

Manual CTO

ELECTROCARDIOGRAMA NO PATOLÓGICO PARA ENFERMERAS: BASES E INTERPRETACIÓN PRÁCTICA

NOTA

La medicina es una ciencia sometida a un cambio constante. A medida que la investigación y la experiencia clínica amplían nuestros conocimientos, son necesarios cambios en los tratamientos y la farmacoterapia. Los editores de esta obra han contrastado sus resultados con fuentes consideradas de confianza, en un esfuerzo por proporcionar información completa y general, de acuerdo con los criterios aceptados en el momento de la publicación. Sin embargo, debido a la posibilidad de que existan errores humanos o se produzcan cambios en las ciencias médicas, ni los editores ni cualquier otra fuente implicada en la preparación o la publicación de esta obra garantizan que la información contenida en la misma sea exacta y completa en todos los aspectos, ni son responsables de los errores u omisiones ni de los resultados derivados del empleo de dicha información. Por ello, se recomienda a los lectores que contrasten dicha información con otras fuentes. Por ejemplo, y en particular, se aconseja revisar el prospecto informativo que acompaña a cada medicamento que deseen administrar, para asegurarse de que la información contenida en este libro es correcta y de que no se han producido modificaciones en la dosis recomendada o en las contraindicaciones para la administración. Esta recomendación resulta de particular importancia en relación con fármacos nuevos o de uso poco frecuente. Los lectores también deben consultar a su propio laboratorio para conocer los valores normales.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, su tratamiento informático, la transmisión de ningún otro formato o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro y otros medios, sin el permiso previo de los titulares del *copyright*.

© CTO EDITORIAL, S.L., 2016

C/ Francisco Silvela, 106; 28002 - Madrid

Tfno: 91 782 43 30 Fax: 91 782 43 43

E-mail: ctoeditorial@ctomedicina.com

Página Web: www.grupocto.es

ISBN de la Obra completa: 978-84-16527-67-0

Manual CTO

Electrocardiograma no patológico para enfermeras: bases e interpretación práctica

Índice

RECUERDO DE ANATOMÍA CARDÍACA	1
ELECTROFISIOLOGÍA. GENERALIDADES	5
BASES PARA EL DIAGNÓSTICO ELECTROCARDIOGRÁFICO	15
TÉCNICA DE REALIZACIÓN DE UN ELECTROCARDIOGRAMA.	
ARTEFACTOS EN EL REGISTRO DEL TRABAZO ELECTROCARDIOGRÁFICO	35

1.1. Electrocardiografía. Electrocardiógrafo. Electrocardiograma

La **electrocardiografía** constituye una rama de la electrocardiología *dedicada al estudio de la electricidad producida por el corazón.*

Durante el ciclo cardíaco, en el miocardio se originan oscilaciones de voltaje que pueden registrarse desde la superficie corporal mediante un **electrocardiógrafo**, obteniéndose una gráfica que es el **electrocardiograma**.

La electrocardiografía se basa en lo siguiente:

- El músculo cardíaco se contrae por estímulos eléctricos.
- El corazón produce potenciales eléctricos.
- Los potenciales eléctricos cardíacos son registrables.

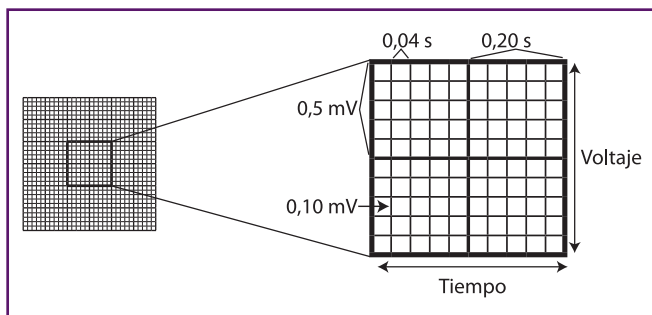
Esta técnica es de inestimable valor diagnóstico pero debe ser utilizada teniendo en cuenta el contexto clínico del paciente.

El **electrocardiógrafo** *es un oscilógrafo que traduce las variaciones de potencial eléctrico en oscilaciones de una aguja inscriptora, la cual se desplaza hacia arriba cuando los potenciales son positivos y hacia abajo cuando son negativos.*

Se utilizan unos cables que van desde el paciente al galvanómetro del aparato, pasando por un amplificador.

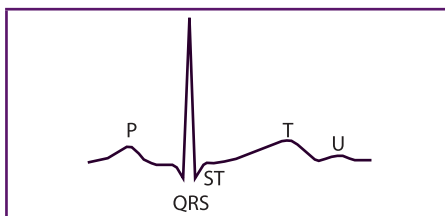
El **electrocardiograma** *es una gráfica sobre papel milimetrado (cada 5 mm las líneas tienen un trazo más grueso) en la que se mide (Figura 4):*

- **Voltaje o amplitud:** determinado por el desplazamiento vertical de la aguja (1 mm = 0,1 milivoltio (mV) = 1 cuadrado; 10 mm = 1 mV = 10 cuadrados). Se considera *altura* si la onda es positiva (por encima de la línea isoelectrica) y *profundidad* si es negativa (por debajo de la línea isoelectrica).
- **Tiempo:** determinado por el desplazamiento del papel, por lo que se mide en sentido horizontal. Normalmente el papel se mueve a una velocidad de 25 milímetros por segundo, por tanto:
 - 1 mm = 0,04 segundos = 40 milisegundos.
 - 5 mm = 0,20 segundos = 200 milisegundos.



[Figura 4] Papel milimetrado

Por cada ciclo cardíaco (sístole y diástole) se registra una curva. El **trazo electrocardiográfico** (Figura 5) en condiciones normales se repite con la misma cadencia. La curva consta de una serie de ondas (P, Q, R, S, T, U), segmentos (P-R y S-T) e intervalos (P-R, QRS, QT), que se estudiarán a fondo en el apartado dedicado al electrocardiograma normal.



[Figura 5] Curva del electrocardiograma

En el electrocardiograma se registran distintas derivaciones que permiten conocer la actividad eléctrica del corazón desde diferentes puntos. Los electrocardiógrafos pueden ser de un canal, en cuyo caso obtienen el trazado de una derivación cada vez, o multicanal, que registran a la vez tres o seis derivaciones que suelen agruparse de la siguiente forma: (I, II, III) (aVR, aVL, aVF) (V1, V2, V3) (V4, V5, V6). La representación simultánea de varias derivaciones permite ver un mismo latido a la vez desde distintos puntos y tener mayor precisión en la medición de los intervalos.

1.2. Sistema de excitación y conducción

El corazón posee un sistema eléctrico propio (véase Figura 2) en el que se origina y por el que se conduce el estímulo eléctrico. Consta de las siguientes estructuras:

1. **Nodo sinusal o sinoauricular (SA) o de Keith y Flack:** constituye el lugar donde se origina el impulso, concretamente en unas células llamadas células P o células marcapaso. Está situado en la aurícula derecha, en la región anterosuperior, junto a la desembocadura de la vena cava superior. Está irrigado por ramas de la arteria coronaria derecha o de la circunfleja e inervado por fibras del sistema nervioso autónomo (el

simpático lo estimula y el parasimpático lo deprime). Su frecuencia normal de descarga es de 60 a 100 latidos por minuto (lpm).

2. **Haces internodales:** son las estructuras preferenciales por las que se conduce el estímulo desde el nodo SA, a través de las aurículas, hasta el nodo aurículo-ventricular. Reciben el nombre de haces de James (del que parte el haz de Bachman para la AI), Wenckebach y Thorel.
3. **Nodo aurículo-ventricular (AV) o de Aschoff-Tawara:** tiene la función de causar un retardo en la conducción del impulso, tiempo necesario para que se produzca el llenado de los ventrículos. Está situado en la aurícula derecha, en la región posteroinferior, en la base del tabique interauricular. El sistema nervioso simpático aumenta su velocidad de conducción y el parasimpático la disminuye.
4. **Haz de His:** es un tronco neuromuscular que emerge de la porción inferior del nodo AV. Se dirige hacia abajo y hacia la izquierda, terminando en la parte superior del septo interventricular donde se divide en dos ramas, la rama derecha, que se dirige hacia abajo, hacia la derecha y el ápex; y la rama izquierda, que se dirige hacia abajo y hacia la izquierda y se divide, a su vez, en dos fascículos: antero-superior (largo y delgado) y postero-inferior (corto y grueso).
5. **Red de Purkinje:** formada por las ramificaciones que brotan de la subdivisión del haz de His y que se introducen en el interior del miocardio.

1.3. Electrofisiología cardíaca

1.3.1. Células cardíacas. Tipos. Propiedades

Desde el punto de vista electrofisiológico existen **dos tipos de células** en el corazón:

- **Células de respuesta rápida:** en las que se produce una despolarización rápida tras la llegada del estímulo eléctrico. Son las células contráctiles y las células de Purkinje (situadas en el haz de His y las redes de Purkinje).
- **Células de respuesta lenta:** células P o células marcapaso, en las que se origina el estímulo eléctrico. Son muy abundantes en el nodo sinusal.

Existe un tercer tipo de células con características intermedias que reciben el nombre de **células transicionales**.

Las fibras musculares cardíacas, desde un punto de vista eléctrico, poseen las siguientes propiedades:

- **Automatismo:** consiste en la capacidad de determinadas células de generar estímulos eléctricos. El automatismo normal del corazón tiene lugar en el nodo sinusal, pero esta

capacidad también existe, en menor grado, en el resto de estructuras del sistema de conducción (nodo AV y sistema His-Purkinje).

- **Excitabilidad:** es la capacidad que poseen todas las células cardíacas de responder a un estímulo eficaz. Las células automáticas se autoexcitan mientras que las células contráctiles se activan tras recibir un estímulo. Tras la excitación, las células tienen un tiempo de recuperación llamado periodo refractario, que puede ser absoluto o relativo.
- **Conductividad:** se refiere a la capacidad de todas las células cardíacas para transmitir un impulso eléctrico.

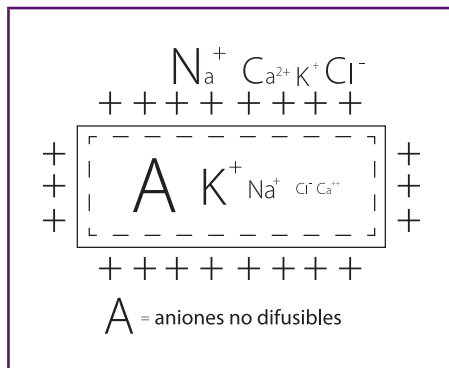
1.3.2. Génesis de los potenciales cardíacos. Potencial de reposo, potencial de acción, potencial umbral

¿Qué relación tiene este apartado con la interpretación de un ECG? Aunque no estudiaras este punto, podrías hacer una correcta interpretación del electrocardiograma, pero te resultará interesante para conocer los fundamentos del origen y la conducción de la corriente eléctrica en el corazón. Asimismo se explican los conceptos de polarización, despolarización y repolarización, muy utilizados en electrocardiografía. Por último, la comprensión de la curva del potencial de acción te permitirá identificar la acción de los fármacos antiarrítmicos.

El mecanismo que origina las corrientes eléctricas del miocardio tiene relación directa con el flujo de iones a través de la membrana celular de la célula cardíaca. Esta membrana tiene una permeabilidad selectiva para los iones positivos, por lo que son los intercambios iónicos del Na^+ , del K^+ y del Ca^{2+} los responsables de los fenómenos eléctricos cardíacos.

El K^+ es un ion predominantemente intracelular (concentración 30 veces superior en el interior que en el exterior), mientras que el Na^+ se encuentra en el espacio extracelular (en una proporción de 10:1 con respecto al espacio intracelular).

La célula cardíaca en reposo eléctrico (célula polarizada) (Figura 6) está cargada negativamente en su interior (-60 a -100 mV) por la presencia de aniones (A) no difusibles (moléculas proteicas, compuestos de fosfato y de sulfato) y rodeada de cargas positivas (Na^+ y Ca^{2+}).



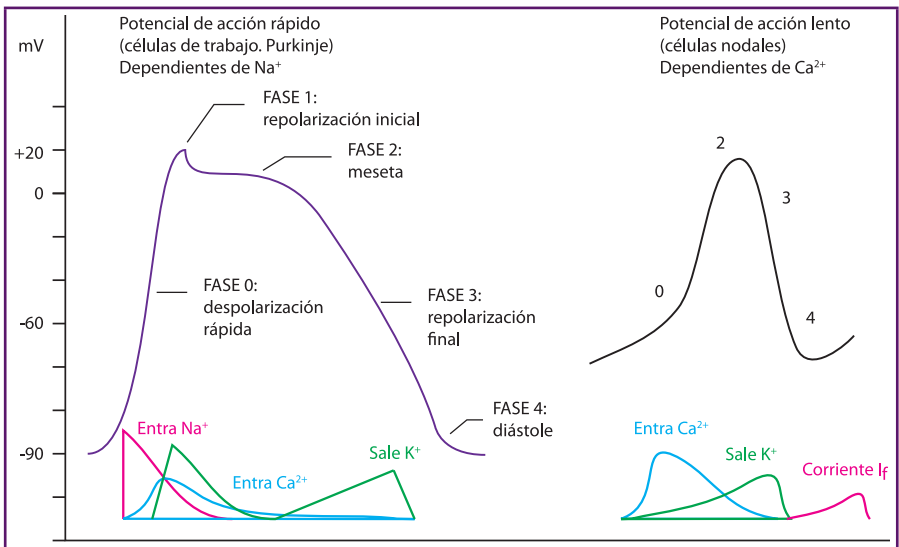
[Figura 6] Célula cardíaca en reposo eléctrico (célula polarizada)

Recuerda

Conceptos de polarización, despolarización y repolarización.

- **Célula polarizada:** célula en reposo eléctrico (carga negativa en el interior y positiva en el exterior).
- **Célula despolarizada:** la célula invierte el signo de sus cargas (carga positiva en el interior y negativa en el exterior).
- **Célula en proceso de repolarización:** vuelta al estado inicial (carga negativa en el interior y positiva en el exterior).

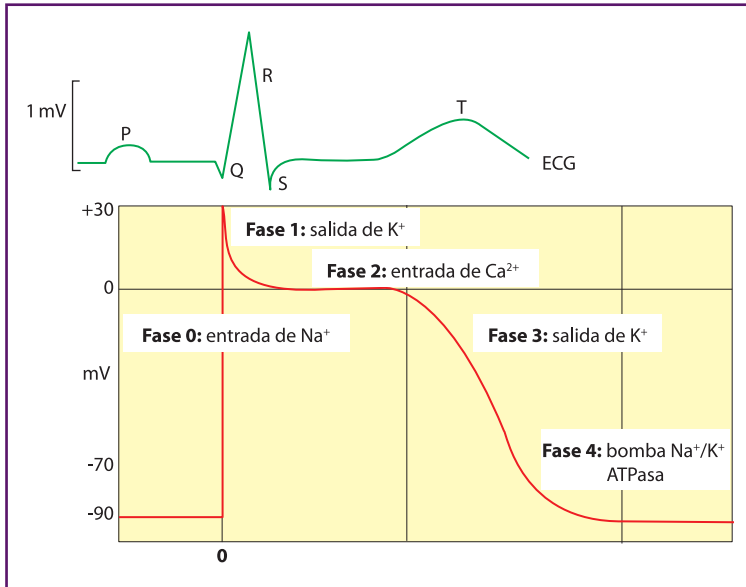
- **Potencial de reposo o de membrana diastólico (PTD):** corresponde al periodo en que la célula está en reposo eléctrico (durante la diástole). Se mide colocando un electrodo en el interior de la membrana que mide la diferencia de potencial entre el interior y el exterior. Si la diferencia es, por ejemplo, de 90 mV, ese sería el potencial de reposo de esa célula. Delante se coloca el signo de las cargas que predominen en el interior, si ganan las negativas se dice que el potencial de reposo es de -90 mV.
- **Potencial de acción transmembrana (PAT):** cuando una célula cardíaca se activa (durante la sístole) se produce un importante flujo de iones a través de la membrana celular que rompe el reposo eléctrico y ocasiona el potencial de acción transmembrana, que comprende dos procesos: la activación o despolarización y la recuperación o repolarización celular. Se expresa mediante una curva (Figura 7), que difiere si se trata de una célula de respuesta rápida o una célula de respuesta lenta.



[Figura 7] Potenciales de acción de las células cardíacas

- **Potencial umbral (PU):** es el valor del potencial transmembrana a partir del cual se genera un nuevo potencial de acción con la consiguiente despolarización de la célula.

Para explicar el PAT se suele tomar como ejemplo el potencial de acción de una célula de Purkinje o célula de despolarización rápida, en la que se distinguen cinco fases (Figura 8).



[Figura 8] Potencial de acción transmembrana en una célula contráctil y su correspondencia con la curva del ECG

- **Fase 0 o de despolarización rápida:** cuando llega un estímulo capaz de modificar la permeabilidad de la membrana, se produce la despolarización celular por la entrada rápida de iones Na⁺ al interior de la célula. *Se corresponde con el intervalo QRS en el ECG.*
- **Fase 1 o de repolarización inicial:** toda célula despolarizada tiene la capacidad intrínseca de repolarizarse o volver al estado de reposo. Tras la fase 0 de despolarización, comienza una fase de repolarización lenta (fase 1 y parte inicial de la fase 2) durante la cual se inicia la difusión de K⁺ al exterior celular para compensar el exceso de cargas positivas en el interior por la entrada de Na⁺. La curva del PAT llega a 0 mV. *Esta fase se corresponde con el punto J del ECG e inicio del segmento ST.*
- **Fase 2 o fase de meseta:** se produce la entrada de Ca²⁺ y continúa la salida de K⁺, lo que se traduce en una meseta en el PAT y *la línea isoelectrónica del segmento ST en el ECG.*

- **Fase 3 o de repolarización:** se produce la salida de gran cantidad de K^+ y el cese de la entrada de Ca^{2+} y Na^+ , con lo cual la polaridad eléctrica de la célula vuelve a ser similar al estado de reposo (interior negativo, exterior positivo). En esta fase existe equilibrio eléctrico pero no iónico, pues el Na^+ y Ca^{2+} son más abundantes en el espacio intracelular y el K^+ en el extracelular. Este desequilibrio se corrige en la fase 4. *La fase 3 se corresponde con la onda T del ECG.*
- **Fase 4:** en esta fase mediante un mecanismo activo, la bomba iónica de sodio/potasio adenintrifosfatasa (Na^+/K^+ ATPasa), se lleva a cabo el transporte de tres iones Na^+ del interior al exterior y dos iones K^+ en sentido inverso hasta que se llega a la polaridad inicial. La célula permanece en reposo hasta que es activada por un nuevo estímulo eléctrico. *En el ECG se manifiesta por la línea isoelectrónica que sigue a la onda T.*

Durante las fases 0, 1, 2 y parte de la fase 3 del PAT, las células miocárdicas se encuentran en el periodo refractario, por lo que no pueden ser excitadas.

Recuerda

Correspondencia de las distintas fases de la curva del potencial de acción de una célula de Purkinje con el electrocardiograma:

- Fase 0 o de despolarización: QRS.
- Fase 2 o de meseta: segmento ST.
- Fase 3 o de repolarización: onda T.
- Fase 4: línea isoelectrónica después de la onda T.

En la Figura 8 se muestran los cambios iónicos durante el PAT de una célula contráctil y su correspondencia con la curva del ECG.

Las células automáticas o de despolarización lenta (nodo sinusal) (véase Figura 7), carecen de periodo de reposo, por lo que en la fase 4, una vez recuperado el equilibrio iónico inicial mediante la bomba de transporte, se produce la entrada lenta de iones K^+ , Na^+ o Ca^{2+} , hasta llegar a un potencial umbral aproximado de -60 mV, momento en el que tiene lugar la entrada de iones Ca^{2+} que origina otra vez una fase 0 de despolarización por lo que comienza de nuevo el ciclo.

Recuerda

El concepto de potencial hace referencia a la carga eléctrica que hay en la célula con respecto al exterior. Cuando la célula está en reposo eléctrico, se habla de potencial de reposo. A la cifra de potencial, a partir de la cual se inicia una nueva despolarización, se la denomina potencial umbral. Por último, el potencial de acción, que comprende cinco fases, se refiere al periodo en el que se está produciendo movimiento de iones a través de la membrana.

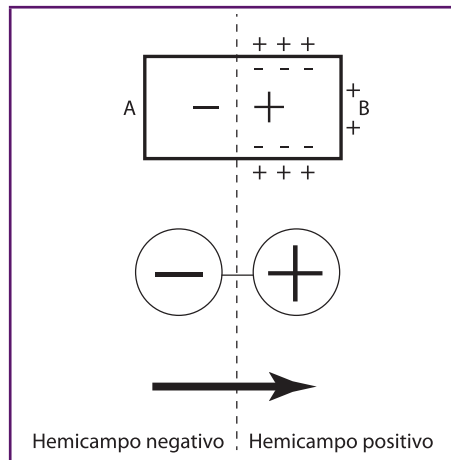
Recuerda

No se debe olvidar que el fin de la corriente eléctrica cardíaca es producir una contracción mecánica del corazón. Inmediatamente después de la despolarización, se produce una contracción o sístole mientras que después de la repolarización tiene lugar la diástole.

1.3.3. Conceptos de dipolo, vector y hemicampo. Efecto de un vector sobre el oscilógrafo

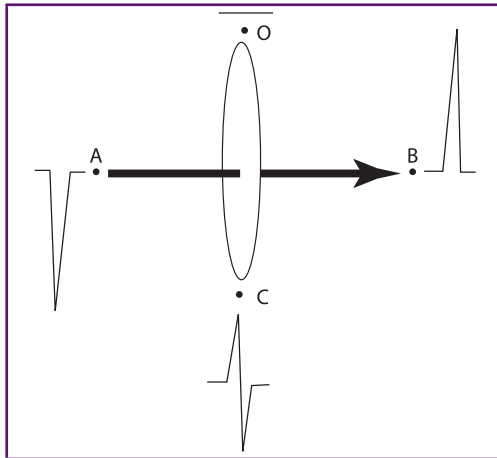
¿Qué relación tiene este apartado con la interpretación de un ECG? Conocer los conceptos de dipolo, vector y hemicampo ayuda a comprender por qué en una determinada derivación una onda es positiva y en otra es negativa, lo que es fundamental tanto en el reconocimiento de un electrocardiograma normal como en el diagnóstico de posibles alteraciones. Además, si se tiene claro el concepto de vector, es muy fácil entender el cálculo del eje eléctrico que se estudiará en los próximos capítulos.

- **Dipolo** (Figura 9). Se produce cuando hay dos cargas eléctricas de igual intensidad pero de signo contrario muy próximas entre sí. Este fenómeno tiene lugar en la célula cardíaca cuando una parte de la misma está polarizada (carga negativa en el interior) y otra despolarizada (carga positiva en el interior).
- **Vector**. Es la expresión del dipolo (- +), que por ser una fuerza eléctrica tiene una magnitud, una dirección y un sentido. Se dibuja como una flecha, y por convención se ha establecido que la cabeza o punta del vector señale el polo positivo del dipolo y la cola el polo negativo del mismo.
- **Hemicampo**. Un plano imaginario, perpendicular al vector, divide el espacio en dos partes: un campo eléctrico positivo (hemicampo positivo) que coincide con la punta del vector, y un campo eléctrico negativo (hemicampo negativo) que coincide con la cola del vector. El plano perpendicular al vector que divide estos dos campos es el plano de potencial 0.
- **Efecto de un vector sobre el oscilógrafo**. Se distinguen cuatro casos (Figura 10):
 - Si se coloca un electrodo explorador positivo en el hemicampo positivo (punta del vector), la aguja del oscilógrafo se desplazará hacia arriba, por lo que registra una onda positiva.



[Figura 9] Célula activa eléctricamente. Dipolo. Vector. Hemicampo

- Si el electrodo explorador (+) coincide con la cola del vector (hemicampo negativo), la corriente se aleja del electrodo, por lo que la aguja se desplazará hacia abajo, y registrará una onda o deflexión negativa.
- Si el electrodo explorador (+) coincide con el plano de potencial 0, la aguja no se desplaza, registrando una línea isoelectrónica (plana).
- Si el electrodo está colocado en un lugar que enfrenta primero el hemicampo positivo y después el hemicampo negativo o viceversa, se registrará una onda difásica (positiva-negativa o negativa-positiva respectivamente). Si en las dos partes de la onda, las porciones que están por encima y por debajo de la línea isoelectrónica poseen el mismo valor, la onda resultante recibe el nombre de isodifásica.



[Figura 10] Efecto del vector sobre el oscilógrafo, dependiendo del lugar en que esté situado el electrodo explorador

Recuerda

Un vector se dibuja como una flecha que indica la dirección de la corriente. La punta de la flecha (parte positiva del dipolo) indica hacia dónde se dirige; en el electrocardiograma se inscribirá una onda positiva. La cola del vector indica desde dónde se aleja, y en el trazado electrocardiográfico se inscribirá una onda negativa.

