterinaria.

Para efectuar los registros electrocardiográficos los animales se mantuvieron en un estado de correcto aplomo sobre sus extremidades. Se utilizó un electrocardiógrafo de marca Fukuda, modelo japonés Denshi FX-2111 de un solo canal, el cual se calibró con una señal de 1 mV para una deflexión de la aguja de 10 mm sobre el papel de calibración en la escala vertical. La velocidad del registro fue de 25 mm/s, según lo descrito por Pompa (9).

Las zonas o puntos donde se colocaron los electrodos se depilaron previamente y se frotaron con alcohol etílico al 85%, para eliminar las sustancias que pudieran disminuir la conductividad eléctrica (grasas, partículas de polvo y otras); también se aplicó pasta hidrosoluble como elemento conductor. Se utilizaron electrodos de pinza (tipo caimán) para el registro de las derivaciones monopares y placas metálicas para las derivaciones estándares de extremidades, con las que se obtuvo el cero de referencia para registrar V_{1c} , V_{5c} y V_6 .

En cada una de las derivaciones se midieron la amplitud, y la duración de las ondas, así como la duración de los segmentos e intervalos. Las lecturas de cada electrocardiograma se realizaron dos veces y se tomaron, como datos finales, el promedio aritmético de cada uno para las derivaciones V_{1c} , V_{5c} y V_6 .

Los 27 electrocardiogramas registrados se analizaron por el criterio de Fernández (8) para animales clínicamente sanos, sometidos cada uno a un examen exploratorio, que incluyó la medición de diferentes parámetros fisiológicos antes expuestos. El algoritmo empleado fue el propuesto por Pompa (9) para calcular la posición del VEI de la actividad ventricular cardíaca en el bovino donde a partir de tres derivaciones monopares, se determina la posición espacial del mismo y se extrapola en este contexto a la especie equina (Tabla 1).

La implementación del pseudocódigo en la computadora se realizó mediante el lenguaje de programación Java a través del NetBeans IDE 8.0, y se creó el software para el cálculo del VEI. Estudios realizados en este sentido han sido efectuados en humanos (10, 11, 12, 13).

TABLA 1. Posición de los electrodos para obtener diferentes derivaciones monopolares en el equino./ *Position of the electrodes to obtain different monopolar derivation in equines*

Derivaciones	Electrodos	
	Referencia	Explorador
V _{1c}	Para todas las derivaciones: -Amarillo en el metacarpo izquierdo. -Rojo en el metacarpo derecho. -Verde en el metatarso izquierdo	Borde anterior de la extremidad izquierda a nivel del olecranon.
V _{5c}		Borde anterior de la extremidad derecha a nivel del olecranon.
V ₆		Sobre la séptima vértebra torácica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 aparecen los resultados del examen exploratorio, realizado a los equinos en estudio, que incluyó la medición de diferentes parámetros fisiológicos.

Las Figuras 1 y 2 ilustran el algoritmo diseñado para el cálculo de la posición del VEI medio del complejo QRS y el pseudocódigo que traduce los gráficos de dicho algoritmo a través de un lenguaje natural o gramatical. Al comparar los resultados de los cálculos manuales de la posición del eje eléctrico y los obtenidos a través del programa desarrollado en la computadora, se observa que los datos coinciden totalmente en todos los casos. De la misma manera, los cálculos realizados con la utilización del diagrama de flujo y el pseudocódigo coinciden en todos los casos con respecto a los realizados de forma manual.

Los resultados de los cálculos del voltaje promedio (\pm desviación estándar) del complejo QRS, expresados en mV, en V_{1c} fue de 0,56 \pm 0,12. Los ángulos determinados entre el VEI y los semiejes positivos x, y, z fueron $\alpha_x=96\pm 4,7$; $\alpha_y=56\pm 9,66$ y $\alpha_z=38\pm 7,0$ (Fig. 3). De acuerdo a estos valores, la posición espacial del VEI es en el segundo octante, y se encuentra en dirección cefálica. Una ubicación similar se determinó en bovinos (14), con una diferencia de solo $\alpha_x=5^\circ$ con relación al equino, al ser un animal perteneciente, también, al grupo B (15). La diferente disposición de los electrodos al realizar los registros electrocardiográficos en equinos y otros animales, así como la extrapolación de las observaciones realizadas en el hombre a los cuadrúpedos explica la variabilidad en cuanto a los valores de amplitud y el comportamiento de la polaridad de las ondas electrocardiográficas reportadas en la literatura por distintos autores (13, 14, 16, 17, 18).

TABLA 2. Parámetros fisiológicos de los sementales equinos en estudio./ *Physiological parameters of the equine stallion in the ranch*

No	Edad (años)	Capa	Temperatura corporal (°C)	Frecuencia cardíaca (latidos/min.)	Peso (kg)
1	6	Moro	38,0	47,6	438,0
2	9	Moro	37,2	42,0	338,0
3	6	Dorado	37,6	42,0	440,0
4	4	Moro	38,0	39,9	346,6
5	8	Dorado	38,8	42,8	345,5
6	9	Moro	38,0	32,0	333,5
7	9	Dorado	37,2	44,0	403,5
8	8	Dorado	37,5	52,6	378,0
9	6	Moro	37,6	51,6	397,9

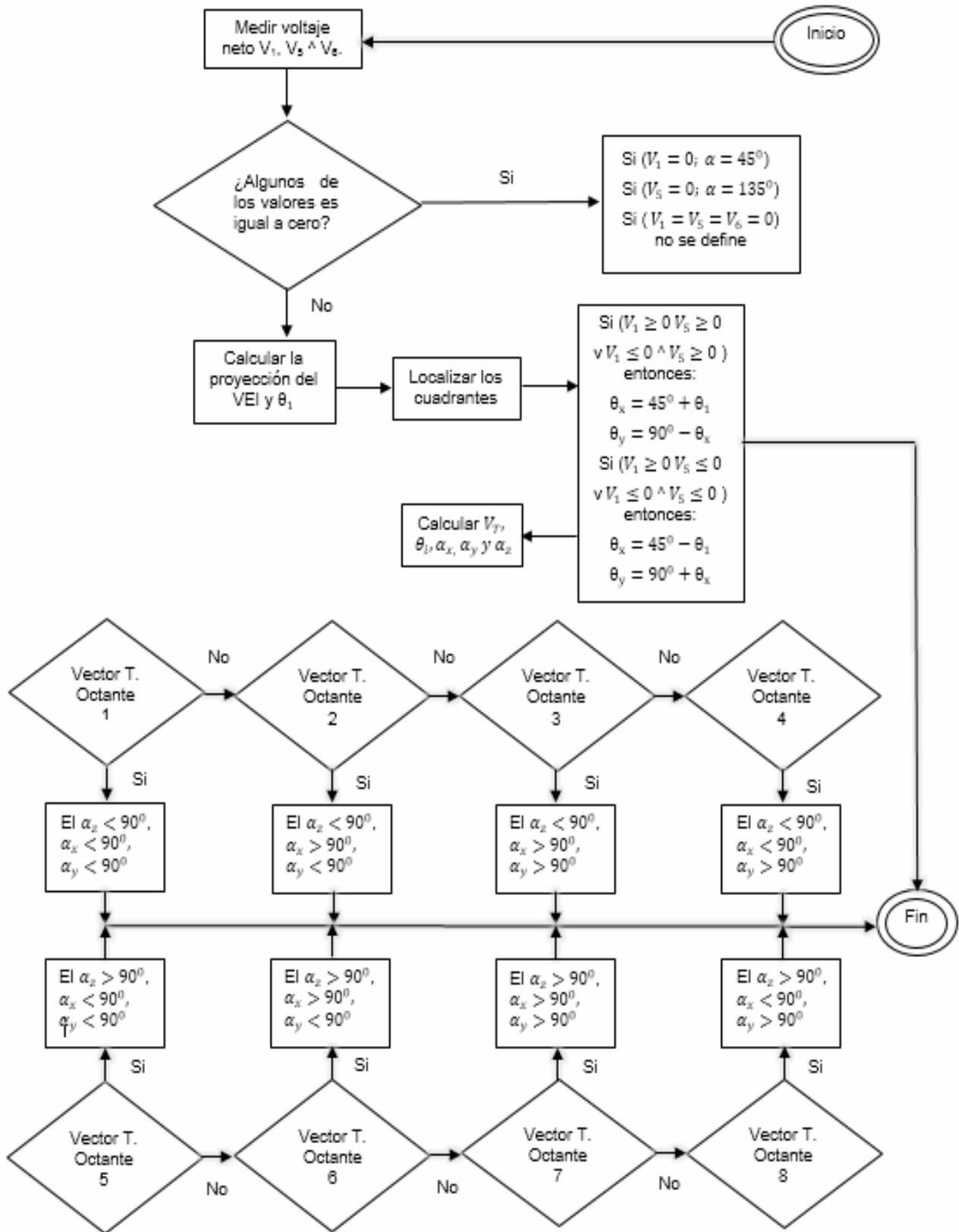


FIGURA 1. Algoritmo para el cálculo de la posición del VEl medio del complejo QRS. / *Algorithm for the position calculation of the IEV average of the complex QRS.*

Inicio-Programa

Leer voltaje: $V_1, V_5 \wedge V_6$

Si (voltaje $V_1 = 0$ entonces $\alpha = 45^\circ$)

Si (voltaje $V_5 = 0$ entonces $\alpha = 135^\circ$)

Sino si:

$$V_r^i = \sqrt{V_1^2 + V_5^2}$$

Calcular:

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{V_1}{V_r^i}$$

Si ($V_1 \geq 0 \wedge V_5 \geq 0$ v $V_1 \leq 0 \wedge V_5 \geq 0$) Entonces:

$$\theta_x = 45^\circ + \theta_1$$

$$\theta_y = 90^\circ - \theta_x$$

Si ($V_1 \geq 0 \wedge V_5 \leq 0$ v $V_1 \leq 0 \wedge V_5 \leq 0$) Entonces:

$$\theta_x = 45^\circ - \theta_1$$

$$\theta_y = 90^\circ + \theta_x$$

Calcular:

$$V_r = \sqrt{V_6^2 + V_r^{i2}}$$

Calcular:

$$\theta_i = \cos^{-1} \frac{V_r^i}{V_r}$$

Calcular:

$$\alpha_x = \cos^{-1} [\cos \theta_x \times \cos \theta_i]$$

$$\alpha_y = \cos^{-1} [\cos \theta_y \times \cos \theta_i]$$

$$\alpha_z = 90^\circ - \theta_i$$

Si $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 1^{er} octante

Si $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 2^{do} octante

Si $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 3^{er} octante

Si $\alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 4^{to} octante

Si $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 5^{to} octante

Si $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y < 90^\circ$ Entonces 6^{to} octante

Si $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 7^{mo} octante

Si $\alpha_x > 90^\circ \wedge \alpha_x < 90^\circ \wedge \alpha_y > 90^\circ$ Entonces 8^{vo} octante

Fin-Programa

FIGURA 2. Seudocódigo para el cálculo de la posición del VEI medio del complejo QRS./ *Pseudocode for the position calculation of the IEV average of the complex QRS.*



FIGURA 3. Software para el cálculo de la posición del VEI medio del complejo QRS. / *Software for the position calculation of the IEV average of the complex QRS.*

En la Figura 4 aparece la ubicación espacial del VEI en el segundo octante. En el bovino y en el equino se puede apreciar que la dirección y sentido del VEI es ápico-basal; las diferencias pueden deberse a los desplazamientos que experimentan el ápice del corazón bovino a consecuencia de la repleción del rumen y de otros estados fisiológicos, como la gestación (14, 19, 20, 21). A partir de estos resultados se puede inferir que una ubicación del VEI del complejo QRS distante a la que aquí se refleja puede indicar trastornos en la dirección y el sentido de propagación del impulso eléctrico en los ventrículos.

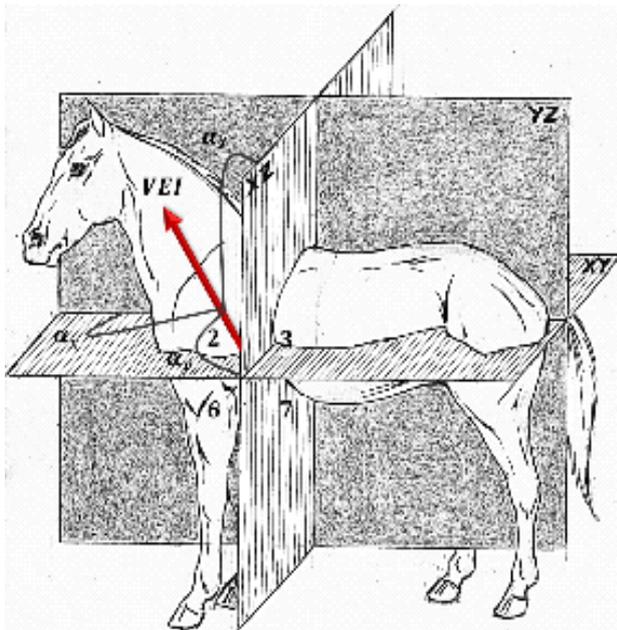


FIGURA 4. Ubicación espacial del VEI medio en equino. / *Spatial localization of the IEV average in equines.*

Se concluye que el algoritmo presentado es confiable en cuanto a los pasos a seguir para la determinación de la posición del VEI medio del complejo QRS, ya que al comparar los resultados obtenidos a través del cálculo por medio de la computadora y de forma manual, se comprueba que los valores coinciden totalmente en todos los casos. De esta forma, si se mide la amplitud de las ondas registradas en las derivaciones monopares V_{1c} , V_{5c} y V_6 se puede calcular la orientación espacial del VEI de cualquiera de las ondas electrocardiográficas. La correspondiente al complejo QRS se ubica en el segundo octante, en dirección cefálica.

REFERENCIAS

1. Zerquera FM. Nociones de electrocardiografía. Cuba. Editorial Ciencias Médicas; 2012. ISBN 978-959-212-749-4.
2. Swenson DJ, Geneser SE, Stinstra JG, Kirby RM, MacLeod RS. Cardiac position sensitivity study in the electrocardiographic forward problem using stochastic collocation and boundary element methods. *Ann Biomed Eng.* 2011;39:2900-2910.
3. Jobe J, Ghuyssen A, D'orio V. A new triage algorithm suitable for emergency department. *Rev Med Liege.* 2012;(67):632-637.
4. Goldenberg G, Iakobishvili Z, Niggemeyer L. Electrocardiographic algorithm for the diagnosis of inadvertent implantation of permanent pacemaker lead in the left ventricular cavity. 21 ed. Estados Unidos de América: *Ann Noninvas Electro.* 2013; pp. 129-135.
5. Lanza G. Electrocardiograma: Modelo matemático del eje eléctrico y su uso en la determinación del voltaje del QRS en derivaciones estándar. *Gac Med Caracas.* 1998;106:509-514.
6. Vasconcelos J. Manual de construcción de programas [en línea]. México; 12 abril 2013 [Consulta: 17 junio 2015]. Disponible en: <http://www.bibliodgsca.unam.mx/manuales/manual.pdf>.
7. Lee G, Murray A, Bushnell R, Niggemeyer L. Challenges developing evidence-based algorithms for the trauma reception and resuscitation project. 21 ed. England: *Int Emerg Nurs;* 2013. pp. 129-135.

8. Fernández A, Conde T, Fondevila J. La exploración clínica del caballo. Zaragoza - España: SERVET; 2011. pp. 12-15. ISBN 978-84-92569-68-7.
9. Pompa A. Determinación de las derivaciones electrográficas estables en bovinos Holstein. *Rev Salud Anim.* 2000;22(1): 7-34.
10. Mincholé A, Sörnmo L, Laguna P. *Conf Proc IEEE. Eng Med Biol Soc.* 2011: 6931-6934.
11. Michaelides AP, Liakos CI, Raftopoulos LG, Antoniadou C, Tsiachris D, Marinou K, et al. Correlation of arm position and exercise interpretation. *Hellenic J Cardiol.* 2012;53:398-399.
12. Lentsy F. Balance electrolítico y contracciones del miocardio. *Adelantos en Cardiología.* Moscú: Editorial Medicina; 2012. pp. 153-184.
13. Lanza G. Algoritmo y pseudocódigo: nueva perspectiva para calcular el eje eléctrico de un electrocardiograma. *Avances Cardiol.* 2014;34(4):280-285.
14. Pompa A. Determinación de la orientación espacial del vector eléctrico integral de cada onda electrocardiográfica en cuadrúpedos, tomando como referencia al bovino. *Rev Salud Anim.* 2003;25(3):186-191.
15. Hamlin R, Smith C. Categorization of common domestic animals base upon their ventricular activation process. *American Ann Acad Sci.* 1960. pp. 195-203.
16. Illanes A, Sérandour G. Modelo paramétrico de la actividad eléctrica celular cardíaca estimado a partir de registros electrocardiográficos estándares. *Rev Ing Bioméd.* 2013;7(13):31-42.
17. Honda N, Dörner C, Godoy A. Efectos del entrenamiento sobre variables electrocardiográficas en equinos Fina Sangre de Carrera. *Avances en Ciencias Veterinarias.* 2013;28(1):2-7.
18. Hiraga A, Sugano S. History of research in Japan on electrocardiography in the racehorse. *Journal of Equine Science* [en línea] enero 2015 [Consulta: 09 abril 2015]; 26 (1): 1-13. Disponible en: 10.1294/jes.26.
19. Pompa A. Biofísica: actividad eléctrica de algunos tejidos y órganos de los animales. potenciales de superficie. 3ra ed. Vedado, Ciudad de la Habana, Cuba: Félix Varela; 2004. pp. 243-249. ISBN 959-258-613-6.
20. Vélez M. Valoración cardíaca mediante electrocardiografía y ecocardiografía de Caballos Criollo Colombiano pacientes de la Clínica Veterinaria Lasallista. [Trabajo de Diploma]. Caldas, Antioquia: Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias; 2014. h. 34.
21. Valladares A, Céspedes M, Morais M, Espinosa J. Datos electrocardiográficos en bovino. Cuba: ORBE; 1975.

Recibido: 27-8-2015.
Aceptado: 11-1-2016.