

Métodos para determinar el eje eléctrico en un electrocardiograma

Methods for determining the electrical axis in an electrocardiogram

Giuseppe Lanza-Tarricone*

Palabras clave:

Eje eléctrico,
electrocardiograma,
cardíaco, QRS.

Key words:

Electrical axis,
electrocardiogram,
cardiac, QRS.

RESUMEN

Con el estudio del electrocardiograma se avanza en otro orden de conocimiento: vectocardiograma, repolarización y despolarización, crecimiento de cavidades, arritmias, trastornos de conducción, entre otros aspectos. Es familiar la fórmula de Bazett para el cálculo del QT corregido y existen otras fórmulas que engloban el modelaje matemático del corazón. Determinar el eje eléctrico cardíaco es un parámetro útil para estudiar cierto tipo de patologías: isquemia cardíaca, hipertensión arterial, trastornos electrolíticos, hipotiroidismo, entre otras. Este trabajo tiene el objetivo de revisar los diferentes métodos para localizar y calcular el eje eléctrico medio del QRS. Entre esos métodos se encuentran: localizar el cuadrante en un sistema de coordenadas, la isoelectrica, gráfico, de Grant, de la forma $rCis(\alpha)$, nomograma y las variantes de la tangente o arcotangente.

ABSTRACT

With the study of the electrocardiogram, another level of knowledge is achieved: vectorcardiogram, repolarization and depolarization, increased cavity, arrhythmias, conduction disorders, among others. The Bazett's formula to calculate the corrected QT and other formulas have allowed to understand the mathematical modeling of the heart. Determining the cardiac electrical axis is a useful parameter to study certain types of diseases: cardiac ischemia, arterial hypertension, electrolyte disturbances, hypothyroidism, among others. This paper aims to review the different methods to locate and calculate the mean electrical axis of the QRS. These methods include: location the quadrant in a coordinate system, the isoelectric, graphic, Grant, form $rCis(\alpha)$, nomogram and the variants of tangent and arctangent.

INTRODUCCIÓN

Los experimentos del médico y físico italiano Luigi Galvani, con sus exploraciones en los movimientos musculares de la rana utilizando electricidad, y el estudio de Volta, físico de la universidad de Pavia, se entremezclarían en un proceso teórico para poder explicar el fenómeno eléctrico en preparaciones de animales y con diferentes tipos de electrodos. En 1820, el danés Hans Christian Oersted¹ describiría los cambios eléctricos en los músculos a través de un galvanómetro. En 1842, Matteucci introduce y describe el término «potencial de acción», con lo cual se iniciaba la «electrofisiología». La historia seguiría con el electrómetro capilar de

Lippmann en 1873, quién sería galardonado en 1908 con el premio Nobel de Física. En 1887, Waller usaría ese instrumento para obtener el primer electrocardiograma humano, siendo perfeccionado por el profesor Einthoven de la Universidad de Leiden, en Holanda, acreditado con un premio Nobel de Medicina en Octubre de 1924.² Desde entonces cada contracción cardíaca mostraría las cinco deflexiones P, Q, R, S y T, suficientemente conocidas.

Con la descripción actual del electrocardiograma se avanza en su estudio: vectocardiograma, repolarización y despolarización, crecimientos auriculares y ventriculares, trastornos de conducción, arritmias, entre otros tantos aspectos. Es familiar la conocida fórmula

* Instituto Médico
«Dr. José Gregorio
Hernández», Instituto
Venezolano de los
Seguros Sociales.

Recibido:
05/10/2015
Aceptado:
17/11/2015

de Bazett para el cálculo del QT corregido, obtenido de dividir el intervalo QT sobre la raíz cuadrada del RR. Existen otras fórmulas alternativas aplicadas a diferentes patologías: en cirrosis hepática se utiliza la fórmula $QT = 453,65 \times RR^{1/3,02}$, la fórmula de Fridericia tiene cierta ventaja para estudiar la influencia de los medicamentos en el QT y la fórmula de Framingham es más sensible que la de Bazett para determinar el valor del QTc en niños sanos durante un ejercicio máximo.³ Todas estas fórmulas están englobadas en el modelaje matemático de las estructuras y funciones cardíacas.⁴

El eje eléctrico cardíaco indica la dirección promedio hacia donde se dirige el proceso de la despolarización o repolarización de las células cardíacas, de allí se menciona eje de P, eje del QRS y eje de T. El tiempo invertido en la determinación del eje eléctrico medio del QRS, aunque se puede calcular el eje de P, de T y desnivel del ST, de la misma manera, se transforma en información valiosa de la práctica clínica. El cambio del eje eléctrico puede indicar alteración en la disposición del corazón (vertical, horizontal o posición intermedia) y no indicar necesariamente patología, sin embargo hay que realizar una búsqueda para detectar bloqueos, crecimientos auriculares y ventriculares, cardiopatía isquémica y cardiopatía hipertensiva.^{5,6}

En el plano frontal, la desviación del eje a la izquierda puede ser la disposición horizontal del corazón, crecimiento ventricular izquierdo, bloqueo de la rama izquierda, bloqueo del fascículo anterior e infartos de cara inferior. La desviación a la derecha, en el mismo plano frontal, puede deberse a corazón verticalizado, hipertrofia ventricular derecha, enfermedad broncopulmonar, bloqueo de rama derecha y bloqueo del fascículo posterior.^{5,6}

En el plano horizontal la desviación del eje eléctrico suele traducirse en crecimiento de cavidades ventriculares. La dextrorrotación se observa en hipertrofias ventricular derecha e infartos posteriores además de los bloqueos de rama derecha. La levorrotación se observa en crecimiento del ventrículo izquierdo, bloqueo de rama izquierda e infartos anteriores.^{5,6}

Sin duda alguna, la localización del eje eléctrico del QRS aporta información valiosa. En estudios epidemiológicos se utiliza para de-

terminar el riesgo de enfermedad cardíaca de acuerdo con la edad de personas adultas,⁷⁻¹⁰ considerando también a niños y adolescentes de una manera en particular;¹¹ influencia en los potenciales transmembrana de las células cardíacas que permite entender los mecanismos de la desfibrilación,¹² mejorar el diagnóstico de los criterios de hipertrofia ventricular aunado al uso de análisis estadístico¹³ y en la elaboración de modelos computarizados que ayudan en la determinación de la actividad eléctrica cardíaca.¹⁴

Este trabajo tiene como objetivo realizar una revisión de los diferentes métodos para localizar y calcular el eje eléctrico medio del QRS; métodos aplicables al eje de P, de T y al desnivel del ST, como se mencionó anteriormente. Entre esos métodos se incluyen: localizar el cuadrante en un sistema de coordenadas, la isoelectrica, método gráfico o polar, de Grant, de la forma rCis (α), nomograma y variantes de la tangente o arcotangente.

LOCALIZACIÓN DEL CUADRANTE EN UN SISTEMA DE COORDENADAS

Cuando se toman como referencia la derivación D1 y aVF, se puede construir un sistema de coordenadas cartesianas en virtud que dichas derivaciones forman, al menos teóricamente, un ángulo de noventa grados y por lo tanto son perpendiculares. Para localizar el cuadrante donde se pueda ubicar el eje eléctrico se mide el voltaje en la derivación D1 restando el voltaje de la R menos el voltaje de Q o S, eligiendo de estos últimos el que tiene mayor negatividad. La diferencia obtenida se lleva al sistema cartesiano; si el resultado es positivo se coloca en el eje positivo de las abscisas, a la derecha del origen o punto de referencia del sistema; si resulta negativo se coloca a la izquierda. La misma operación se realiza en aVF considerando que el electrodo positivo está hacia la parte negativa del eje de las ordenadas y el electrodo negativo está hacia la parte positiva del eje de las ordenadas. La inversión entre el eje de la ordenada y el eje de aVF es necesario para no modificar la orientación del vector medio del QRS; esto significa que si se obtiene un valor positivo en la diferencia neta del voltaje del QRS en aVF, se coloca en el eje negativo de las ordenadas y viceversa; esta inversión se realiza para respetar

el sistema cartesiano matemático. Designemos como $d1$ al valor neto obtenido en D1 y avf al valor neto obtenido en aVF (Figura 1), se localiza el punto de intersección, trazando perpendiculares a los ejes de acuerdo con los valores marcados, finalmente se une el punto origen del sistema cartesiano con el punto extremo localizado y al trazar el segmento de recta entre dichos puntos se obtiene el vector correspondiente del eje eléctrico promedio del QRS. Habiendo localizado el cuadrante resta saber cuál es el ángulo entre dicho vector y el eje horizontal o abscisa que es fácilmente medible con un goniómetro o realizar los cálculos sensibles al respecto. Nuevamente se insiste, la localización del cuadrante es muy importante para efectos de los cálculos.⁵

MÉTODO DE LA ISOELÉCTRICA

Se busca la derivación en el plano frontal que sea la más isoeletrica con respecto al voltaje del QRS.¹⁵ Se determina el cuadrante donde debe ubicarse el eje eléctrico de acuerdo con lo expuesto anteriormente. Teniendo la derivación isoeletrica la dirección del eje eléctrico será la derivación perpendicular a ella; si fuera D2 la más isoeletrica la dirección será la de aVL; si fuera D3 la isoeletrica, la dirección sería aVR y así sucesivamente de acuerdo con el sistema hexaxial de Bayley (Figura 2). Habiendo localizado el cuadrante donde se ubica y conociendo la dirección de su perpendicular se localiza fácil el ángulo del eje eléctrico. Su-

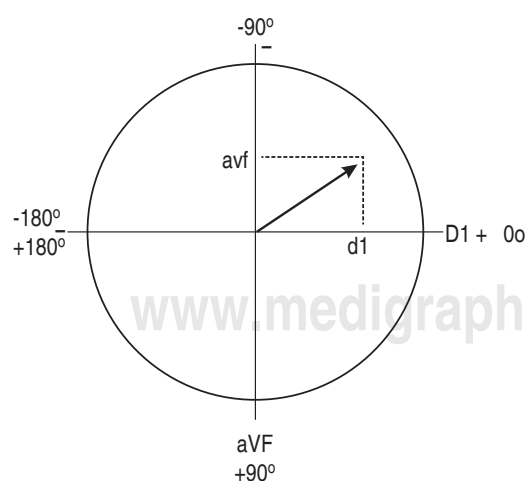


Figura 1. Localización del vector en un sistema de coordenadas o cuadrante.

pongamos que en la derivación D1 el valor neto del voltaje es positivo y en aVF el valor neto del voltaje es negativo, suponiendo que la más isoeletrica se localiza en D2, esto nos indica que la dirección del eje eléctrico se ubica en el cuadrante superoexterno y por lo tanto sigue el ángulo de la derivación aVL que es -30° , sabiendo que la perpendicular a D2 es aVL.^{5,6}

MÉTODO GRÁFICO O POLAR

Existen gráficas milimetradas y con mediciones de los ángulos inscritos (Figura 3). Es cuestión de llevar las mediciones del voltaje neto del

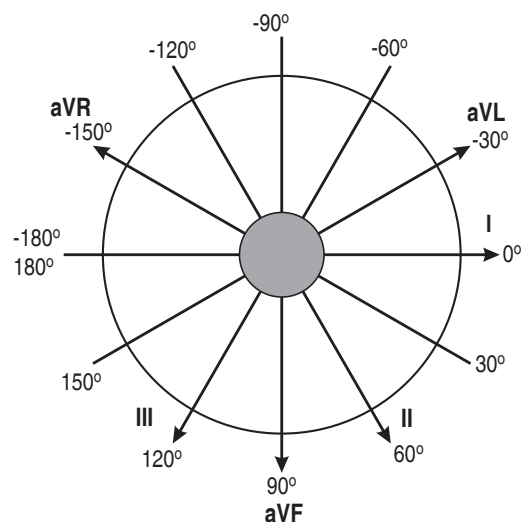


Figura 2. Sistema hexaxial de Bayley.

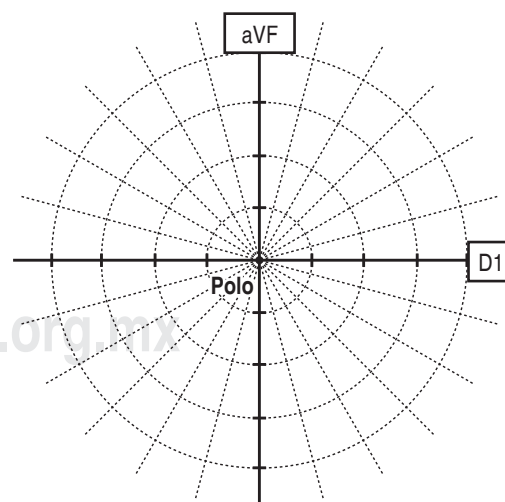


Figura 3. Método gráfico o polar para localizar el ángulo del eje eléctrico.

QRS en D1 y aVF en los ejes correspondientes, trazar el segmento que representa el vector y se visualiza fácilmente los grados que tiene el vector resultante con la horizontal.^{5,6}

MÉTODO DE GRANT

El método desarrollado por Grant^{16,17} es una extensión de los métodos vectoriales desarrollados por Einthoven, Wilson,¹⁸ Bayley,¹⁹ entre otros. Recordando que un vector se caracteriza, de manera sencilla, por tener tres parámetros: dirección, sentido y magnitud. La representación de un vector se hace a través de un segmento de recta que viene a ser una «flecha». De acuerdo con la derivación a la cual se expone, dicho vector tendrá una proyección sobre la derivación y se observará con cierta medida y en cierta dirección. Esta vista cambia al detenernos en cualquiera de las derivaciones y serán diferentes. Cuando se hacen estas aproximaciones proyectando el vector espacial en cualquiera de las derivaciones y considerando el plano frontal u horizontal, obtendremos el resultado que registra el electrocardiograma.

Este método se menciona solamente para recordar que el eje eléctrico es la resultante de todas las fuerzas eléctricas generadas en el corazón y que se van modificando a medida que se realiza el proceso de despolarización en cada infinitésimo de tiempo de una célula a la siguiente. Además, se considera que el origen del vector es el centro de corazón para fines prácticos y se tomará como una elipse dentro de un cilindro imaginario de cuyo centro se origina un vector hacia la zona más isodifásica de las derivaciones precordiales (Figura 4). Esos vectores en la medida que se van generando forman un asa que permite predecir cómo será el resultado del trazo en cada derivación. De esta forma se pueden estudiar clínicamente las diferentes anomalías observadas en el QRS: zonas del corazón eléctricamente inertes o muertas, zonas hipertrofiadas o dilatadas y zonas con bloqueos de ramas de conducción.⁵

MODELO MATEMÁTICO DE LA FORMA RCIS (α)

Este modelo²⁰ utiliza los números complejos o conjunto C, los cuales se expresan en forma polar

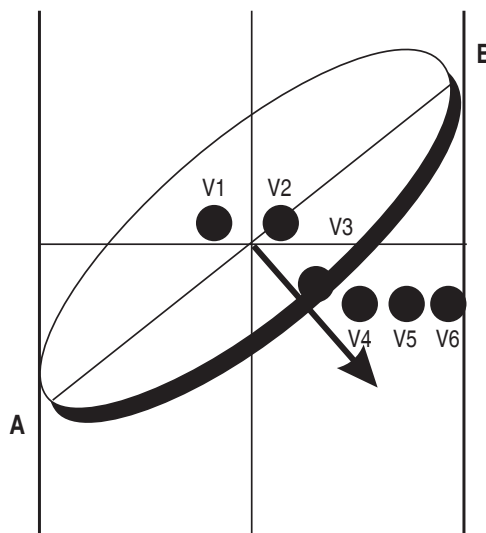


Figura 4. Vector espacial por el método de Grant.

cómo $a + bi$ donde «a» es el valor expresado en el eje de las abscisas, «b» es el valor localizado en el eje de las ordenadas, «i» representa el número imaginario. El número anteriormente expresado es equivalente a dibujar el vector con inicio en el origen de coordenadas y punta (o cabeza del vector) en la intersección del punto (a, b) en el plano cartesiano. Este vector (a, b) se puede llevar a la forma $rCis\alpha$ donde r es la magnitud del vector, $Cis\alpha$ es la abreviatura de $(\cos \alpha + i \sin \alpha)$. El valor de «r» se obtiene de la raíz cuadrada de $(a^2 + b^2)$, α es equivalente a $\arctan(b/a)$ donde arctan es la arcotangente y el ángulo α es el ángulo localizado entre el vector y el eje de las abscisas; para definir correctamente ángulo α hay que recordar las reglas para inscribirse en un círculo trigonométrico. $rCis\alpha$ representa un vector, de tal manera que si se efectúa la proyección de este vector sobre los vectores unitarios de cada derivación se obtiene el voltaje del QRS.

NOMOGRAMA PARA EL EJE ELÉCTRICO

Para llegar a elaborar este nomograma²¹ comenzaron con el procedimiento de graficar los valores del voltaje del QRS en las derivaciones D1 y aVF como un sistema de coordenadas cartesianas, en la manera indicada; es decir:

- Llevar los valores netos del voltaje del QRS en las derivaciones D1 y aVF, las cuales son perpendiculares.

- b) El punto de intersección de dichas rectas se considera como el centro del corazón.
- c) Considerar el segmento de recta que va desde el origen del sistema de coordenadas al punto de localización determinado inicialmente.
- d) De acuerdo con esa determinación utilizan la fórmula trigonométrica de calcular el ángulo como: $\alpha = \arctan(aVF/D1)$, pero de acuerdo con los autores utilizan una variante que los aproxima mejor determinado como $\alpha = \arctan((2/\text{raíz cuadrada de } 3) \cdot (aVF/D1))$. Aplicando esta última fórmula a través de un software denominado Matlab se elabora un nomograma con variaciones de voltajes entre -3 y +3 mV.

El resultado final se busca en una tabla o nomograma de acuerdo con el valor neto de voltaje en D1 y aVF, de manera de tener un resultado rápidamente.

VARIANTES DE LA ARCOTANGENTE O DE LA TANGENTE

El uso de la arcotangente y/o tangente de un ángulo para localizar el eje eléctrico cardiaco se ha utilizado desde hace tiempo. Recordemos que la arcotangente es la función inversa de la tangente; la tangente de un ángulo se define como el cociente del cateto opuesto sobre el adyacente de un triángulo rectángulo. El valor obtenido en D1 viene a representar el cateto adyacente y el valor obtenido en aVF representa al cateto opuesto. Como sabemos, el triángulo de Einthoven no es un triángulo equilátero perfecto y ello motiva la obtención de nuevas fórmulas como las siguientes:

- A) Ángulo = $\arctan((2 \cdot D2 - D1)/\text{raíz cuadrada de } (3 \cdot D1))$ ²²
- B) Ángulo = $\arctan(2 \cdot aVF/\text{raíz cuadrada de } (3 \cdot D1))$ ²³
- C) Ángulo = $\arctan(aVF/[\text{raíz cuadrada de } (3 \cdot (D2 - aVF))])$ ²⁴
- D) Ángulo = $\text{Arcotan}((D1 + 2 \cdot D3)/\text{raíz cuadrada de } (3 \cdot D1))$. Esta fórmula²⁵ está basada en el área bajo la curva de R y de S.

CONCLUSIONES

El electrocardiograma sigue aportando información valiosa en la práctica clínica. En la medida que se utilizan correctamente sus premisas se obtienen parámetros que permiten ubicar la afección cardiaca o comorbilidades asociadas a dichas patologías. Entre esos parámetros, el eje eléctrico requiere cuidadosa atención y se ofrecen diferentes métodos para su cálculo y determinación. Los diferentes métodos mencionados, para el cálculo del eje eléctrico medio del QRS, son aplicables de manera similar al cálculo del eje de la onda P, la onda T y el desnivel del ST.

En la práctica clínica se utiliza el método de las coordenadas cartesianas y la isoelectrica para el cálculo del eje eléctrico. Los otros métodos son más elaborados y contienen técnicas matemáticas que no son aplicables a la cabecera del paciente; sin embargo, su conocimiento y uso son de gran significancia cuando se aplican a dispositivos de diagnóstico o en la investigación de bioingeniería.²⁶ Una aplicación interesante de estos métodos con alta carga matemática es la relación de la actividad eléctrica cardiaca a través de procesos de simulación.²⁷ El uso de diagramas de flujo y pseudocódigo²⁸ para el cálculo del eje eléctrico nos muestra la relación profunda entre aspectos médicos y el uso de la computadora. Es posible ampliar el abanico de posibilidades cuando se combinan estos algoritmos para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje tanto en pregrado como en estudios especializados. Es necesario mencionar que tanto los algoritmos como los diagramas de flujo son herramientas valiosas en la resolución de problemas, mejorando la capacidad de análisis.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no tienen.

BIBLIOGRAFÍA

- Rivera-Ruiz M, Cajavilca C, Varon J. Einthoven's string galvanometer: the first electrocardiograph. *Tex Heart Inst J*. 2008; 35 (2): 174-178.
- Lama A. Einthoven: El hombre y su invento. *Rev Med Chile*. 2004; 132: 260-264.
- Lanza G. Fórmulas para el QT corregido y consideraciones clínicas. *Gac Méd Caracas*. 2008; 116 (3): 224-234.

4. Lanza G. Modelos matemáticos en cardiología. *Avances Cardiol.* 2013; 33 (1): 32-39.
5. Bayes A, Sierra J, Oca F. *Electrocardiografía de Holter: enfoque práctico.* Barcelona, España: Editorial Científico Médico; 1984.
6. Marriott H. *Practical electrocardiography.* 8th edition. Baltimore: Williams & Wilkins; 1988.
7. Kors JA, De Bruyne MC, Hoes AW, Van Herpen G, Hofman A, Van Bommel JH et al. T axis as an indicator of risk of cardiac events in elderly people. *Lancet.* 1998; 352: 601-605.
8. Borden H, Ibrahim M. The epidemiology of the QRS axis measurement. *Am J Public Health Nations Health.* 1970; 60 (4): 722-730.
9. Evans JG, Prior IA, Tunbridge WM. Age-associated change in QRS axis: intrinsic or extrinsic ageing? *Gerontology.* 1982; 28 (2): 132-137.
10. Berthaux P, Beck H, Lassabliere C, Maublanc C. Significance of left deviation of the electrical axis of the heart in the aged. *Rev Fr Gerontol.* 1964; 10: 371-375.
11. Wershing JM, Walker CH. Influence of age, sex, and body habitus on the mean qrs electrical axis in childhood and adolescence. *Br Heart J.* 1963; 25: 601-609.
12. Entcheva E. Influence of the electric axis of stimulation on the induced transmembrane potentials in ellipsoidal bidomain heart. *Ann Biomed Eng.* 2000; 28 (3): 244-252.
13. Vladimirov V, Godev N. Experience with the electrocardiographic diagnosis of cardiac ventricular hypertrophy by the methods of mathematical statistical analysis. *Vutr Boles.* 1975; 14 (4): 17-23.
14. Popov L, Voloshin V, Kochetkova O. Model studies on the effects of heart orientation on electrical axis measurements. *Measurement Techniques.* 2001; 44 (6): 651-659.
15. Stafford MR, Stafford DG. Determination of the electrical axis of the heart. *J Am Osteopath Assoc.* 1993; 93 (1): 103-105.
16. Grant RP. Spatial vector electrocardiography: a method for calculating the spatial electrical vectors of the heart from conventional leads. *Circulation.* 1950; 2: 676-682.
17. Grant RP. The relationship of unipolar chest leads to the electrical field of the heart. *Circulation.* 1950; 1: 878-881.
18. Wilson F, Johnston F, Kossmann C. The substitution of a tetrahedron for the Einthoven triangle. *Am Heart J.* 1947; 33: 594-603.
19. Bayley R. On certain applications of modern electrocardiographic theory to the interpretation of electrocardiograms which indicate myocardial disease. *Am Heart J.* 1943; 26: 769-831.
20. Lanza TG. Electrocardiograma: Modelo matemático del eje eléctrico y su uso en la determinación del voltaje del QRS en derivaciones estándar. *Gac Méd Caracas.* 1998; 106 (4): 509-514.
21. Hoseini S, Moeeny A, Shoar S, Shoar N, Naderan M, Gharibzadeh S, Dehpour A. Designing nomogram for determining the heart's QRS axis. *J Clin Basic Cardiol.* 2011; 14 (1-4): 12-15.
22. Madanmohan BA, Saravanane C. A new method for quick and accurate calculation of the cardiac axis. *Med Sci Res.* 1990; 18: 933-934.
23. Madanmohan BA, Sethuraman KR, Thombre DP. A formula for quick and accurate calculation of cardiac axis from leads I and aVF. *Med Sci Res.* 1991; 19: 313-314.
24. Novosel D, Noll G, Lüscher T. Corrected formula for the calculation of the electrical heart axis. *Croat Med J.* 1999; 40 (1): 77-79.
25. Singh PN, Athar MS. Simplified calculation of mean QRS vector (mean electrical axis of heart) of electrocardiogram. *Indian J Physiol Pharmacol.* 2003; 47 (2): 212-216.
26. Zettinig O, Mansi T, Neumann D, Georgescu B, Rapaka S, Seegerer P, Kayvanpour E et al. Data-driven estimation of cardiac electrical diffusivity from 12-lead ECG signals. *Med Image Anal.* 2014; 18 (8): 1361-1376.
27. Cardona K, Saiz J, De Loma JM, Puerto G, Suárez C. Modelado y simulación de la actividad eléctrica de células ventriculares. *Rev Fac Ing Univ Antioquia.* 2015; 28 (46): 80-89.
28. Lanza G. Algoritmo y pseudocódigo: nueva perspectiva para calcular el eje eléctrico de un electrocardiograma. *Avances Cardiol.* 2014; 34 (4): 280-285.

Dirección para correspondencia:

Giuseppe Lanza-Tarricone

Fuente Las Brisas a Pirineo
San José, Cotiza, Caracas,
República Bolivariana de Venezuela.
Tel: 0212-8622910/3162
E-mail: giulanzata@gmail.com

www.medigraphic.org.mx