

El electrocardiograma normal ● 7



CONTENIDOS

Registro electrocardiográfico
Errores más frecuentes al colocar los electrodos
Tipos de derivaciones
Electrofisiología cardíaca
Ondas, complejos, intervalos y segmentos
El eje eléctrico cardíaco
Rotaciones del corazón
Variantes de la normalidad
Rutina de interpretación



OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Conocer la electrofisiología del corazón.
- Saber cómo se realiza y cómo se registra un electrocardiograma.
- Definir las ondas, intervalos y segmentos que componen un electrocardiograma.
- Aprender la rutina de interpretación de todo electrocardiograma.
- Definir las variantes de la normalidad.

La electrocardiografía consiste en el registro gráfico de la actividad eléctrica que se genera en el corazón. Su análisis proporciona importante información que debe complementar siempre a una anamnesis y una exploración física detalladas. Aporta datos sobre función cardíaca, trastornos del ritmo y de la conducción e hipertrofia de cavidades y ayuda al diagnóstico de cardiopatías congénitas o adquiridas de tipo infeccioso, inflamatorio, metabólico o isquémico. Su normalidad no siempre descarta afectación cardíaca.

Al tener el corazón una actividad rítmica y ordenada de sus cavidades, la forma de onda obtenida es regular, lo que permite la identificación de diversas ondas cuyas morfología, duración y amplitudes están bien definidas. Siguiendo la secuencia de aparición en el electrocardiograma (ECG) las ondas se denominan P, Q, R, S, T y U. La onda P se debe a la despolarización de las aurículas. Las ondas Q, R y S, que forman el complejo QRS, se deben a la repolarización de las aurículas y la despolarización de los ventrículos. La onda T se debe a la repolarización ventricular y la onda U, que en muchas ocasiones no aparece, se debe a potenciales residuales del músculo ventricular y a la repolarización lenta de los músculos papilares.

Los parámetros que se consideran a la hora de valorar un ECG son el ritmo y su regularidad y, la presencia, amplitud, forma y separación de las distintas ondas. Las amplitudes de las ondas están asociadas directamente al estado de las células del miocardio, mientras que la separación entre ellas viene condicionada por las células nerviosas.

REGISTRO ELECTROCARDIOGRÁFICO

La actividad eléctrica que genera el corazón se registra con un electrocardiógrafo. Esta corriente eléctrica es conducida a través de los electrodos que se le colocan al paciente; el aparato de registro dispone de un amplificador que magnifica las señales eléctricas y de un galvanómetro que mueve la aguja inscriptora, la cual se desplaza más o menos dependiendo del potencial eléctrico que genera el paciente.

Los electrocardiógrafos registran la actividad eléctrica del corazón, que captan a través de unos electrodos colocados en distintos puntos denominados derivaciones.

La aguja inscribe una deflexión positiva o negativa en una derivación determinada si la cabeza del vector está enfrentada con el electrodo explorador, independientemente de que la fuerza eléctrica se acerque o se aleje del polo positivo de dicha derivación (Fig. 7-1).

Al ser el corazón un órgano tridimensional, para reflejar toda su actividad sobre un papel se necesita la conjugación de dos planos, uno frontal y otro horizontal, a través de derivaciones o electrodos colocados en unas determinadas localizaciones con el fin de registrar la actividad eléctrica en ambos planos. El plano frontal orienta sobre si las fuerzas van hacia arriba o hacia abajo y el plano horizontal sobre si van hacia atrás o hacia delante; los dos a la vez indican si van a la derecha o a la izquierda.

Los pasos para un correcto ECG son los siguientes:

1. Colocar los electrodos de registro correctamente (Fig. 7-2). Se colocan cuatro electrodos de extremidades: uno rojo en la muñeca derecha, otro amarillo en la muñeca izquierda, otro verde en el tobillo izquierdo y un

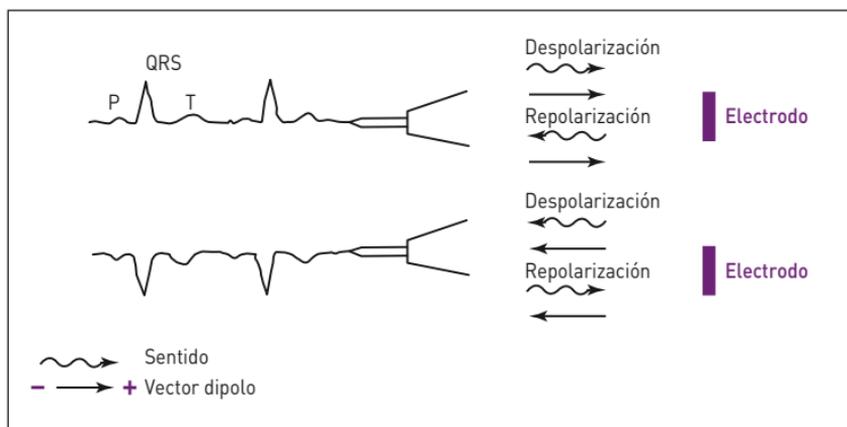
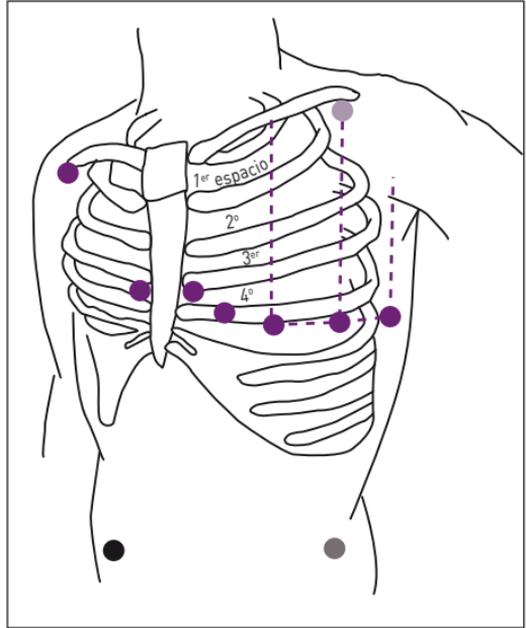


Figura 7-1. Inscripción de un electrocardiograma según vector de despolarización y repolarización.

Figura 7-2. Colocación de los electrodos.



electrodo indiferente en el tobillo derecho; con estos electrodos se registran las derivaciones del plano frontal. Para registrar las derivaciones del plano horizontal se colocan seis electrodos en el precordio que se nombran V1 a V6 y deben colocarse en:

- V1: cuarto espacio intercostal derecho al lado del esternón.
 - V2: cuarto espacio intercostal izquierdo al lado del esternón.
 - V3: entre V2 y V4.
 - V4: quinto espacio intercostal izquierdo en la línea medioclavicular.
 - V5: quinto espacio intercostal izquierdo en la línea axilar anterior.
 - V6: quinto espacio intercostal izquierdo en la línea axilar media.
2. Se debe **ajustar la línea de base** para que el registro ECG quede centrado en el papel.
 3. Comprobar que la calibración es correcta. Hay que asegurarse de que la altura de la deflexión de calibración tiene 1 cm (lo que corresponde a un 1 mV). La distancia entre dos líneas horizontales finas del papel de registro es de 0,1 mV (Fig. 7-3). La morfología de la deflexión de calibración también debe comprobarse. La pendiente de la meseta debe bajar gradualmente cuando se aprieta el botón de calibración.
 4. Debe realizarse el **registro a la velocidad adecuada, normalmente de 25 mm/s**. En este caso, la distancia entre dos líneas verticales del papel de impresión (1 mm) corresponde a 0,04 s, y la distancia entre dos líneas verticales gruesas (5 mm) a 0,2 s (200 ms). La velocidad de 50 mm/s permite medir mejor los intervalos, pero la calidad del registro, sobre todo del ST, es menor (Fig. 7-4).

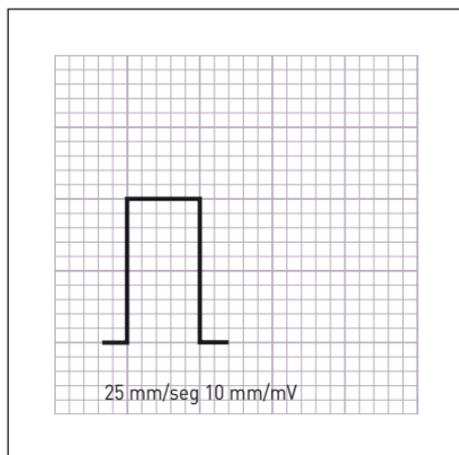


Figura 7-3. Calibración del electrocardiógrafo.

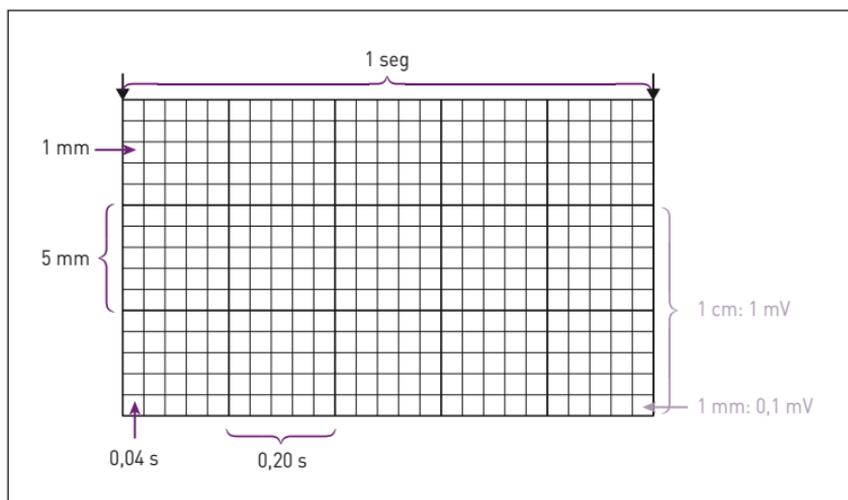


Figura 7-4. Papel de electrocardiograma donde se registra voltaje y tiempo.

5. Hay que **evitar artefactos**, que pueden ser producidos por el temblor del paciente o por la corriente alterna del electrocardiógrafo.
6. Hay que **registrar una tira de 20 cm como mínimo para cada grupo de derivaciones**. La persona que realiza el registro debe saber cuándo es necesario registrar una tira larga (arritmias), cuándo es necesaria una tira durante la respiración profunda (presencia de Q en la derivación III), y cuándo hay que registrar derivaciones precordiales adicionales (niños, posible infarto lateral o de ventrículo derecho).
7. Hay que **asegurarse de que el trazo está correctamente registrado**, siguiendo la ley de Einthoven: $II = I + III$.

8. Los electrocardiógrafos suelen registrar al mismo tiempo como mínimo, 6 derivaciones y, en general, 12. Para medir correctamente los intervalos PR y QT se necesitan como mínimo 3 derivaciones.

Como se puede apreciar tras la valoración de la colocación de los electrodos y la obtención de unas derivaciones según su polaridad, la actividad eléctrica del corazón se observa desde diferentes posiciones, de tal forma que se podría hacer el símil de que el ECG es una fotografía de la actividad cardíaca realizada desde 12 ángulos distintos.

- 2 fotografías desde arriba a la izquierda: I y aVL (cara lateral alta del corazón).
- 1 fotografía desde arriba a la derecha: aVR.
- 3 fotografías desde abajo: II, III y aVF (cara inferior del corazón).
- 6 fotografías desde delante:
 - 2 derechas: V1 y V2 (cara septal del corazón).
 - 2 más centradas: V3 y V4 (cara anterior del corazón).
 - 2 izquierdas: V5 y V6 (cara lateral del corazón).

ERRORES MÁS FRECUENTES AL COLOCAR LOS ELECTRODOS

Es frecuente que la realización del ECG no sea correcta por múltiples motivos, como pueden ser la distracción, falta de experiencia en el que lo realiza, prisas por presión asistencial alta. Estos son algunos de los errores más frecuentes:

- La localización alta de los electrodos de V1-V2 origina, muy a menudo, una morfología con una onda P negativa y un QRS con una r' que puede confundirse con un bloqueo de rama derecha o con otras patologías o variantes de la normalidad, y que desaparece al colocar los electrodos en el 4º espacio intercostal.
- La colocación de las derivaciones V3-V4 un poco más a la derecha o a la izquierda de su lugar correcto hace que, en el caso de un infarto de la zona anteroseptal, pueda o no simular una propagación también a la cara lateral por la presencia o no de QRS patológico (qrS) en V5-V6.
- Colocar el electrodo del brazo derecho e izquierdo invertidos simula una dextrocardia. Se puede ver una onda P negativa en DI y ondas positivas en aVR.
- También si los electrodos de V1 y V2 se colocan altos y separados del esternón puede dar una falsa imagen parecida a VR en V1 y a VL en V2.



Para que el ECG está bien realizado hay que comprobar tres situaciones: en **aVR todas las ondas son negativas**, se cumple la ley de Einthoven para que **I + III sea igual a II** y, finalmente, que **aVR + aVL + aVF sea igual a cero**.

TIPOS DE DERIVACIONES

Según se ha explicado en el apartado del registro electrocardiográfico, la actividad de un órgano tridimensional como el corazón es captada desde distintos puntos, que reciben el nombre de derivaciones. La morfología del ECG será diferente de-

pendiendo de dónde se coloquen estas derivaciones, de ahí la suma importancia de su colocación correcta. El registro gráfico del ECG se obtiene a través de las derivaciones, que son los circuitos que se forman al aplicar los electrodos sobre la superficie corporal.

Derivaciones en el plano frontal

Las clásicas son las tres bipolares de los miembros: I, II y III, las monopolares de los miembros: aVR, aVL y aVF; estas seis derivaciones exploran el plano frontal. Además, se usan seis precordiales (V1 a V6) que exploran el plano horizontal, que también son monopolares. Cada derivación está colocada en un lugar determinado en dichos planos formando ángulos determinados y cada una tiene una llamada **línea de derivación**, que va desde este lugar pasando por el centro del corazón al lado opuesto a su inicio, es decir a 180° del punto inicial de la línea. Además, cada derivación se divide en una parte positiva, que va desde el lugar donde se localiza la derivación hasta el centro del corazón (se representa como una línea continua), y una negativa, que va desde el centro del corazón hasta el polo opuesto (que se representa como una línea discontinua).

Las tres derivaciones bipolares de extremidades se registran a partir de electrodos colocados en brazos y piernas. La derivación I recoge la diferencia de potencial entre el brazo izquierdo (+) y el brazo derecho (-), la derivación II entre la pierna izquierda (+) y el brazo derecho (-), y la derivación III entre la pierna izquierda (+) y el brazo izquierdo (-). Estas tres derivaciones bipolares constituyen el **triángulo de Einthoven** (Fig. 7-5).

Las derivaciones VR, VL y VF registran la actividad eléctrica desde el hombro derecho, hombro izquierdo y la pierna izquierda, y tienen también una línea de derivación con una parte positiva que va del lugar de registro al centro del corazón (línea continua), y una negativa, la línea discontinua, que va desde el centro del corazón hasta la parte opuesta (línea punteada).

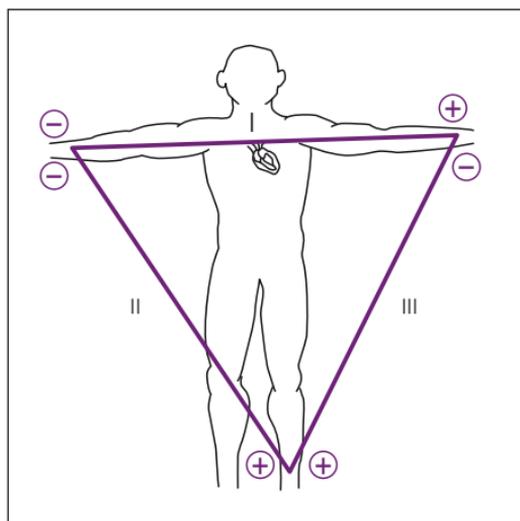
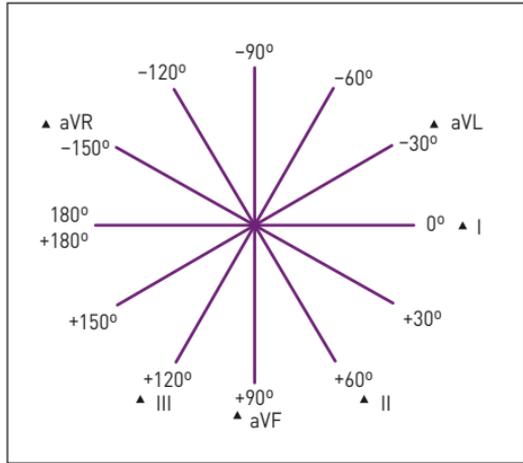


Figura 7-5. Triángulo de Einthoven.

Figura 7-6. Sistema hexaxial de Bailey.



Si se trasladan las 3 derivaciones del triángulo de Einthoven I, II y III al centro del corazón, se verá que quedan ubicados en $+0^\circ$ (I), $+60^\circ$ (II) y $+120^\circ$ (III). Al hacer lo mismo con las tres derivaciones VR, VL y VF quedarán ubicadas en: -150° (VR), -30° (VL) y $+90^\circ$ (VF). Esta situación constituye el **sistema hexaxial de Bailey** (Fig. 7-6); en el que todas las distancias entre las líneas de derivación positiva y negativa de las seis derivaciones del plano frontal están separadas por 30° .

Derivaciones en el plano horizontal

Las derivaciones del plano horizontal se componen de seis derivaciones precordiales en el tórax: de V1 a V6. Es importante la colocación precisa de estas seis derivaciones para obtener un registro correcto, ya que si no la morfología del ECG, especialmente en V1-V2, puede quedar falseada y dar lugar a confusiones peligrosas. En ocasiones, se pueden registrar derivaciones a la derecha de V1 (V3R, V4R) o a la izquierda de V6 (V7-V9), línea axilar posterior, línea medio clavicular y línea paravertebral izquierda), lo cual puede ser útil en algún caso de cardiopatía isquémica, aunque en la práctica se utilizan poco. Un dato importante que tener en consideración es que, en los ejes, V2 se corresponde con 90° (aVF) y V6 con 0° (I) (Fig. 7-7).

Hemicampo

Si se traza una línea perpendicular a cada derivación que pasa por el centro del corazón, se obtendrá para cada uno de ellos un hemicampo positivo y uno negativo (Fig. 7-8).

En una derivación determinada, un vector originará una deflexión positiva o negativa, según su cabeza se enfrente con el polo positivo o negativo de dicha derivación, o lo que es lo mismo, según caiga en el hemicampo positivo o negativo. El voltaje o grado de positividad o negatividad de cada derivación dependerá de la magnitud y de la dirección del vector resultante. A igual magnitud producirá mayor positividad o negatividad la fuerza vectorial que esté más dirigida hacia el

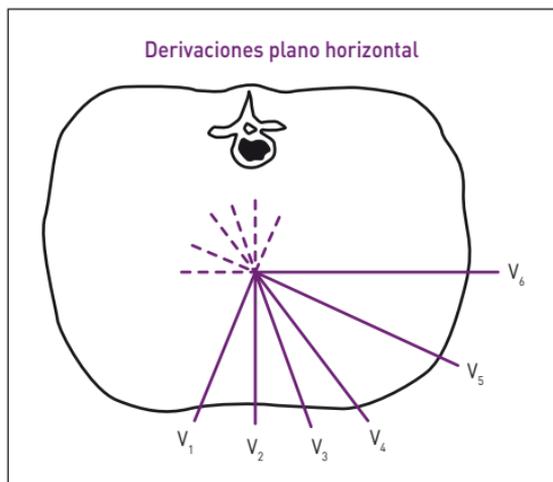


Figura 7-7. Ejes de las derivaciones del plano horizontal.

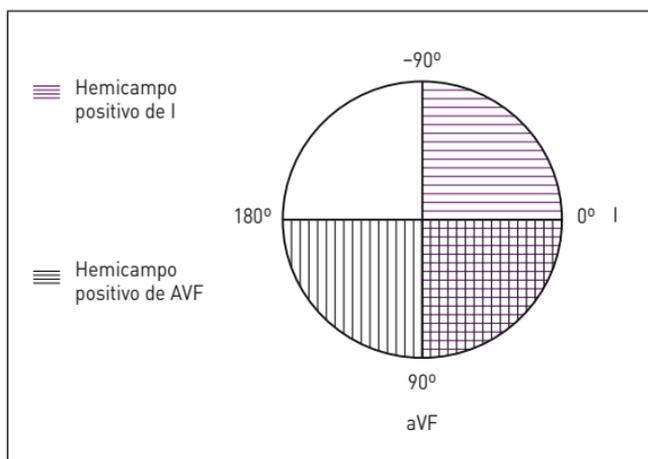


Figura 7-8. Hemisferios.

polo positivo o negativo de una derivación y, a igual dirección, producirá mayor positividad o negatividad la fuerza que tenga mayor magnitud.

Cuando el vector de una derivación se encuentra en la línea de separación de los dos hemisferios, es decir, cuando la cabeza de dicho vector no se enfrenta ni con el polo positivo ni con el polo negativo, con lo que la deflexión registrada será isodifásica. Se llama deflexión isodifásica a aquella que tiene un área positiva igual al área negativa, independientemente de que la deflexión sea muy pequeña o muy grande. No se puede considerar una deflexión isodifásica aquella en la que la altura positiva es igual a la altura negativa, pero el área positiva es menor que el área negativa. Sí se puede considerar isodifásica aquella deflexión en la que la altura positiva es mayor que la altura negativa, pero en la que el área positiva es igual al área negativa.

ELECTROFISIOLOGÍA CARDÍACA

Para entender la electrofisiología cardíaca es necesario conocer las características de las células que conforman el corazón. Son dos los tipos de células existentes:

- Las **células contráctiles** responsables de la función de bomba que realiza el corazón, que no tienen la capacidad de generar estímulos cardíacos. Están formadas por:
 - El sistema contráctil formado por miofibrillas, cuya unidad contráctil es el sarcómero, que tienen la capacidad de contraerse y relajarse y que obtienen la energía por las mitocondrias.
 - Un sistema de activación y relajación celular que consta de una membrana celular a través de la cual fluyen por canales los iones (Na^+ , K^+ y Ca^{++}) responsables de las fases de activación, despolarización + repolarización (sístole) y reposo celular (diástole).
 - El sistema T tubular transverso, que permite la entrada de excitación eléctrica en el interior celular.
 - El retículo sarcoplásmico, que contiene el calcio necesario para la contracción celular.
- Las **células específicas del sistema de conducción**, que son las encargadas de generar estímulos o impulsos y transmitirlos. Son las células que presentan la función del automatismo. Hay tres tipos:
 - Las células P son las de mayor automatismo y se encuentran en el nodo sinusal.
 - Las células de Purkinje, con menor automatismo y localizadas en el haz de His, ramas y red de Purkinje ventricular.
 - Las células de transición, que se encuentran entre las anteriores.

La activación cardíaca

La activación cardíaca se inicia en el nodo sinusal, que es considerado como el marcapasos de un corazón normal, es una estructura en forma de elipse, de unos 15 mm de longitud, situada cerca de la unión de la vena cava superior con la aurícula derecha. A partir del impulso sinusal se despolariza todo el corazón, el estímulo eléctrico va del nodo sinusal al nodo auriculoventricular y al haz de His, a través de las vías de conducción internodales (haces de Bachmann, Wenckebach y Thorel). Después se distribuye a los ventrículos por el sistema de conducción intraventricular: rama derecha, tronco de la rama izquierda y sus divisiones (fascículos superoanterior e inferoposterior y las fibras medias que existen entre ellos). Todo este canal de circulación eléctrica recibe el nombre de sistema específico de conducción (**Fig. 7-9**).

La activación de una célula cardíaca se inicia cuando un estímulo eléctrico provoca la entrada brusca de Na^+ y más tarde de Na^+ y Ca^{++} , cambia la polaridad del interior celular, neutraliza la negatividad iónica existente en su estado de reposo y da lugar a la despolarización o contracción celular. A continuación, se produce una salida lenta de K^+ que origina el proceso de repolarización o recuperación celular hasta alcanzar el reposo, en el que nuevamente el interior se vuelve negativo y queda listo para ser nuevamente activado. La activación se inicia a un voltaje determinado, generalmente -90 mV, lo que da lugar al potencial de acción

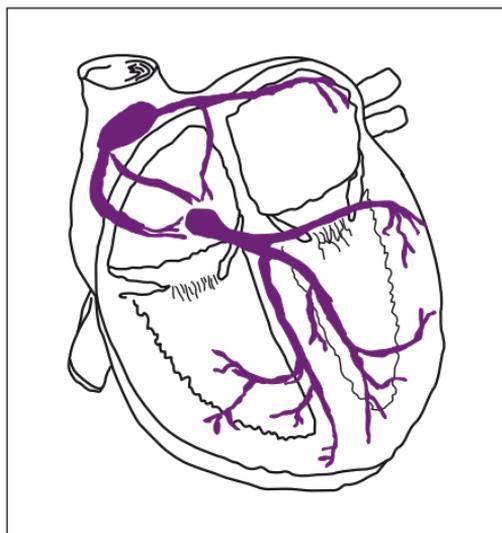
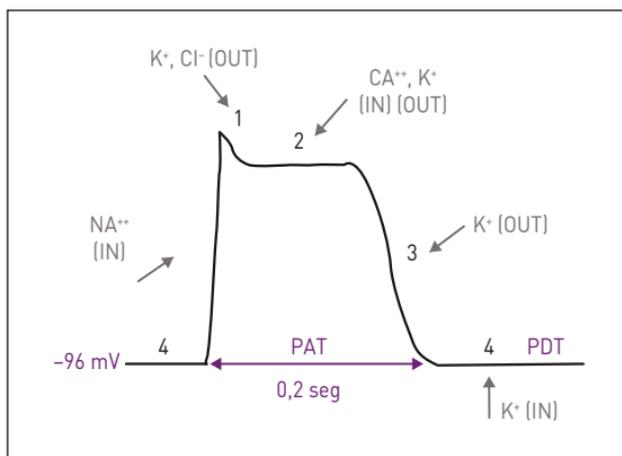


Figura 7-9. Sistema específico de conducción cardíaca.

Figura 7-10. Fases de activación y reposo de la célula cardíaca.



transmembrana, que se compone de tres fases, en función de la entrada y salida de iones del interior celular y que representa la despolarización + repolarización celular, hasta alcanzar nuevamente la fase de reposo celular o potencial diastólico transmembrana o fase 4 (Fig. 7-10).

En la despolarización y en la repolarización se forma un dipolo (dos cargas eléctricas de igual intensidad, pero de signo contrario) que recorren la célula de forma sucesiva para activarla y desactivarla, respectivamente. La suma de estas fuerzas eléctricas produce una serie de vectores resultantes cuya dirección respecto al electrodo o derivación va a producir las ondas electrocardiográficas del ECG (Fig. 7-11).

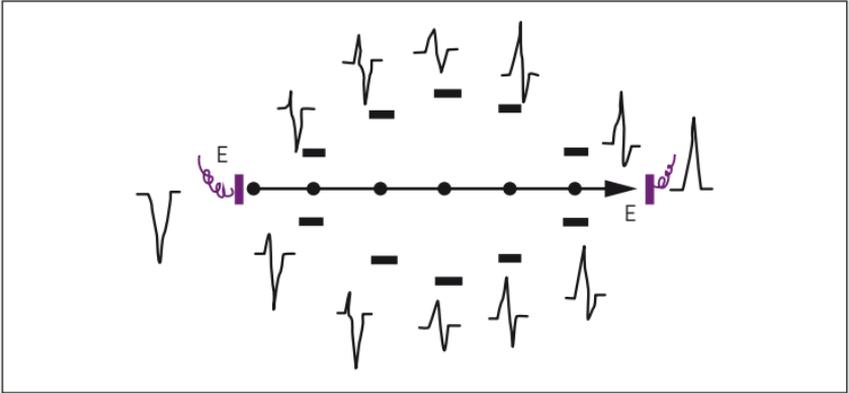


Figura 7-11. Morfología del QRS según localización del electrodo y dirección del vector.

Siempre que un vector se acerque al electrodo explorador (polo positivo de cada derivación) se verá una onda positiva; cuando el vector se aleje, esta onda será negativa y cuando sea perpendicular la onda será bifásica o solo estará representada por un trazo en la línea isoelectrónica (Fig. 7-1).

Activación auricular

El proceso de **despolarización auricular** (Fig. 7-12) o contracción auricular empieza en el nodo sinusal y se dirige primero hacia la aurícula derecha, extendiéndose en forma de múltiples vectores instantáneos en forma de curvas concéntricas, hacia

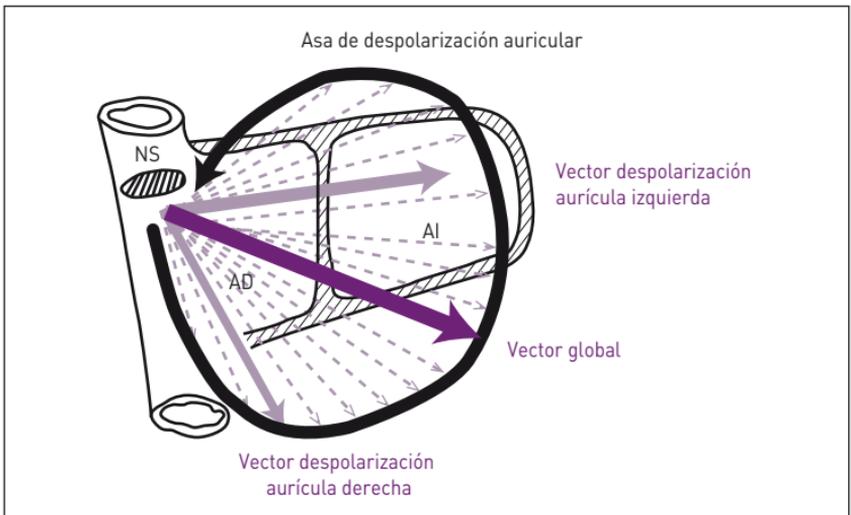


Figura 7-12. Despolarización auricular.

el septo y aurícula izquierda a través, fundamentalmente, del haz de Bachmann. La suma de estos vectores origina una curva llamada **asa de despolarización** auricular, que representa el camino que sigue el estímulo al despolarizar las aurículas y cuyo sentido es **antihorario**, al producirse de derecha a izquierda. Esta asa se representa con un **vector global** (suma de despolarización de aurícula derecha + aurícula izquierda), cuya dirección es de derecha a izquierda, de atrás adelante y de arriba abajo y, cuya cabeza coincide con el dipolo de despolarización; por tanto, se registra como una onda positiva en todas las derivaciones con excepción de aVR y se denomina **onda P**.

La **repolarización auricular** se inicia en el mismo lugar que se inició la despolarización, por tanto, el sentido de repolarización es el mismo, pero el vector del dipolo es al contrario (recuerde que la cabeza del vector del dipolo siempre apunta a la carga positiva). Por tanto, la onda resultante será negativa salvo en aVR, con una negatividad suave, por tener una mayor duración la repolarización, y no visible, por encontrarse escondida por el proceso de despolarización ventricular o complejo QRS.

Activación ventricular

El paso del estímulo por el sistema específico de conducción intraventricular (haz de His y sus dos ramas) se registra en el ECG como una línea recta (isoeletrica) entre la activación auricular (onda P) y la ventricular (QRS-T), y corresponde al segmento PR.

El estímulo eléctrico llega a los ventrículos, primero en tres zonas del ventrículo izquierdo, que se corresponden con los fascículos superoanterior, inferoposterior y de la rama izquierda y con sus fibras medias.

Según Durrer, la activación ventricular o **despolarización ventricular** (Fig. 7-13) empieza en forma sincrónica en tres áreas endocárdicas del ventrículo izquierdo: una situada en la parte alta de la pared anterolateral, cerca de la región del músculo papilar anterior izquierdo (división superoanterior); otra situada en la zona paraseptal posterior baja, en la zona del músculo papilar posterior izquierdo (división

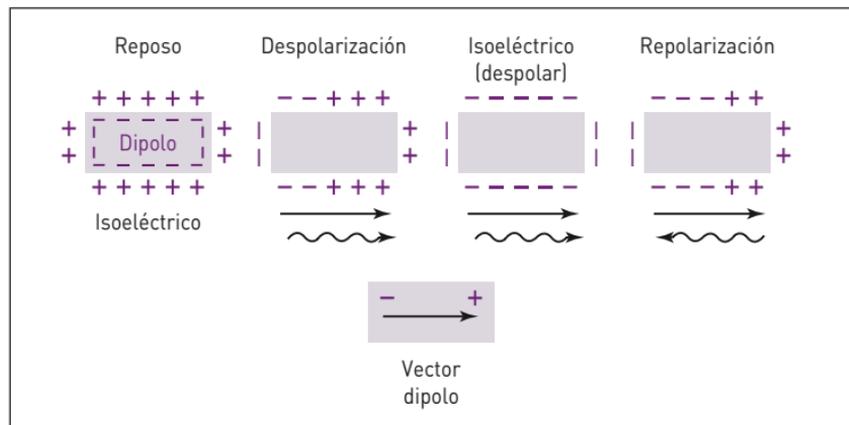
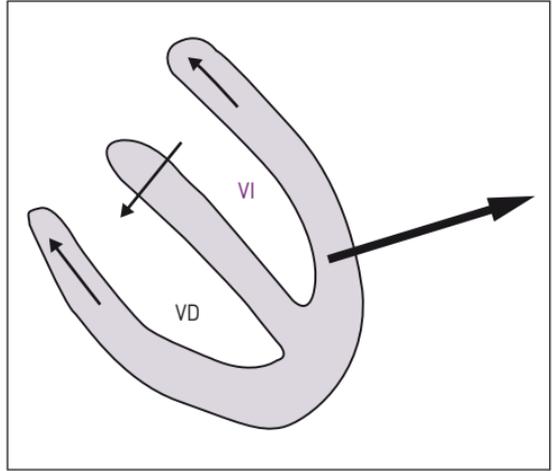


Figura 7-13. Dipolo de despolarización y repolarización ventricular.

Figura 7-14. Despolarización ventricular (los tres vectores).



inferoposterior) y la tercera en la parte central de la superficie septal izquierda (división media anteroseptal). Casi inmediatamente después el estímulo llega por la rama derecha a la base del músculo papilar anterior derecho.

El recorrido de la actividad eléctrica por los ventrículos, que se hace de endocardio a epicardio, origina un asa que, en general, cuando se registra desde un electrodo situado en el ventrículo izquierdo, se puede dividir en tres vectores (Fig. 7-14):

- Vector 1 o vector inicial: se corresponde la onda q en V6 y r en V1, va dirigido de izquierda a derecha y algo hacia arriba en el corazón normal y en el vertical, y en el horizontal, de izquierda a derecha y hacia abajo.
- Vector 2 o vector medio, el más importante: es la expresión de la despolarización de la mayor parte del ventrículo izquierdo y se corresponde con la onda R.
- Vector 3: expresa la despolarización de las partes finales del septo y del ventrículo derecho, y también está dirigido hacia arriba y la derecha, y se corresponde con la onda s.

Juntando los tres vectores se obtiene el recorrido o asa que sigue la despolarización ventricular, que se denomina **asa o complejo QRS**.

La **repolarización ventricular** se inicia en la zona de mayor vascularización del corazón, es decir, tiene el sentido desde epicardio a endocardio, y la dirección del vector del dipolo es contraria al sentido, por tanto, apunta hacia las derivaciones salvo aVR, por lo que supone una onda positiva y se corresponde con la onda T (Fig. 7-14).

ONDAS, COMPLEJOS, INTERVALOS Y SEGMENTOS

La línea isoelectrica representa el período de reposo del corazón; por encima se registran los potenciales positivos y por debajo, los negativos, tanto si corresponden a la activación (despolarización) como a la recuperación (repolarización).

Ondas

Einthoven denominó a las ondas que se inscriben en el ECG cada ciclo cardíaco como P, Q, R, S y T, de acuerdo con su orden de inscripción (Fig. 7-15).

- Onda P: se corresponde con la activación o despolarización auricular. Es una onda redondeada y monofásica, aunque a veces puede ser bifásica. Su amplitud máxima es de 0,30 mV y su duración es menor a 0,10 s. Puede ser positiva, negativa, positiva/negativa o negativa/positiva.



Es una onda positiva en todas las derivaciones con excepción de aVR. Su presencia seguida de un complejo QRS es indicativa de la existencia de ritmo sinusal.

- Onda Q: se corresponde con la despolarización del tabique interventricular (inicio de la despolarización ventricular), es la primera onda del complejo QRS. Es negativa, no siempre es visible.



Su relevancia estriba en que cuando se ven al menos en dos derivaciones contiguas y son de una amplitud y voltaje relevantes, se consideran ondas Q de necrosis cardíaca.

- Onda R: se corresponde con la despolarización ventricular, es la onda positiva del complejo QRS y es la única onda de visualización constante. El vol-

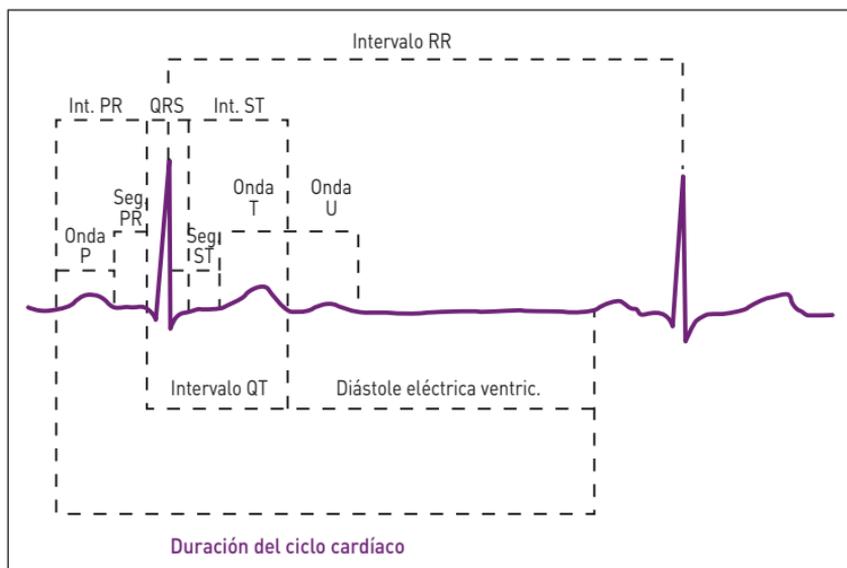


Figura 7-15. Ondas, complejos, intervalos y segmentos.

taje de la onda R no debe ser mayor de 25 mm en V5-V6, de 20 mm en I y de 15 mm en VL aunque puede haber excepciones, sobre todo, en adolescentes deportistas y en ancianos delgados.

- Onda S: se corresponde con la despolarización basal de los ventrículos, son ondas negativas que siguen a las ondas R.
- Onda T: se corresponde con la repolarización ventricular. La onda T normal es asimétrica, con la porción ascendente más lenta que la descendente. Es importante saber:
 - La altura de la onda T normal, en general, no pasa de 6 mm en el plano frontal y de 10 mm en el plano horizontal (derivaciones medias/izquierda), aunque en la vagotonía y repolarización precoz puede llegar a 15-20 mm.
 - Una onda T alta en V1-V2, sobre todo si es simétrica, especialmente en V1, puede ser expresión de fase hiperaguda de síndrome coronario agudo con elevación del segmento ST debido a oclusión de la arteria descendente anterior, o postinfarto lateral o inferolateral crónico.
 - Una onda T aplanada o negativa puede verse en distintas situaciones clínicas de la cardiopatía isquémica, aunque, en general, cuando ya ha desaparecido el dolor, fuera de la fase de isquemia aguda.
 - Una onda T puede ser negativa profunda postisquémica (reperusión), como puede ser en un infarto de miocardio con elevación del ST después de intervenciónismo coronario percutáneo, una fibrinólisis o después de un espasmo coronario.
 - Una onda T negativa no permite diferenciar fácilmente solo con el ECG si se debe a una causa cardíaca a no. Por regla general, las de causa isquémica suelen estar más localizadas y ser más profundas. Entre las causas no isquémicas están la pericarditis en su fase crónica, las miocarditis y algunas miocardiopatías.
 - Una onda T aplanada/poco negativa se ve en los síndrome coronario agudo con elevación del segmento ST, en general, en derivaciones con morfología RS o R, pero a veces incluso con morfología rS y voltaje <1 mm.
 - Una onda T aplanada negativa no isquémica es debida a miocardiopatía alcohólica, mixedema, un accidente cerebrovascular, miocardiopatía apical (onda T muy negativa).
 - Una onda T alta y picuda puede verse también en otras situaciones no relacionadas con la isquemia cardíaca, como son en la vagotonía, el alcoholismo, la hipertrofia de ventrículo izquierdo, una hiperpotasemia, un bloqueo auriculoventricular congénito, un síndrome de QT corto o un accidente cerebrovascular.
 - Onda T aplanada/negativa: Es una onda positiva en todas las derivaciones a excepción de aVR y también es negativa en DIII en el corazón horizontal, en V1-V4 en niños y en el corazón vertical en aVL y de bajo voltaje en DI.
- Onda U: puede corresponder a la repolarización de los músculos papilares o del Purkinje ventricular. Es una onda muy pequeña, puede ser positiva o negativa. Cuando está presente tiene la misma polaridad de la onda T a la que sigue. Se registra sobre todo en pacientes con bradicardia, especialmente ancianos, en las derivaciones V3-V5. Si tiene polaridad

opuesta a la onda T es siempre patológica (hipertrofia ventricular izquierda, isquemia).



Todas las morfologías que presentan las ondas en el ECG dependen del lugar desde donde se registra la actividad eléctrica.

Complejos, intervalos y segmentos

Son los siguientes:

- Intervalo PR (o PQ): representa el tiempo que tarda el estímulo en propagarse a través del sistema de conducción específico desde el nodo sinusal hasta el punto donde se inicia la despolarización ventricular; habitualmente se mide en DII desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS (ya sea Q o R). Es isoelectrónico, normalmente mide entre 0,12 y 0,20 s. El intervalo varía con la edad (en niños mide menos y en ancianos puede ser normal hasta 0,22 s) y con la frecuencia cardíaca (a mayor frecuencia cardíaca menor PR y a menor frecuencia, mayor PR). Para medir el intervalo PR: desde la derivación en que primero se vea la P hasta la derivación en que primero se vea el inicio del QRS, en la derivación en que se den las dos circunstancias, ahí se mide.
- Segmento PR: suele ser isoelectrónico, no presenta desniveles mayores de 0,5 mm. En la taquicardia se puede ver una ligera infradesnivelación, con una ligera concavidad superior, que se relaciona con la modificación que la simpaticotonía produce en la repolarización auricular.
- Complejo QRS: se corresponde con la activación o despolarización ventricular. La duración del complejo debe ser inferior a 0,12 s y su duración oscila entre 0,05 y 0,10 s (aumenta con la edad y con la disminución de la frecuencia cardíaca). Su amplitud oscila entre 0,5 y 2,0 mV. Puede ser todo positivo o todo negativo, puede ser difásico, isodifásico o trifásico.

Se considera que hay bajo voltaje de QRS cuando la suma de los voltajes de QRS en I + II + III < 15 mm, o el de V1 o V6 es < 5 mm, o el de V2 o V5 < 7 mm, o el de V3 o V4 < 9 mm.

El valor normal del tiempo de deflexión intrínsecoide (del inicio q al pico R) es < 45 mm en V5-V6. Puede ser mayor en atletas y vagotónicos, y en ciertos crecimientos del ventrículo izquierdo.



Los complejos QRS suelen ser predominantemente negativos a la derecha y positivos a la izquierda.

- Segmento ST: es la distancia entre el final del QRS (punto J) y el inicio de la onda T. En condiciones normales, este segmento es corto y de pendiente suave y va desde el final del QRS hasta alcanzar, de forma ligeramente ascendente, la onda T. El punto J se define como el punto en el que finaliza el complejo QRS y se inicia el segmento ST. Se consideran variantes de la normalidad:

- Elevaciones del punto J menor de 1 mm seguido de un segmento ST ascendente. Es muy frecuente encontrar en jóvenes lo que se denomina repolarización precoz, caracterizado por un ascenso del punto J en derivaciones diferentes a V1-V3; es un hallazgo relativamente frecuente y que se ha considerado benigno sin repercusión clínica.
- La **polaridad concordante del punto J, el segmento ST y la onda T es un hecho habitual** y sirve para establecer una normalidad en la repolarización. Esta polaridad es habitualmente concordante también con el complejo QRS.
- En jóvenes deportistas o jóvenes vagotónicos, que presentan una frecuencia cardíaca baja por el aumento del tono vagal, puede verse elevado el segmento ST hasta 1-2 mm, sobre todo en precordiales intermedias, a veces acompañando a la imagen de repolarización precoz que se ve en general en V3-V5.

Un importante dato es saber **cómo se miden los desniveles del segmento ST**: el ascenso y descenso del segmento ST se mide en el punto J y a 0,6 s de él. El ascenso se mide a partir del borde superior del PR y el descenso desde el borde inferior. Si el PR no es isoléctrico, se mide desde el nivel del inicio del QRS.

El segmento ST puede descender algo, en casos normales, con el ejercicio o debido a emociones, pero rápidamente se hace ascendente.

- Intervalo QT: representa la duración total de la sístole ventricular, se mide desde el inicio del complejo QRS (Q o R) hasta el final de la onda T. Su duración es mayor en mujeres que en hombres y varía inversamente con la frecuencia cardíaca. Se debe medir donde mejor se vea y su duración promedio es de 0,4 s.

El intervalo QT varía dependiendo de la frecuencia cardíaca, disminuye a frecuencias cardíacas rápidas y aumenta a frecuencias lentas (en estos casos, se debe utilizar una regla ECG para medir el QT corregido en función de la frecuencia cardíaca).



Se considera que valores de $QTc \rightarrow 0,44$ s son siempre patológicos, excepto en casos de bradicardia importante.

EL EJE ELÉCTRICO CARDÍACO

El eje eléctrico es el vector resultante de las fuerzas generadas por la despolarización auricular (eje de P), la despolarización ventricular (eje de QRS) y repolarización ventricular (eje de T). El eje eléctrico del corazón no es más que el vector resultante de la activación de los ventrículos en el plano frontal; por tanto, se habla del eje de QRS (en realidad, de su área). De la misma forma, puede calcularse el eje de la onda P y la onda T.

Existen diversas formas para calcular el eje eléctrico, pero hay dos sencillas y rápidas que tienen la precisión necesaria para su uso clínico.

- La primera consiste en saber que este eje es un vector cuya cola se encuentra en el centro del sistema hexaxial del plano frontal y cuya punta puede encontrarse en cualquiera de los cuatro cuadrantes que forman los ejes de las derivaciones I (+180° a 0°) y aVF (-90° a +90°). De tal forma que (**Fig. 7-16**):

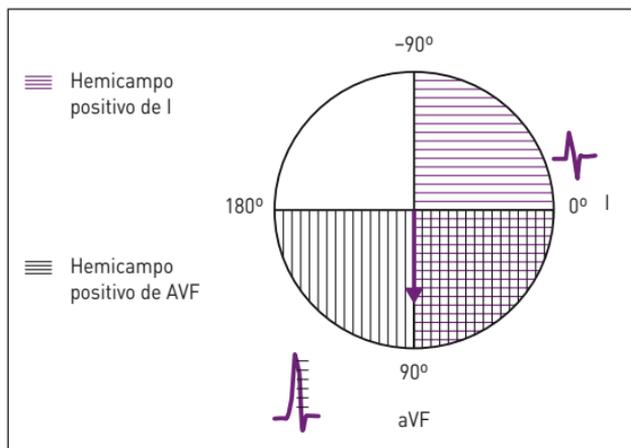


Figura 7-16. Cálculo del eje eléctrico a través del sistema hexaxial.

- Si el QRS es positivo en I y positivo en aVF, el eje estará en los hemicampos positivos de ambas derivaciones; es decir, la intersección de ambos hemicampos se produce entre los 0° de I y los 90° de aVF y se considerará un **eje normal**; si es más positivo en I estará más cerca de 0° y si la positividad es mayor en aVF estará más cerca de los 90°. Un eje eléctrico situado a 45° significaría que la suma de las áreas positivas menos las negativas del QRS en las derivaciones I y aVF sería positiva e idéntica en los dos casos.
- Si el QRS es positivo en I y negativo en aVF, la intersección de ambos hemicampos positivos se encontrará entre los 0° de I y los -90° de aVF, por tanto, el eje será **izquierdo**.
- Si el QRS es negativo en I y positivo en aVF, la intersección de ambos hemicampos positivos se encontrará entre los -180° de I y los -90° de aVF, por tanto, el eje será **derecho**.
- Si el QRS es negativo en I y negativo en aVF, la intersección de ambos hemicampos positivos se encontrará entre los -180° de I y los -90° de aVF, por tanto, el eje será **indiferenciado**.
- La segunda forma sencilla de calcular el eje del $\hat{A}QRS$ es la que utilizan las reglas para medir ECG que se usan habitualmente: considerar que el ECG normal tiene su eje del $\hat{A}QRS$ a 60° y, por tanto, el QRS es positivo en I, en II y en III; **por cada media negatividad que aparece desde III hacia I el eje se desvía 30° a la izquierda**:
 - Si el ECG es positivo en I, positivo en II e isodifásico en III el eje estará a 30°.
 - Si el ECG es positivo en I, positivo en II y negativo en III, estará a 0°.
 - Si el ECG es positivo en I, isodifásico en II y negativo en III, estará a -30°, y así sucesivamente.

Si la media negatividad avanza de I a III, la desviación sería 30° a la derecha:

 - Si el ECG es isodifásico en I, positivo en II y positivo en III, el eje del $\hat{A}QRS$ estará a 90°.

- Si el ECG es negativo en I, positivo en II y positivo en III, el eje eléctrico estará a $+120^\circ$.
- Si el ECG es negativo en I, isodifásico en II y positivo en III, el eje eléctrico se encontrará a $+150^\circ$.

ROTACIONES DEL CORAZÓN

Un corazón sin rotaciones, o también llamado corazón intermedio, presenta un eje de QRS situado alrededor de $+30^\circ$ y un inicio de la transición del ventrículo derecho al izquierdo (qRs) en V4-V5, con morfología en general qR en V6. Sin embargo, muchos corazones normales presentan ciertas rotaciones sobre el eje anteroposterior y longitudinal que modifican el ECG, pero que no son imágenes patológicas y que, por tanto, conviene conocer.

Las dos rotaciones que pueden aparecer en el corazón son:

- Rotación sobre el eje anteroposterior (Fig. 7-17). El corazón normal a menudo presenta una rotación sobre el eje anteroposterior. Esto origina una vertica-

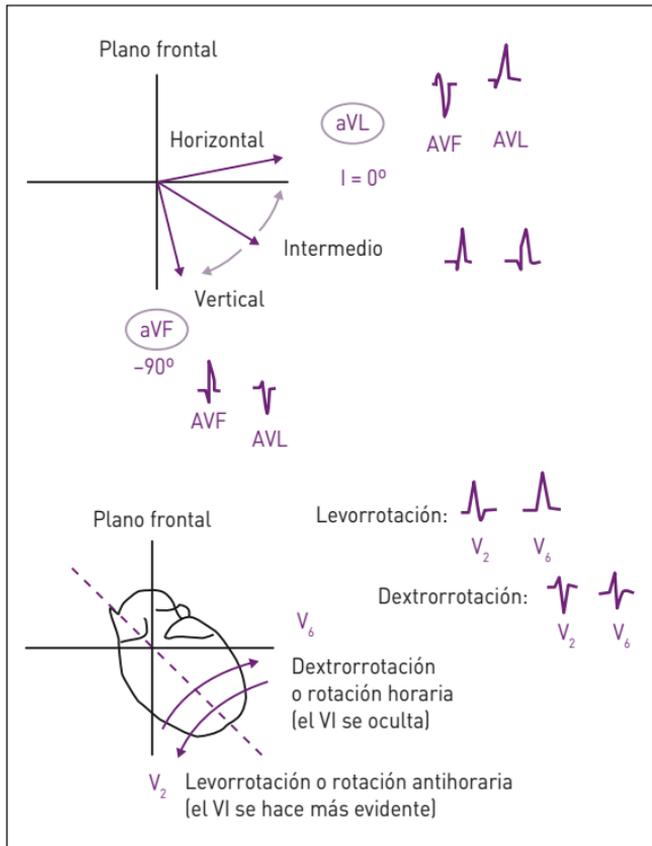


Figura 7-17. Rotación en el eje anteroposterior y en el eje longitudinal.

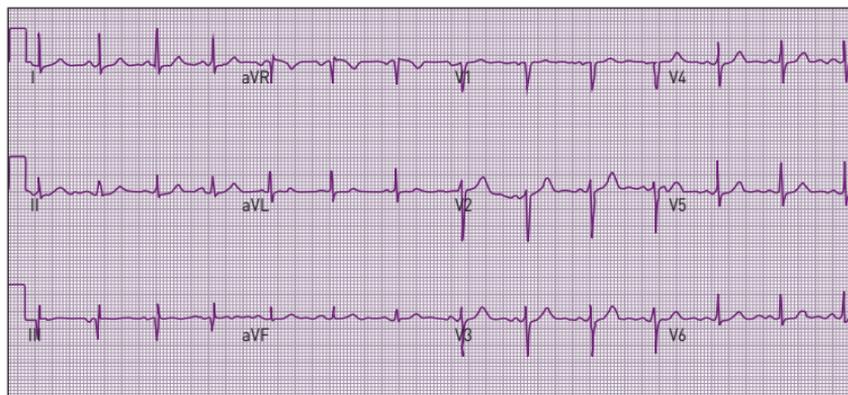


Figura 7-18. Corazón horizontalizado y dextrorrotado.

lización u horizontalización del corazón que se pone de manifiesto sobre todo en las derivaciones aVL y aVF del plano frontal. Cuando un corazón se verticaliza, su eje QRS se aproxima aVF ($+90^\circ$) y cuando se horizontaliza se aproxima a I (0°). Expresado a través de la morfología que presentarán los complejos QRS, puede decirse que en un corazón verticalizado en aVF se encontrará qR y en aVL una morfología rS, y cuando el corazón es horizontal la expresión será contraria: qR en aVL y rS en aVF.

- Rotación sobre el eje longitudinal (Fig. 7-17). La rotación sobre este eje va a dar lugar a una dextro o levorrotación del corazón que se visualizará en las derivaciones del plano horizontal, en las derivaciones V2 y V6. Por tanto, en una dextrorrotación o rotación horaria del corazón, morfológicamente se apreciará que en V2 presenta rS y en V6, Rs; cuando el corazón sufre una rotación antihoraria o levorrotación en V2 se ve Rs y en V6 qR.
- **Rotaciones combinadas.** Con relativa frecuencia, el corazón verticalizado suele estar dextrorrotado y el horizontal levorrotado y forma parte de la normalidad, pero se debe conocer una variante de la normalidad: el corazón horizontalizado y dextrorrotado que da lugar una onda Q en III, que cumple los criterios de onda Q de necrosis, pero que desaparece cuando el paciente respira profundamente, lo que cambia el complejo a qR (Fig. 7-18).

VARIANTES DE LA NORMALIDAD

La presencia de variantes de la normalidad en el ECG supone que hechos tan cotidianos como la edad o el sexo pueden dar lugar a variaciones que pueden confundir y hacer pensar en la existencia o no de una patología, por tanto.

Electrocardiograma en la mujer

Algunas mujeres pueden presentar ondas T negativas de V1 a V3 (también se puede encontrar en sujetos jóvenes). Ocasionalmente también puede encontrarse T negativa en DIII.

Electrocardiograma en el niño

Estas son las características normales en los niños:

- Frecuencia cardíaca: presentan una frecuencia de 140-150 lpm al nacer, que va disminuyendo progresivamente hasta que sobre los 10-12 años alcanza los 70-80 lpm.
- Ritmo: la arritmia respiratoria es más frecuente cuanto menor es la edad y ocasionalmente pueden presentar un marcapasos migratorio (ondas p de diferente morfología que preceden al QRS).
- Eje cardíaco derecho, que se empieza a normalizar a partir del año.
- Intervalo PR acortado.
- Complejo QRS: la onda R > S en precordiales derechas, que no implica crecimiento ventricular derecho y ondas R altas en precordiales izquierdas, que no implican crecimiento ventricular izquierdo.
- Onda T en precordiales derechas: positiva en la primera semana de vida, se hace negativa en V1 a V3 y, a partir de los 6 años, se hacen positivas.

Electrocardiograma en el anciano

Características en los ancianos:

- Frecuencia cardíaca: tendencia a presentar un ritmo sinusal con una frecuencia baja, sin llegar a ser menor a 50 lpm.
- Ritmo: presencia de extrasístoles supraventriculares y ventriculares.
- Eje cardíaco con tendencia a la desviación izquierda.
- Intervalo PR alargado hasta 0,22 s.
- Onda P y complejo QRS con disminución de la amplitud en todas las derivaciones.
- Escasa progresión de R en precordiales en el plano horizontal.
- Segmento ST con ligera infradesnivelación en algunas derivaciones.

Arritmia respiratoria

Es una variación de la frecuencia cardíaca con la respiración: durante la inspiración se genera una presión intratorácica negativa que aumenta el retorno venoso y con ello se incrementa la precarga, lo que supone un aumento de la frecuencia cardíaca; durante la espiración se genera una presión intratorácica positiva, disminuye el retorno venoso y con ello la precarga, lo que supone una disminución de la frecuencia cardíaca

Este fenómeno es más frecuente en niños y personas jóvenes.

Repolarización precoz

En la **figura 7-19** puede apreciarse:

- Ascenso del punto J y del segmento ST en derivaciones precordiales diferentes de V1 a V3.
- Comienzo precoz de la onda T con elevación del punto J.
- Elevación del segmento ST de 1-2 mm, con concavidad superior.

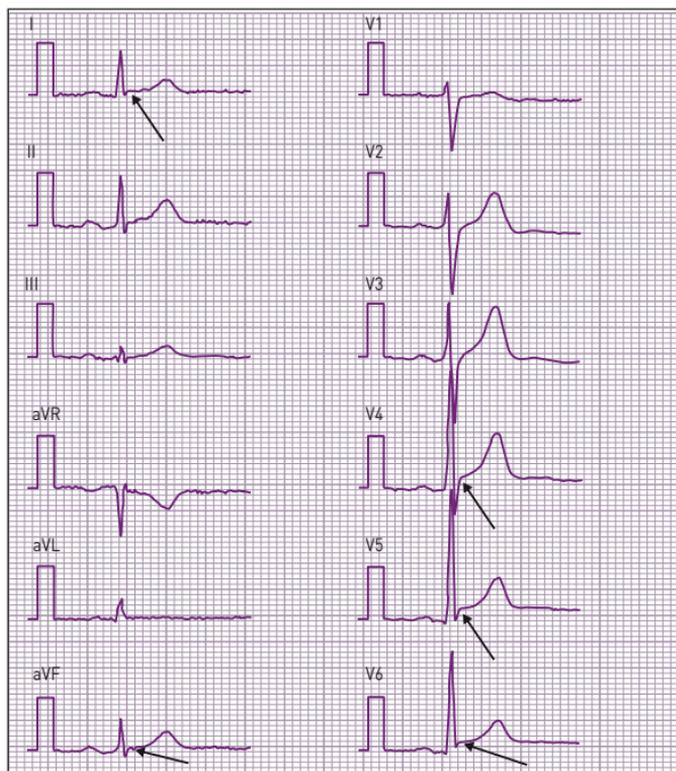


Figura 7-19.
Repolarización
precoz.

- Es frecuente en hombres jóvenes, deportistas y suele ser comúnmente asociada a la bradicardia sinusal (vagotonía).

Cambios transitorios de la repolarización

Se puede constatar la existencia de aplanamiento e incluso negativización de la onda T en individuos normales después de una hiperventilación, ingesta de alcohol o azúcar.

RUTINA DE INTERPRETACIÓN

La rutina o sistema en la lectura de un ECG es la base para su correcta interpretación, así se evita pasar por alto posibles alteraciones. Propuesta de interpretación de ECG en 10 pasos ordenados.

Electrocardiograma: sistema de interpretación

Estos cada uno de los pasos:

Paso 1: ECG apto

Paso 2: ritmo cardíaco

Paso 3: frecuencia cardíaca y ritmicidad

Paso 4: onda P

Paso 5: intervalo PR y segmento PR

Paso 6: eje eléctrico

Paso 7: complejo QRS

Paso 8: repolarización ventricular (segmento ST y onda T)

Paso 9: intervalo QT

Paso 10: conclusión

Siguiendo esta sistemática se van a detectar todas y cada una de las alteraciones posibles en un ECG.

¿Qué información aporta cada paso?

La siguiente:

- Paso 1: si el ECG está bien realizado.
- Paso 2: si el ritmo es sinusal o no sinusal (ritmo de la unión, ritmo idioventricular, marcapasos migratorio, fibrilación auricular, flúter auricular).
- Paso 3: si la frecuencia cardíaca es normal o existe taquicardia o bradicardia y si son rítmicas o arrítmicas.
- Paso 4: si es normal o existe hipertrofia de auricular por aumento de voltaje o duración y confirmación del ritmo existente.
- Paso 5: si es normal o existe el intervalo PR, si está alargado informa de un retardo en la conducción auriculoventricular en el bloqueo auriculoventricular de 1^{er} grado; si el intervalo PR es corto, informa de la existencia de un síndrome de preexcitación, ritmo de la unión o un marcapasos migratorio.
- Paso 6: eje del QRS en el plano frontal. Si es normal o no lo es. Cuando el eje es derecho, izquierdo o extremo, pone de manifiesto la existencia de crecimiento de cavidades o alteraciones en la conducción del estímulo eléctrico.
- Paso 7: morfología y duración del QRS. Si es normal o existe hipertrofia ventricular por aumento de voltaje, si existen bloqueos de rama por trastornos en la conducción distales al haz de His o si aparecen ondas no habituales, como la δ que expresa la existencia de un síndrome de preexcitación o una onda Q patológica, expresión de necrosis cardíaca.
- Paso 8: si es normal o existe alteraciones en la repolarización ventricular que pueden ser de causa isquémica (isquemia o lesión) o no isquémica. Las causas no isquémicas se manifiestan por alteración en el segmento ST (la pericarditis, sobrecarga sistólica, la repolarización precoz o el síndrome de Brugada) y alteraciones en la onda T (alteraciones en el potasio, el calcio y trastornos en el sistema nervioso central, miocardiopatías, sobrecarga sistólica y diastólica).
- Paso 9: si es normal o existe una prolongación o acortamiento del intervalo QT que pone de manifiesto la existencia de alteraciones electrolíticas, trastornos en el sistema nervioso central o el riesgo de arritmias auriculares, ventriculares y de muerte súbita.
- Paso 10: supone la redacción a modo de informe de toda la información encontrada en el ECG.



PUNTOS CLAVE

- Para comprender la electrocardiografía es necesario conocer el concepto de dipolo, de vector de despolarización y repolarización, de asa y de hemicampo.
- Es necesario leer el ECG de forma sistemática.

BIBLIOGRAFÍA

- Atlas de electrocardiografía. Fundamentos Osakidetza. Disponible en: http://www.osakidetza.euskadi.net/contenidos/informacion/osk_publicaciones/es_publici/adjuntos/primaria/fundamentos.pdf
- Bayés de Luna A. The ECG for beginners. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell; 2014.
- Cabrera Bueno F, Gómez Doblas JJ. Electrocardiografía. Interpretación práctica del ECG. Madrid: Editorial Panamericana; 2015.
- Cabrera Solé R. Semiología del electrocardiograma. Guía práctica de interpretación. 4ª edición. Complejo Hospitalario Universitario de Albacete; 2008.
- Castellanos Rodríguez A, Lobos Bejarano JM. Variantes de la normalidad. AMF. 2012;8(10):547-8.
- Pérez-Lescure Picarzo FJ. Guía rápida de lectura sistemática del ECG pediátrico. Rev Pediatr Aten Prim. 2006;VIII(30).