

## Vectores cardíacos, derivaciones del plano frontal y horizontal, ondas, intervalos y segmentos en el electrocardiograma

Dr. José Alfredo Zavala-Villeda\*

\* Anestesiólogo cardiovascular, Instituto Nacional de Cardiología «Ignacio Chávez». Ciudad de México.

### VECTORES DE DESPOLARIZACIÓN

Un vector se define como un segmento de recta que representa una fuerza con longitud o magnitud, dirección y sentido o polaridad. En el caso del electrocardiograma, el vector representa de forma gráfica el potencial eléctrico que genera el flujo de corriente y es la resultante de la suma de todas las fuerzas eléctricas del corazón. El proceso de despolarización ventricular forma un dipolo con dirección, magnitud y sentido, es decir, un vector. Por lo que la suma de dipolos en un mismo sentido generará una expresión vectorial con determinada magnitud según la cantidad de dipolos que se sumen a ésta y conforme avanza y despolariza los ventrículos. Conforme la despolarización avanza desde el nodo SA hasta las paredes libres de los ventrículos, los dipolos que se generan serán registrados por los electrodos de registro y el electrocardiógrafo hará la suma de todos éstos y el cálculo de su magnitud y dirección para representarlo como ondas de determinado voltaje en cada una de las derivadas del electrocardiograma<sup>(1)</sup>.

Los principales vectores que encontraremos en el corazón se encuentran a nivel de los ventrículos y son cuatro<sup>(1,2)</sup>:

**Primer vector o septal.** La primera porción ventricular en despolarizarse es el septum interventricular, es de pequeña magnitud y se dirige de izquierda a derecha y de atrás hacia adelante o hacia abajo según la rotación del corazón. Ésta se valora en el EKG como una pequeña onda Q en V5 y V6, y una onda R pequeña en V1 y V2.

El segundo vector es denominado vector paraseptal, antero-septal o del ápex del corazón, es de gran magnitud y representa la despolarización de la región de las masas paraseptales de las zonas más cercanas a septo interventricular a nivel del

ápex o punta del corazón. Tiene una dirección hacia abajo, adelante y de derecha a izquierda.

**Tercer vector o de las paredes libres.** La tercera región en despolarizarse es la más importante porción de los ventrículos y lo realiza como si fuera un abanico desplegándose de endocardio a epicardio y de punta o ápex a dirección de las bases. El tercer vector corresponde a las paredes libres ventriculares y sucede de endocardio a epicardio. Ante la diferencia de grosor de los ventrículos, el vector que se dirige a la izquierda (y hacia atrás) es de mayor tamaño que el que se dirige a la derecha, por lo que en condiciones normales el vector izquierdo predominará sobre el derecho, es decir, la fuerza eléctrica del tercer vector es grande debido a la magnitud del ventrículo izquierdo superponiéndose sobre el vector del ventrículo derecho, además en las precordiales derechas se verán ondas S grandes y en las precordiales izquierdas ondas R de mayor tamaño. Además, debido al gran volumen de células que se despolarizan en este vector, comparado con el resto, es éste el que indicará la predominancia del eje eléctrico del corazón.

**Cuarto vector o basal.** Se dirige atrás, arriba y a la derecha o a la izquierda dependiendo de la posición del corazón. Refleja la despolarización de las partes más altas de los ventrículos y del septum interventricular. Este último vector de despolarización corresponde a las bases de los ventrículos (pared lateral alta). Se dirige hacia arriba, atrás y a la derecha. Éste se registra como la morfología final de los complejos QRS con una onda S pequeña en V5 y V6. Al finalizar la despolarización ventricular sucede la repolarización, la cual ocurre en la dirección contraria a la despolarización, de epicardio a endocardio y se identifica como el segmento ST y la onda T en el electrocardiograma.

Los cuatro vectores de la despolarización ventricular y su proyección en el espacio se muestran en la figura 1.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/rma>

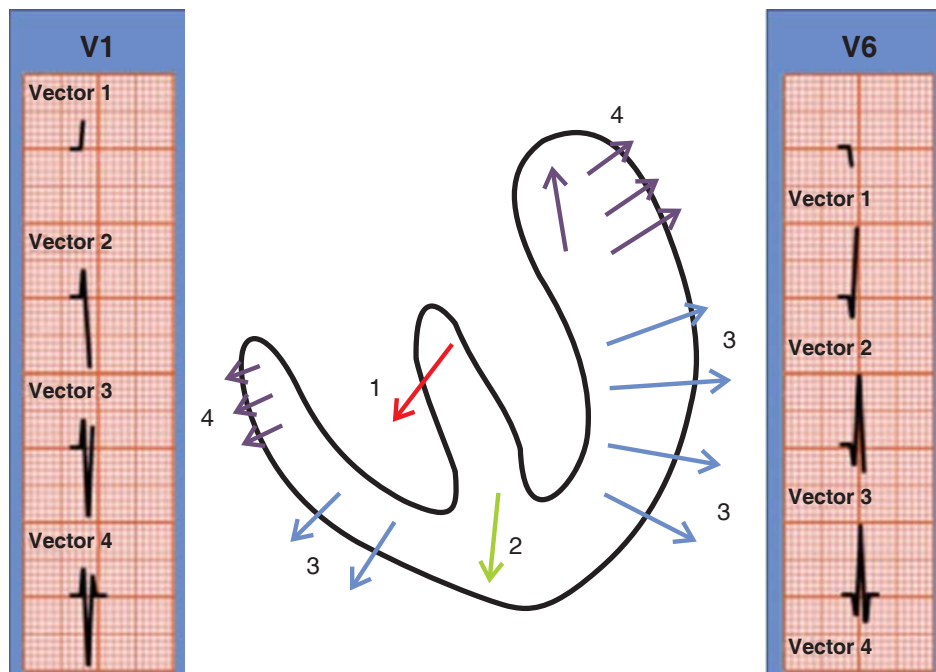


Figura 1.

Los cuatro vectores de la despoliarización ventricular y sus proyecciones en el espacio.

### DERIVACIONES DEL PLANO FRONTAL

El electrocardiograma consta de 12 derivaciones, que son el resultado de la exploración indirecta del corazón desde distintos planos. Son métodos convencionales para registrar potenciales eléctricos nacidos de la excitación miocárdica. Reciben su nombre a causa de su fundamento: captan los potenciales en forma indirecta o derivada. Son, en esencia, 12; en raras ocasiones pueden emplearse otras; tres de ellas son bipolares y se conocen con los nombres de D1, D2 y D3; las otras nueve son unipolares y se denominan, por el orden en que se toman, VR, VL y VF, V1, V2, V3, V4, V5 y V6.

Este tipo de derivaciones, creadas por William Einthoven son: D1, D2 y D3. Se constituyen partiendo de un dipolo, por lo que se conocen, genéricamente, como bipolares. Son las únicas de este tipo, ya que las otras nueve son unipolares. Cada una de ellas tiene una mitad negativa y otra mitad positiva y un meridiano o punto cero en su centro. El brazo derecho se conduce siempre como polo negativo; debe su característica a que la onda de activación se aleja de él al marchar de base a punta y de derecha a izquierda. La onda de activación se aproxima en su recorrido al brazo y la pierna izquierda y los torna polos positivos. Las derivaciones de Einthoven recogen los potenciales cardíacos en un solo plano, de ahí sus limitaciones. Son además la resultante de dos fuerzas de signo contrario, y no representan con nitidez los fenómenos originales en cada uno de sus dos polos constituyentes. Son de máxima utilidad para estudiar las arritmias, la situación o ubicación del marcapaso (ritmo cardíaco) y la frecuencia

de los ciclos miocárdicos. También permiten presumir, con bastante exactitud, la posición del corazón<sup>(3)</sup>.

Las derivaciones unipolares o monopoles de las extremidades registran la diferencia de potencial entre dos puntos, es decir, le derivación D1 (diferencia de potencial entre brazo izquierdo y derecho), las derivaciones monopoles registran el potencial total en un punto del cuerpo. Este tipo de derivación fue ideado por Frank Wilson y para su registro unió las tres derivaciones del triángulo de Einthoven, cada una a través de una resistencia de 5000  $\Omega$  a un punto o central terminal de Wilson donde el potencial eléctrico era cercano a cero. Esta central terminal se conectaba a un aparato de registro del que salía el electrodo explorador, el cual toma el potencial absoluto (V) en el brazo derecho (VR, el brazo izquierdo (VL) y la pierna izquierda (VF). Goldberger modificó el sistema propuesto por Wilson consiguiendo aumentar así la amplitud de las ondas hasta en un 50%, de aquí que esas derivaciones se les llame aVR, aVL y aVF, donde la «a» significa ampliada o aumentada<sup>(4)</sup>.

### DERIVACIONES DEL PLANO HORIZONTAL

Las derivaciones unipolares o monopoles precordiales también se obtienen utilizando el sistema propuesto por Wilson, es decir, uniendo las derivaciones de los miembros a través de resistencias de 5000  $\Omega$  a una central terminal, de donde sale un electrodo explorador que va a colocarse en el precordio. Éstas son fundamentalmente seis<sup>(4)</sup> y son las siguientes:

V1: el electrodo explorador se sitúa en el cuarto espacio intercostal derecho, junto al borde esternal. Recoge potenciales de las aurículas, sobre todo de la derecha, que es anterior y subyacente, y de una pequeña parte del tabique interventricular y la pared anterior del ventrículo derecho.

V2: el electrodo se sitúa también a la altura del cuarto espacio intercostal, pero del lado izquierdo del esternón, justamente encima de la pared ventricular derecha, cuyos potenciales se registran con mayor fuerza que en V1 en razón del mayor grosor que dicha pared presenta a ese nivel, lo que determina que la positividad inicial sea ligeramente mayor que en V1.

V3: en esta derivación precordial, la tercera de ellas, el electrodo explorador se sitúa en un punto equidistante de V2 y de la próxima derivación, V4. Dicho electrodo se encuentra teóricamente situado sobre el tabique interventricular, lo que hace de ella una derivación transicional entre las estructuras miocárdicas izquierdas y derechas.

V4: el electrodo explorador se sitúa en la región de la punta del ventrículo izquierdo, en el quinto espacio intercostal izquierdo y a nivel de la línea medioclavicular. En esta región es precisamente donde mayor grosor muestra el ventrículo izquierdo, y su activación origina una onda fuertemente positiva.

V5 y V6: en V5, el electrodo explorador se coloca en el quinto espacio intercostal izquierdo, más lateralmente que en V4, justo al nivel de la línea axilar anterior. En V6, el electrodo sigue situado en el quinto. Espacio intercostal izquierdo, pero al nivel de la línea axilar media. Debajo de los electrodos situados en esas posiciones se encuentra el miocardio del ventrículo izquierdo, cuyo grosor ha disminuido con respecto a la región de la punta y seguirá disminuyendo hacia la pared posterior; a causa de ello, la fuerza positiva inicial es menor que en V4, aunque sigue siendo dominante<sup>(3)</sup>.

### DEFINICIÓN DE LAS ONDAS, INTERVALOS, SEGMENTOS Y COMPLEJOS ELECTROCARDIOGRÁFICOS

La onda P representa la despolarización de los atrios, el complejo QRS la despolarización de los ventrículos, la onda T la repolarización de los ventrículos, la repolarización atrial queda enmascarada por la magnitud del voltaje del QRS y por último la onda U por la repolarización de los músculos papilares<sup>(5)</sup>. Representa la activación auricular, su duración es menor a 0.12 segundos y su voltaje menor de 0.25 mV. Siempre positiva en DI, DII y aVF y normalmente negativa en aVR, con cualquier polaridad en DIII y aVL. Si se encuentra P negativa en DI significa transposición de cables o *situs inversus*<sup>(6)</sup>.

Onda Tp: es la onda que representa la recuperación eléctrica de las aurículas. Esta onda se inscribe al mismo tiempo en que está sucediendo la despolarización ventricular (complejo QRS) y por lo tanto no se observa en el ECG normal. Es

posible observarla en individuos con bloqueo AV de primer grado o completo<sup>(7)</sup>.

Intervalo PR: se mide desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS, exista o no onda Q<sup>(8)</sup>. Representa el retraso fisiológico, el cual se mide desde el comienzo de la onda P hasta el inicio de la onda Q, cuando dicho intervalo se encuentra acortado podemos deducir que la conducción atrioventricular está acelerada, así como sucede en los síndromes de preexcitación, mientras que si está alargada la conducción se encuentra enlentecida, es decir, existe bloqueo de la conducción auriculoventricular<sup>(5)</sup>. Mide el tiempo de conducción AV. Su valor normal va de 0.12 a 0.20 segundos o 120 a 200 milisegundos<sup>(6)</sup>.

Complejo QRS: este complejo representa la activación de los ventrículos. El complejo QRS puede aparecer normalmente como una (monofásico), dos (bifásico) o tres (trifásico) ondas individuales. Por convención, toda onda negativa al comienzo del complejo QRS es llamada onda Q. La primera deflexión positiva que presenta un complejo QRS es llamada onda R (exista o no onda Q). Una deflexión negativa que siga a una onda R es llamada onda S. Cuando se presenta una segunda deflexión positiva es llamada R' y si se continúa con otra deflexión negativa ésta se llamará S'. Si el complejo QRS es monofásico negativo se denomina QS<sup>(7)</sup>. Duración normal < 0.12 seg.<sup>(6)</sup>.

Segmento ST: es un período de inactividad que separa la despolarización ventricular de la repolarización ventricular. Este segmento normalmente es isoelectrico. Al punto de unión entre el complejo QRS y el segmento ST se le llama punto J, el cual nos es de utilidad para identificar cuando existe un desnivel en el segmento ST<sup>(5)</sup>.

Punto J: punto de unión del complejo QRS con el segmento ST. Normalmente es isoelectrico, pero puede estar elevado en la repolarización precoz<sup>(5)</sup>.

Segmento QT: representa el intervalo entre el comienzo de la activación ventricular y el final de la recuperación ventricular, que corresponde a la sístole mecánica ventricular (sístole y diástole eléctricas). Este segmento se mide desde el inicio del complejo QRS (exista o no onda Q) hasta el final de la onda T. Tiene una duración de 0.32 y 0.40 mm/seg.<sup>(6,7)</sup>.

Onda T: es la onda del ciclo cardíaco que representa la repolarización de los ventrículos. Debido a que la recuperación de las células ventriculares (repolarización) causa una contracorriente opuesta a la despolarización, uno podría esperar que la onda T fuera opuesta al complejo QRS. Sin embargo, las células epicárdicas se repolarizan más rápidamente que las células endocárdicas (debido a que en estas últimas la presión ejercida por la sangre es mayor y a que sorprendentemente la repolarización ocurre durante la sístole mecánica ventricular), lo que hace que la onda de repolarización se dirija en dirección opuesta a la onda de despolarización<sup>(7)</sup>. Representa la repolarización ventricular, es positiva en todas las derivaciones

**Cuadro I.** Valores del tiempo y voltaje de las ondas, intervalos, segmentos complejos electrocardiográficos.

Onda P	< 0.10 seg.	< 0.25 mV
Intervalo PR	0.12-0.20 seg.	-
Onda Q	< 0.4 seg.	> 1/3 QRS
Complejo QRS	0.6-0.8 seg.	-
Segmento ST	-	-
Onda T	0.10-0.25 seg.	2-6 mm
Intervalo QT	0.32-0.40 seg.	-
Onda U	0.16-0.24 seg.	2 mm

excepto en aVR y en ocasiones en V1. Su duración depende de la frecuencia cardíaca y de la edad<sup>(6)</sup>.

Onda U: es una onda de bajo voltaje que se encuentra después de la onda T de un complejo y antes de la onda P del complejo siguiente. Es inconstante y su significado no es bien conocido, algunos autores la señalan como la repolarización de las fibras de Purkinje<sup>(6)</sup>. Hay varias teorías que explican su origen: 1) repolarización del sistema de Purkinje, 2) repolarización de los músculos papilares, y 3) origen mecánico porque coincide con la fase de relajación isovolumétrica del ventrículo. Es normal siempre y cuando sea de menor voltaje y tenga la misma dirección (polaridad) que la onda T<sup>(7)</sup>.

Los valores del tiempo y voltaje de las ondas, intervalos, segmentos complejos electrocardiográficos se muestran en el cuadro I<sup>(5)</sup>.

## REFERENCIAS

- Martínez MA. Electrocardiografía clínica básica. Departamento de integración de ciencias médicas centro de enseñanza y certificación de aptitudes médicas. Facultad de medicina UNAM. Disponible en: <http://paginas.facmed.unam.mx/deptos/icm/images/cecam/04.p.otros/ELECTROCARDIOGRAFIA-CLINICA-BASICA.pdf>.
- Sandri J. Electrocardiografía. Disponible en: <http://fac.org.ar/faces/comites/tecnenf/ecg01.PDF>
- Las derivaciones del electrocardiograma. Cap. 2. pp. 13-20. Disponible en: [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco\\_02](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/pdvedado/franco_02).
- Castellanos C, Pérez de Juan MA, Attie F. Electrocardiografía clínica. Elsevier; 2004.
- Guía para el registro de electrocardiograma. Disponible en: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/fisiologia/assets/documentos/EKG.pdf>.
- López FL, Hernández MS, García MR, Flores MI. Intervenciones de enfermería en la toma de electrocardiograma, círculo torácico y medrano. *Rev Mex Enf Cardiol.* 2014;22:78-84.
- Uribe W, Duque M, Medina LE, Marín J, Velásquez JE, Aristizábal J. Electrocardiografía básica. Sociedad Interamericana de Cardiología. Disponible en: <http://www.siacardio.com/wp-content/uploads/2015/01/ECG-Capitulo-1-Conceptos-b-%C3%ADsicos.pdf>