

EDUCACIÓN MÉDICA

El electrocardiograma normal

Parte 2

• Dr. Gerardo Pozas Garza¹

• *Palabras clave*

Electrocardiograma de doce derivaciones, derivación – aVR, ritmo sinusal.

Componentes del electrocardiograma: ondas y complejos

Onda P

La activación auricular se lleva a cabo mediante la aparición sucesiva de dos vectores: el primero, para la aurícula derecha y el segundo, para la izquierda. El vector resultante de la despolarización auricular se proyecta hacia abajo, a la izquierda y ligeramente hacia atrás. Su proyección en el plano frontal es aproximadamente a $+50^\circ$ (ver Figura 1A). El asa de la onda P se inscribe en sentido antihorario (ver Figura 1B). Por ello, la polaridad de la onda P será positiva en DI, DII y aVF; y negativa, en aVR; DIII y aVL pueden mostrar una polaridad positiva, negativa o bifásica, según la posición del corazón. En caso de tener una polaridad bifásica, esta será (+/-) en DIII y (-/+) en aVL. La polaridad en las derivaciones precordiales es positiva con excepción de V1 que puede ser bifásica (+/-, el componente terminal negativo debe ser menor de 40 milisegundos). La duración de la onda P es menor de 120 milisegundos y su voltaje es menor de 0.2 mV. La repolarización auricular (Ta) es de polaridad opuesta a la onda P, sin embargo, no se suele observar debido a que coincide con la despolarización ventricular y es de poca amplitud.

Complejo QRS

La despolarización ventricular ocurre mediante la sucesión de tres vectores: septal, pared libre y basal. El primer vector tiene una duración de 10 milisegundos, es de poca magnitud, está dirigido a la derecha y adelante, y puede orientarse hacia arriba o abajo dependiendo

de la posición eléctrica del corazón. El segundo vector tiene una duración de 40 milisegundos y una magnitud diez veces mayor que el primero. Se dirige hacia la izquierda, atrás, y abajo o arriba según la posición del corazón. El tercer vector tiene una duración de 20 milisegundos y se dirige hacia la derecha, arriba, y atrás (en adultos) o adelante (en la infancia y juventud). De la sumatoria de los tres vectores individuales se origina un vector resultante que constituye el promedio de la activación ventricular y se representa por el eje eléctrico (ver Figura 1A). El asa de QRS, en el plano frontal, puede girar en sentido horario (corazones intermedios y verticales) o antihorario (corazones horizontales) (ver Figura 1B). El espectro del eje eléctrico de QRS en un adulto en condiciones normales es de -30° a $+90^\circ$.¹ En el número 4 de la serie se describieron las morfologías unipolares para cada uno de los ventrículos. También se describió la morfología normal para las derivaciones precordiales. El complejo QRS tiene un límite superior de duración de 100 milisegundos. La amplitud del complejo QRS es muy variable, sus principales determinantes son la edad, el género, la complexión física y la impedancia de los tejidos entre el corazón y la piel.²

Punto J

El punto J denota el final de la despolarización y el inicio de la repolarización ventricular. Normalmente se inscribe a nivel de la línea isoelectrica, pero existen variantes fisiológicas que pueden originar un desnivel positivo o negativo. La desviación del punto J respecto a la línea isoelectrica depende de la edad, el género y la derivación estudiada.³ Para las derivaciones V2/V3 estos son los límites superiores de normalidad para un desnivel positivo: hasta 0.25 mV en varones menores de 40 años, hasta 0.20 mV en varones mayores de 40 años, y hasta 0.15 mV en mujeres adultas. Para el resto de las derivaciones el valor es de 0.1 mV, independientemente del género y la edad. En lo que respecta a un

¹ Cardiólogo electrofisiólogo del Centro Médico Hospital San José y del Instituto de Cardiología y Medicina Vascular del Centro Médico Zambrano Hellion.

desnivel negativo del punto J, el punto de corte de normalidad es de 0.05 mV para las derivaciones V2/V3 y 0.1 mV para el resto.

Onda T

Representa la repolarización ventricular.^{4,5,6} En el plano frontal su vector es bastante paralelo al vector de QRS (ver Figura 1A). El asa de la onda T gira en sentido horario (ver Figura 1B). Por tanto, la polaridad de la onda T suele ser positiva en DI, DII y aVF, y negativa, en aVR; puede ser bifásica en DIII (-/+) y aVL (+/-). En el plano transversal el vector de la onda T suele situarse más anterior respecto al de QRS. Por tanto, la polaridad de la onda T es positiva en las derivaciones del plano transversal, independientemente de la polaridad dominante del complejo QRS. Las derivaciones V1 y V2 pueden mostrar ondas T planas o invertidas, sobre todo en mujeres jóvenes. La morfología de la onda T muestra que la inscripción de sus ramas no ocurre con la misma velocidad: la primera rama es más lenta que la segunda (independientemente de la polaridad) y su vértice es romo. La amplitud de la onda T no suele superar los 0.5 mV en las derivaciones del plano frontal y 1 mV en las derivaciones precordiales. La duración de la onda T no es de mucho valor, sin embargo, este parámetro se incluye en la medición del intervalo QT.

Onda U

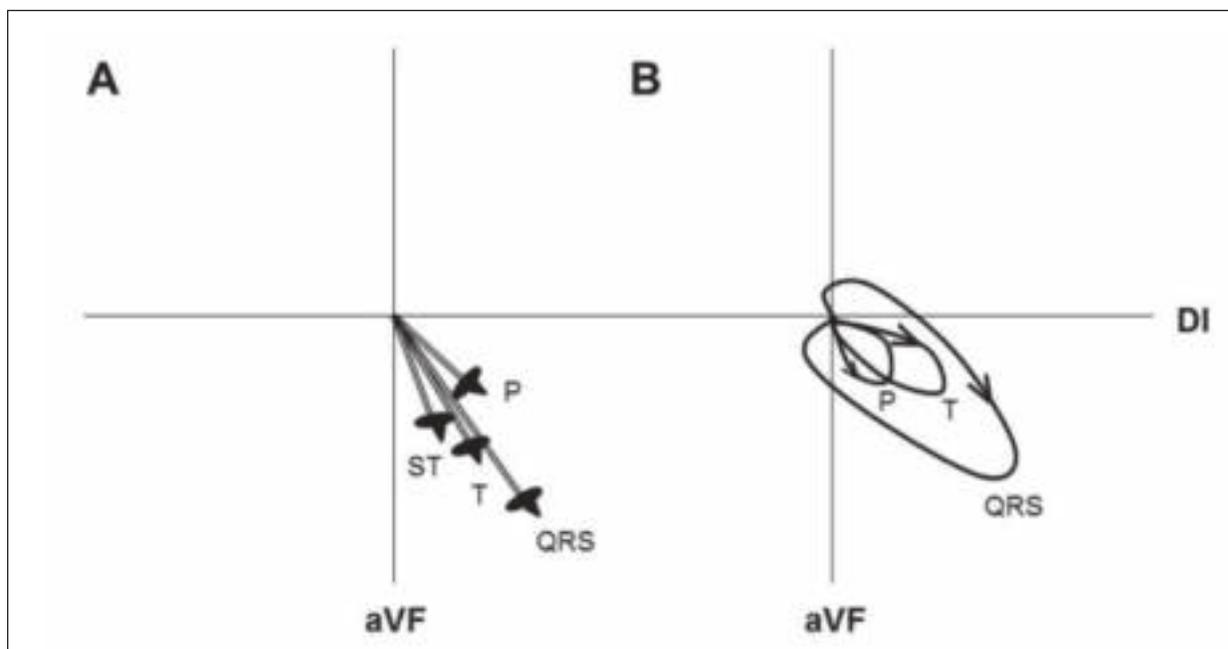
Existe controversia sobre el origen de la onda U. Se considera que en condiciones normales, la onda U es el resultado del potencial de acción prolongado de las células M.⁷ Su polaridad es la misma que la onda T que le precede y su amplitud no suele rebasar el 15 % de la misma. Se observa principalmente en las derivaciones V2 y V3 y es más evidente en presencia de bradicardia. Es importante no confundir a la onda U con una onda T bimodal. Para establecer el diagnóstico diferencial es recomendable analizar las doce derivaciones en forma simultánea. Esta diferenciación es particularmente importante cuando se valora la duración del intervalo QT (que no debe incluir a la onda U).⁸

Componentes del electrocardiograma: segmentos e intervalos

Intervalo PR

Se extiende desde el inicio de la onda P hasta el inicio del complejo QRS. Corresponde, por tanto, al conjunto de la onda P y el segmento PR. Comprende la despolarización o activación de las siguientes estructuras: nodo sinusal, aurículas, nodo AV, His, rama derecha e izquierda y red de Purkinje. En un adulto, la duración del intervalo PR es de 120 a 200 milisegundos. En ancianos se acepta un límite superior normal de 220 milisegundos.

Figura 1. Esquema que ejemplifica la orientación de los vectores de P, QRS, ST y T (1A) y las asas correspondientes (1B) en el plano frontal.



Las asas de QRS y T giran en sentido horario; el asa de P gira en sentido antihorario. Se muestran las derivaciones DI y aVF.

Segmento ST

Corresponde a la fase 2 de meseta del potencial de acción ventricular. El segmento ST es isoeléctrico debido a que todas las células ventriculares se encuentran despolarizadas. Sin embargo, en condiciones normales, el segmento ST puede mostrar un desnivel positivo (ver apartado del punto J). Este desnivel positivo suele ser mayor en varones que en mujeres. El segmento ST también puede ser representado mediante un vector que en condiciones normales es bastante paralelo al vector de la onda T. De esta forma, es característico que un desnivel positivo del punto J vaya seguido de un supradesnivel del segmento ST y una onda T positiva (dentro de los parámetros de voltaje señalados previamente).

Intervalo QT

Se extiende desde el inicio del complejo QRS hasta el final de la onda T. Representa la sístole electromecánica del corazón (despolarización y repolarización) y su duración está en relación con el potencial de acción ventricular. El límite inferior normal de duración es de 360-370 milisegundos.⁹ El punto de corte superior varía dependiendo de la edad y el género: 440 milisegundos hasta los quince años, 460 milisegundos en mujeres adultas y 450 milisegundos en hombres adultos. La duración del intervalo QT varía en forma inversa a la frecuencia cardiaca, por lo que su valor debe corregirse de acuerdo a esta. El método más comúnmente utilizado para corregir la frecuencia es la fórmula de Bazet: $QTc = QTm / RR^{1/2}$.¹⁰

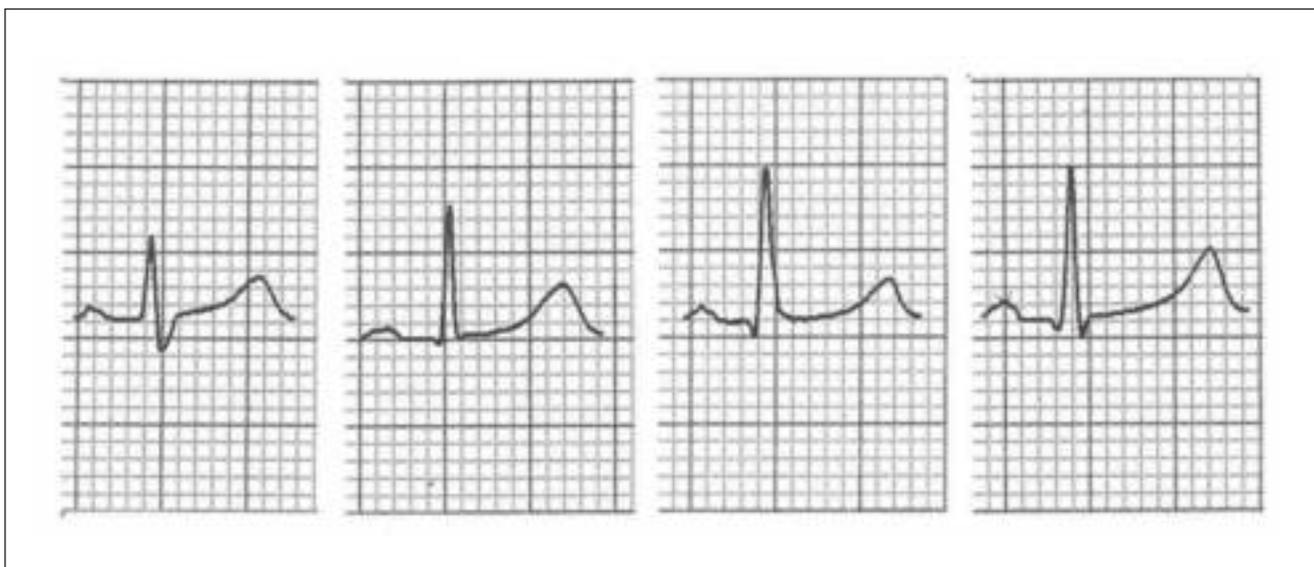
Intervalo TP (TQ)

Corresponde a la fase 4 del potencial de acción ventricular (reposo) y representa la diástole electromecánica. El segmento TP se inscribe en la línea isoeléctrica debido a que todas las células se encuentran polarizadas. Este segmento se debe usar como referencia para valorar un desnivel del punto J o del segmento ST. Un ciclo cardiaco, por lo tanto, está integrado por la suma de los intervalos QT y TP (TQ). Cuando la frecuencia cardiaca aumenta, el intervalo TP se acorta de manera progresiva.

La derivación – aVR

La técnica de obtención y la utilidad del formato de Cabrera u ordenado han sido publicados previamente en otro artículo de esta serie.¹¹ Solo basta recordar que esta derivación consiste en invertir la polaridad de la derivación aVR al registrar desde el punto diametralmente opuesto (- aVR, + 30°).¹² Esta modificación facilita el cálculo del eje eléctrico debido a que este se encuentra frecuentemente en el rango próximo a + 30°.¹³ Como es esperado, la morfología del trazo electrocardiográfico en la derivación – aVR será fundamentalmente positiva. En este apartado se describe un análisis efectuado en 100 sujetos sanos (70 del género masculino) a quienes se les practicó un examen médico rutinario. Se adquirieron dos estudios electrocardiográficos: uno con el formato convencional y otro con el formato de Cabrera. En la Tabla 1 se muestran los porcentajes para la morfología del complejo QRS, la amplitud de la onda q cuando esta existe, la magnitud del desnivel

Figura 2. Trazos electrocardiográficos correspondientes a la derivación – aVR



De izquierda a derecha: morfología RS, morfología R, morfología qR y morfología qRs.

positivo del punto J y la amplitud de la onda T. La polaridad de la onda T fue positiva en todos los casos. Las morfologías electrocardiográficas características de la derivación – aVR se muestran en la Figura 2.

En el grupo convencional se analizó la polaridad de la onda T en DIII y aVL, ya que debido a que están colocadas en los extremos del espectro del eje eléctrico pueden mostrar una polaridad bifásica. Onda T en la derivación DIII: positiva 45 %, negativa 28 %, isoelectrica o plana 15 % y bifásica 12 %. Onda T en la derivación aVL: positiva 83 %, isoelectrica o plana 13 %, negativa 4 % y bifásica 0 %.

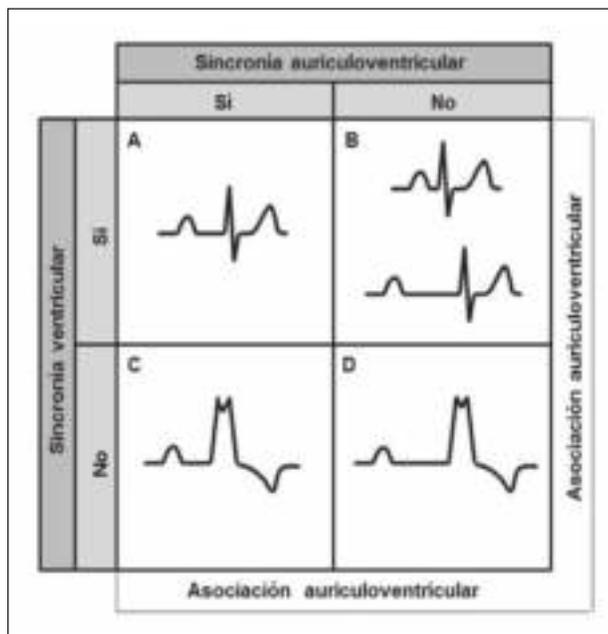
Ritmo sinusal

Con el fin de que el corazón pueda cumplir su función de bomba en forma eficiente, el sistema de conducción debe proveer el acoplamiento de la activación auricular y ventricular (asociación) dentro de parámetros de tiempo fisiológicos (sincronía).^{14,15,16} De esta forma, la definición de ritmo sinusal incluye los siguientes tres componentes: 1) la onda P debe ser de origen sinusal; 2) el intervalo PR debe tener una duración fisiológica, y 3) el complejo QRS debe tener una duración normal.

Se desglosa brevemente cada una de las características. La onda P denota la activación auricular, más no determina si esta inicia en el nodo sinusal o si se trata de un origen ectópico (o retrógrada). La despolarización auricular debe tener una dirección céfalo-caudal (de arriba hacia abajo). Cuando la duración del intervalo PR es menor de 120 milisegundos o mayor de 200 milisegundos se abreviará o prolongará el acoplamiento mecánico entre las aurículas y ventrículos, adelantando o retrasando el cierre de las válvulas auriculoventriculares, respectivamente. La duración normal del complejo QRS refleja la integridad anatómica y funcional del sistema de conducción intraventricular que incluye al haz de His, a la rama derecha e izquierda, la red de Purkinje y las conexiones intercelulares. La transmisión del impulso eléctrico en forma prácticamente simultánea por ambas ramas y red de Purkinje, aunado a la conducción eléctrica efectuada a través de las uniones entre las células ventriculares, determina el acoplamiento eléctrico responsable de la sincronía de activación inter e intraventricular.

En síntesis, la concurrencia de los tres componentes es lo que delimita al ritmo sinusal. Desde un punto de vista estricto, la falta de alguno de ellos determina que el ritmo no sea sinusal. En la Figura 3 se esquematiza un ejemplo de ritmo sinusal y se compara con un intervalo PR corto, un intervalo PR largo y un ensanchamiento en la duración del complejo QRS.

Figura 3. Definición operativa y funcional de ritmo sinusal y diversos trastornos patológicos



Se muestran los componentes de un latido sinusal (A) y se compara con ejemplos de asincronía auriculoventricular representados por un intervalo PR corto y largo (B), asincronía ventricular representado por un ensanchamiento en la duración del complejo QRS (C) y asincronía auriculoventricular y ventricular (D). En todos los casos existe asociación auriculoventricular.

Tabla 1. Análisis de la derivación – aVR en cien personas sanas

Derivación - aVR			
Morfología QRS	Onda Q (mV)	Punto J (desnivel positivo, mV)	Onda T (mV)
RS 39%	0.05 25%	0 70%	0.1 6%
R 32%	0.1 4%	0.05 24%	0.2 43%
qR 20%	> 0.1 0%	0.1 5%	0.3 38%
qRs 9%		0.15 1%	0.4 9%
			0.5 3%
			0.6 1%

Se muestran los porcentajes para la morfología del complejo QRS, amplitud de la onda q, desnivel positivo del punto J y amplitud de la onda T.

Referencias bibliográficas

1. Surawicz B, Childers R, Deal B, Gettes L. AHA/ACCF/HRS recommendations for the estandarization and interpretation of the electrocardiogram. *Circulation* 2009;119:e235-e240.
2. Surawicz B. Effect of heart rate on QRS voltage. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2000;11:61-63.
3. Wagner G, Macfarlane P, Wellens H, Josephson M, et al. AHA/ACCF/HRS recommendations for the estandarization and interpretation of the electrocardiogram. *Circulation* 2009;119:e262-e270.
4. Yan G, Lankipalli R, Burke J, et al. Ventricular repolarization components on the electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:401-9.
5. Rautaharju P, Surawicz B, Gettes L. AHA/ACCF/HRS recommendations for the estandarization and interpretation of the electrocardiogram. *Circulation* 2009;119:e241-e250.
6. Patel Ch, Burke J, Patel H, Gupta P, et al. Is there a significant transmural gradient in repolarization time in the intact heart? *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 2009;2:80-88.
7. Surawicz B. U wave: facts, hypotheses, misconceptions, and misnomers. *J Cardiovasc Electrophysiol* 1998;9:1117-1128.
8. Viskin S, Rosovski U, Sands A, Chen E, et al. Inaccurate electrocardiographic interpretation of long QT: the majority of physicians cannot recognize a long QT when they see one. *Heart Rhythm* 2005;2:569-574.
9. Viskin S. The QT interval: too long, too short or just right. *Heart Rhythm* 2009;6:711-715.
10. Camm J. Clinical trial design to evaluate the effects of drugs on cardiac repolarization: current state of the art. *Heart Rhythm* 2005;2:S23-S29.
11. Pozas G. Modificaciones a la técnica estándar para la adquisición del electrocardiograma. *Revista Avances* 2010;21:45-51.
12. Sgarbossa E, Barold S, Pinski S, Wagner G, Pahlm O. Twelve Lead ECG: the advantages of an orderly frontal lead display including lead – aVR. *J Electrocardiol* 2004;37:141-147.
13. Pahlm O, O'Brien JE, Petterson J, et al. Comparison of teaching the basic electrocardiographic concept of frontal plane QRS axis using the classical versus the orderly electrocardiogram limb lead display. *Am Heart J* 1997;134:1014-1018.
14. James TN. Structure and function of the sinus node, AV node and His bundle of the human heart. *Prog Cardiovasc Dis* 2002;45:235-267.
15. James TN. The sinus node as a servomechanism. *Circulation Res* 1973;32:307-313.
16. James TN. The internodal pathways of the human heart. *Prog Cardiovasc Dis* 2001;43:495-535.

Correspondencia:

Dr. Gerardo Pozas Garza

Email: gpozas@itesm.mx