

ELECTROCARDIOGRAFÍA CLÍNICA BÁSICA

DEPARTAMENTO DE INTEGRACIÓN DE CIENCIAS MÉDICAS

CENTRO DE ENSEÑANZA Y CERTIFICACIÓN DE APTITUDES MÉDICAS

ELABORADO POR: DR. MARCO ANTONIO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

REVISADO POR: DRA. SARA MORÁLES LÓPEZ

ÍNDICE

1. Objetivos
2. Definición
3. Electrocardiograma
4. Electrofisiología de la célula miocárdica
5. Teoría del dipolo
6. Sistema de conducción cardíaca
7. Derivaciones
8. Vectores de despolarización
9. EKG normal

OBJETIVOS

- ✓ Relacionar las bases electrofisiológicas de la activación eléctrica del corazón con el registro electrocardiográfico.
- ✓ Identificar las características normales de los elementos de un electrocardiograma (ondas, segmentos e intervalos)
- ✓ Identificar y analizar de forma sistematizada los elementos y características que componen un trazo de electrocardiograma normal, revisando todos los componentes (ritmo, frecuencia, eje, ondas, segmentos e intervalos).

DEFINICIÓN

El corazón es un órgano muscular que funciona como bomba y se basa en su contracción para mantener el flujo de sangre por todo el cuerpo. Para hacer esto posible depende de la contracción de sus cavidades de forma controlada y rítmica, por lo cual es indispensable un sistema que mantenga comunicadas todas las células que lo componen. Esta comunicación depende del sistema de conducción cardíaca y de las características particulares de sus células para transmitir las señales eléctricas.

La electrocardiografía (ECG) es la **representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón** que se transmite a través de las células y que se mide desde la superficie del cuerpo a través de electrodos específicos de registro. A pesar de que esta actividad eléctrica es de muy escaso voltaje, es posible medirla gracias a que el cuerpo se

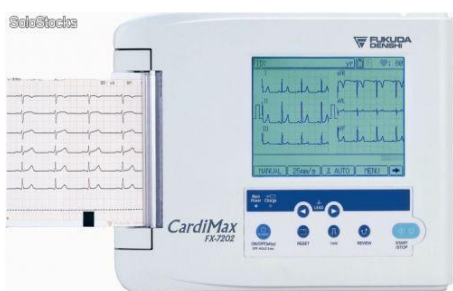
compone en su mayor parte por agua y electrolitos capaces de transportar cargas eléctricas.

El conjunto de despolarizaciones y repolarizaciones de las células cardíacas, así como las variaciones de dirección e intensidad de estas conforme se transmiten entre sí en un momento dado se va a medir en distintas localizaciones del cuerpo a través de un electrocardiógrafo.

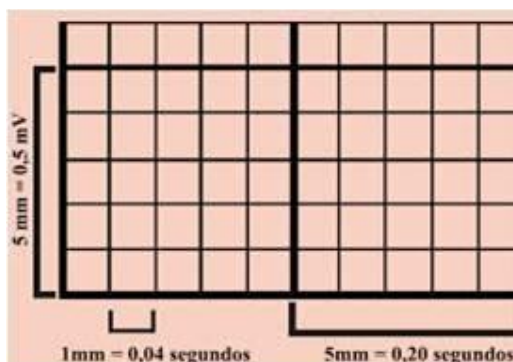
ELECTROCARDIOGRAFO

El electrocardiógrafo es un aparato eléctrico que capta los potenciales eléctricos del corazón registrando el voltaje que este genera y transmite a través del cuerpo mediante un sistema de electrodos, cables y una consola de registro. Los electrodos los podemos llegar a encontrar en forma de pinzas para las extremidades y chupones o parches auto adheribles para el tórax.

El registro del electrocardiógrafo se hace sobre un papel milimétrico calibrado a 10 mm/mV en el plano vertical (con opción de modificarlo a 5 y 20 mm/mV) y una velocidad de 25 mm/s en el plano horizontal (con opción de modificarlo a 10, 50 y 100 mm/s). De tal forma que de manera horizontal 1mm corresponde a 0.04 segundos, 5mm corresponden a 0.2 segundos y 25 mm a 1 segundo. Así mismo de forma vertical 1 mm corresponde a 0.1 mV. Imaginándolo en un plano cartesiano, el eje de las abscisas corresponde al tiempo y el de las ordenadas a la amplitud.

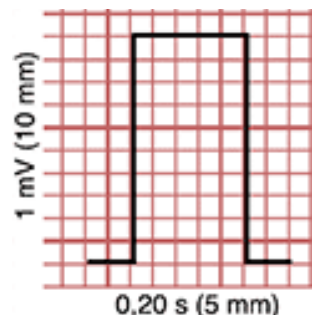


Electrocardiógrafo



Papel milimétrico

Para verificar la calibración del papel milimétrico, al inicio de la toma del trazo, los electrocardiógrafos mandan un impulso eléctrico de 1 mV por un tiempo de 0.2 s, graficando una imagen rectangular con una altura de 10 cuadros pequeños (10 mm) y una duración de 5 cuadros pequeños. En caso de que la calibración del voltaje sea cambiada, las características de esta figura vararán proporcionalmente.



ELECTROFISIOLOGÍA DE LA CÉLULA MIOCÁRDICA

Las células miocárdicas tienen una selectividad específica para que los iones atraviesen su membrana, creando una diferencia en la concentración de los iones negativos que se encuentran dentro y, los positivos que se encuentran fuera; esta diferencia en la concentración crea un potencial eléctrico generado por las cargas eléctricas de los iones de acuerdo con su concentración intra o extracelular.

La concentración de Na^+ extracelular, con carga positiva, en comparación con los iones proteicos intracelulares con carga negativa, generan un gradiente eléctrico en el interior de la célula, llamado **diferencia de potencial**. Los principales iones extracelulares son Na^+ , Ca^{++} , y Cl^- , mientras que los intracelulares son el K^+ y los aniones proteicos.

El **potencial de membrana** es la diferencia de cargas entre el interior y el exterior de las células determinado por la conductancia o permeabilidad relativa de la membrana a los iones, así como los gradientes de concentración de los mismos. Cuando la célula miocárdica se encuentra en reposo se denomina **potencial de membrana en reposo** y oscila entre -80 y -90 mV en relación con el exterior, y es determinado por el potasio (K^+) debido a que su concentración intracelular es mayor que la extracelular (30:1). Las membranas celulares, en periodo de reposo, presentan sus canales, para los iones intra y extracelulares, cerrados.

NOTA: el potencial de membrana en reposo se puede encontrar entre -80 y -90 mV en las células musculares auriculares, ventriculares y la mayoría del sistema de conducción del corazón. Sin embargo, en las células del Nodo Sinusal y el Nodo Aurículo-Ventricular (AV) lo podemos llegar a encontrar entre -65 y -50 mV.

CARACTERÍSTICAS ELECTROFISIOLÓGICAS DE LAS CÉLULAS CARDÍACAS.

Excitabilidad

Una característica de las células miocárdicas es su capacidad de responder a estímulos externos (físicos, químicos, mecánicos, etcétera) y cambiar la permeabilidad de la membrana a ciertos iones a través de sus canales, generando una respuesta eléctrica, denominado

Potencial de Acción.

Cuando la célula cambia su permeabilidad al Na^+ y al Ca^{++} el potencial de membrana se hace menos negativo y la célula se despolariza. De la misma manera cuando hay salida de K^+ o entrada de Cl^- el potencial se hace más positivo y se facilita la repolarización porque el potencial de membrana se hace más negativo.

La respuesta de las células cardíacas a los estímulos recibidos puede ser capaz de disminuir el potencial de membrana hasta un punto denominado **potencial umbral**, el cual es cercano a -60 mV en las células auriculares y ventriculares, mientras que en las de los nodos Sinusal y AV es cercano a -40 mV. Cuando el potencial de reposo llegue al potencial umbral se generará una corriente de entrada con un cambio en las cargas intra y extracelulares denominado **despolarización**, con movimiento de cargas positivas hacia el interior de la célula (no se vuelve positiva, sólo menos negativa). Esto genera una corriente eléctrica que se transmite a lo largo de la célula hasta lograr una despolarización completa de la célula. Para células individuales la despolarización y la repolarización llevan la misma dirección. Sin embargo, para el miocardio entero, la despolarización inicia en el endocardio y se dirige al epicardio, mientras que la repolarización lleva una dirección contraria.

Fases del potencial de acción

El potencial de acción cardíaco es la representación gráfica de los cambios del potencial de membrana de una célula cardíaca.

Fase 0: Despolarización.

- Aumenta conducción de la membrana al Na^+ y aumenta el flujo intracelular.
- Mediado por canales rápidos de Na^+
- Potencial de membrana llega a +20 mV (generando despolarización)

Fase 1: Repolarización inicial

- Cesa corriente de entrada del Na^+
- Aumenta conductancia al K^+ y este sale al espacio extracelular (corriente de salida a favor de su gradiente)

Fase 2: Meseta:

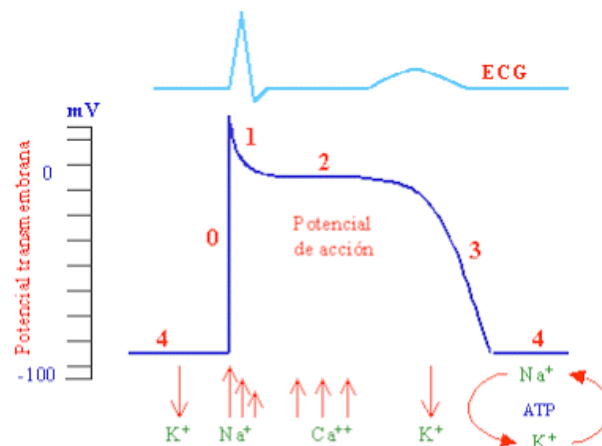
- Potencial de membrana despolarizado aparentemente estable debido al equilibrio entre corrientes de entrada y salida.
- El equilibrio se logra gracias al aumento en la conductancia del Ca^{++} (corriente de entrada). Mediado por canales tipo L.
- Para equilibrar la entrada de Ca^{++} hay una corriente de salida de K^+ .
- La entrada de Ca^{++} libera más Ca^{++} intracelular el cual es usado en la contracción muscular.

Fase 3: Repolarización

- Se produce cuando las corrientes de salida son mayores que las corrientes de entrada
- Disminuye la conductancia (entrada) al Ca^{++} y aumenta la del K^+ (salida)

Fase 4: Potencial de membrana en reposo

- El potencial de membrana vuelve a su valor de reposo.
- Vuelve a ser estable al igualarse corrientes de entrada y salida.
- El potencial de membrana en reposo se acerca al potencial de equilibrio del K^+ . Hay corriente entrada de K^+ y salida de Na^+ dependiente de la Bomba $\text{Na}^+ \text{K}^+$ ATPasa



Refractariedad

Este periodo se divide en absoluto y relativo. En el **absoluto** ningún estímulo, por más intenso que sea, va a poder producir una respuesta. Este inicia en la fase 0 y acaba a la mitad de la fase 3 del potencial de acción y es debido a inactivación de los canales de Na⁺

Mientras que en el periodo refractario **relativo** sólo un estímulo muy intenso puede producir una respuesta. Inicia a la mitad y se continúa toda la fase 3. Si se llegara a estimular y despolarizar a la célula en este periodo se genera un potencial de acción prematuro con una velocidad de conducción más lenta de lo habitual.

Automatismo

Capacidad de algunas células de despolarizarse automáticamente en la fase 4 sin la necesidad de un estímulo externo. Este tipo de mecanismo predomina en las células del sistema de conducción cardíaca donde las células se van despolarizando paulatinamente hasta alcanzar el potencial umbral y lograr una despolarización.

Conducción

Las células cardíacas son capaces de conducir los estímulos sin que disminuya de intensidad conforme pasa de célula en célula. Así mismo durante el trayecto que sigue el estímulo eléctrico través del corazón se va encontrando con células que lo conducen con más o menos velocidad que otras.

Velocidad de conducción del Potencial de Acción.

Sistema de conducción	Velocidad (m/s)
Aurícula	1
Nodo AV	0.01 – 0.005
Haz de His y Fibras de Purkinje	2 – 4
Ventrículo	1

Contractilidad

Propiedad mecánica de las células cardíacas para contraerse. Depende del calcio intracelular del retículo sarcoplásmico liberado al espacio intracelular para ser usado por la actina y miosina.

TEORÍA DEL DIPOLO

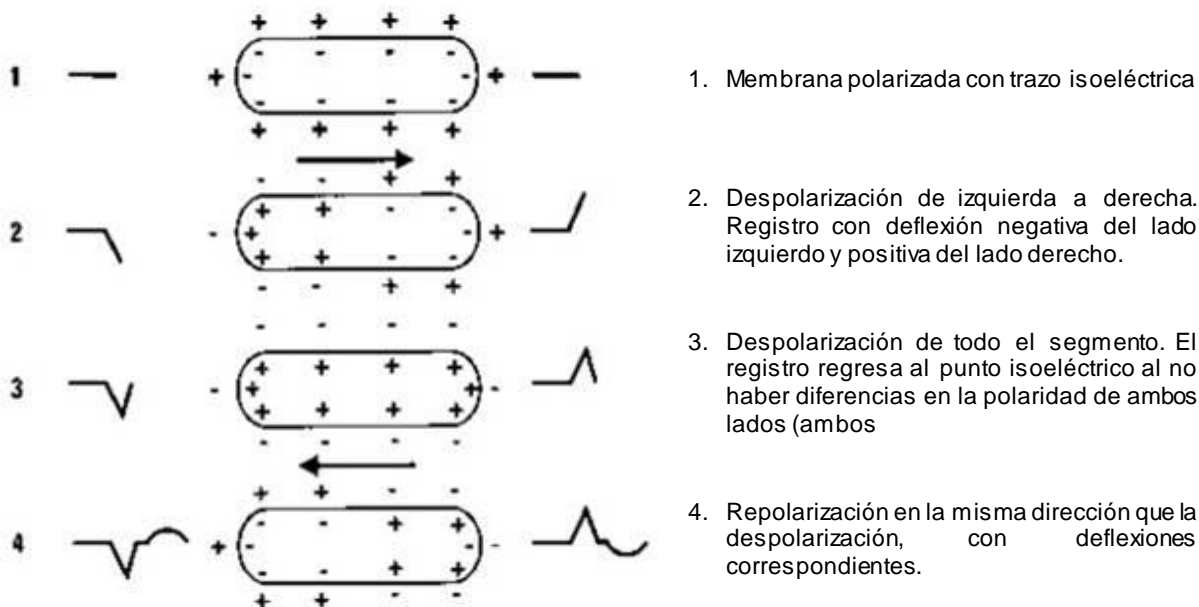
Dipolo: definido como un par de cargas de igual magnitud, pero polaridad diferente, + y -, que se desplazan por una célula, o grupo de células, en un solo sentido y separan por un lado cargas positivas y por otras negativas. La diferencia de cargas (+ ó -) entre 2 puntos se denomina “**Teoría del Dipolo**”.



Si hipotéticamente tomamos una célula cardíaca y ponemos micro electrodos a lo largo del espacio extracelular, observaremos que no hay diferencias en el potencial eléctrico ya que la célula se encuentra **polarizada**, es decir, no hay cambios en la polaridad (+ ó -) entre los espacios intra y extracelular y se registrará un trazo isoelectrico.

En el momento en el cual se estimula la célula cardíaca con un impulso eléctrico se produce una **despolarización** y el paso de iones a través de la membrana invertirá la polaridad celular, mostrando positividad en el espacio intracelular y negatividad en el extracelular. En el momento en el cual se detecta negatividad en un micro electrodo se denotará una deflexión negativa en el registro. Mientras la despolarización progresa a lo largo de la célula cardíaca (u otras células) se registrarán diferencias de potencial entre dos o más puntos y el registro tendrá distintas deflexiones; en unos puntos positivas y en otras negativas según la dirección a la que se desplace la despolarización y la localización de los micro electrodos con respecto al punto de inicio de la misma. La zona donde se produjo la despolarización se registrará con una deflexión negativa y las zonas donde aún no ha llegado el cambio de polaridad (despolarización) se registrarán con una deflexión positiva, hasta que la despolarización llegue a este punto, momento en el cual cambiará a negativa.

Cuando la célula recupera su polaridad de reposo (**repolarización**), esta inicia donde comenzó la despolarización y se desplazará en la misma dirección, pero con menor velocidad. La polaridad extracelular regresará a ser positiva y la intracelular, negativa.



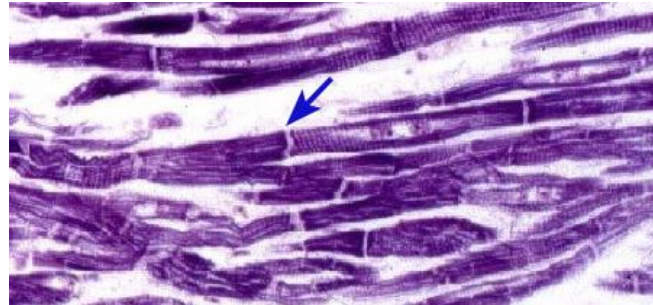
La suma de los dipolos en una sola dirección de los miocardiocitos forma vectores de despolarización, los cuales serán registrados por los electrodos del electrocardiógrafo. Si se extrapola a un modelo de mayor tamaño como los ventrículos cardíacos, entonces veremos que los electrodos exploradores son los que nos darán las referencias para valorar si la despolarización se aleja o se acerca a estos. Es decir, si la onda o vector de despolarización se acerca al electrodo positivo, entonces en el registro se mostrará una onda positiva, y si por el contrario la onda se aleja, entonces veremos una onda negativa.

SISTEMA DE CONDUCCIÓN CARDÍACA

Para que el corazón pueda ejercer su función de forma adecuada requiere de un sistema que permita que todo el órgano trabaje con un orden preciso. El **sistema de conducción** es quien transmite los impulsos eléctricos por todo el corazón para que este pueda desempeñar su función de bombeo de forma adecuada.

La unidad funcional del corazón son los miocardiocitos; células musculares estriadas, pequeñas, mononucleares, con abundantes mitocondrias y con morfología apantalonada. Su membrana celular cuenta con regiones especializadas llamadas discos intercalares, los cuales son un tipo especial de unión intercelular. Estos permiten una conducción

eléctrica rápida entre las células para permitir la contracción simultánea del corazón y que este trabaje como un *sincitio* funcional.



Flecha: Discos Intercalares

Note la forma apantalonada de las células, los núcleos únicos y centrales

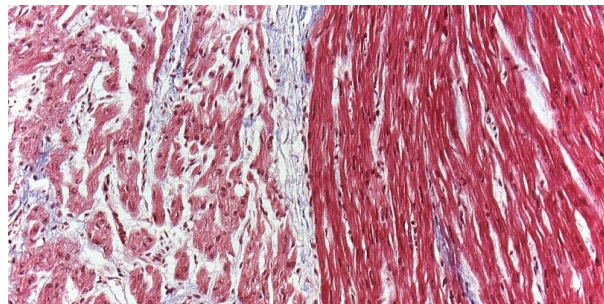
Tinción con Hematoxilina fosfotúngstica.

Tomado de: Atlas Digital de Histología. Departamento de Biología Celular y Tisular
Facultad de Medicina UNAM

Las células del corazón se pueden dividir en:

- Fibras automáticas o de respuesta lenta: son capaces de generar y conducir de manera más eficaz los potenciales de acción. Estas células especializadas forman parte del sistema de conducción del Corazón.
- Fibras de trabajo o de respuesta rápida: normalmente requieren de un estímulo externo para excitarse. De forma anormal sí pueden auto excitarse, pero lo hacen con una frecuencia muy lenta.

Otra característica que diferencia a las células del sistema de conducción de las células miocárdicas es que las primeras poseen menos contenido de miofibrillas que las segundas, esto permite una conducción más veloz a través de estas células especializadas en comparación con el resto de las células del corazón.



Derecha: miocardiocitos. Izquierda: Nodo AV

**La diferencia de color entre ambas estructuras refleja la poca cantidad de miofibrillas del
Nodo AV**

Tomado de: Atlas Digital de Histología. Departamento de Biología Celular y Tisular
Facultad de Medicina UNAM

El sistema de conducción se compone de: el nodo Sinusal o Sinoauricular (Nodo SA), EL nodo Aurículo-Ventricular (Nodo AV), el haz de His con sus dos ramas (izquierda y derecha) y las Fibras de Purkinje.

Nodo SA. Localizado en el endocardio de la aurícula derecha, entre la vena cava superior y la orejuela derecha. Las células del nodo poseen *ritmicidad miogénica*, es decir, la habilidad de despolarizarse de forma espontánea sin la necesidad de un estímulo externo (autoexcitables o automáticas). Esta habilidad es lo que genera la **frecuencia** cardíaca. Cuando estas células se despolarizan, se produce una onda que se transmite por el tejido auricular, el cual inicia la contracción, y por los **tractos internodales** (de Bachman, Wenckebach y Thorel) que transmiten el impulso al Nodo AV. Cuando el impulso eléctrico se transmite por el tejido auricular, este no logra pasar al tejido ventricular porque se encuentra con un tejido fibroso que no permite el paso de la despolarización: el *anillo fibroso*.

Nodo AV. O nodo de Aschoff-Tawara. Se encuentra localizado en el endocardio del lado derecho del tabique interauricular, debajo del orificio del seno coronario. Es el único lugar por el cual el impulso eléctrico pasa de las aurículas a los ventrículos de forma normal. La función principal que desempeña el nodo AV es retrasar la conducción de los impulsos que pasan de las aurículas a los ventrículos para dar tiempo a la contracción auricular.

Haz de His. Es una continuación directa del nodo AV, en el que las fibras se han alineado en forma de cordón. La porción proximal atraviesa el esqueleto fibroso y después corre a través del endocardio del septum interventricular para posteriormente dividirse en dos ramas, una derecha y otra izquierda, que corren por debajo del endocardio septal derecho e izquierdo, respectivamente.

RDHH (Rama Derecha del haz de His): situado en el endocardio del tabique interventricular derecho. Se divide a la altura del músculo papilar anterior en múltiples haces que terminan delimitándose en dos áreas de Fibras de Purkinje: la región superoanterior e inferoposterior

RIHH (Rama Izquierda del haz de His): se divide en 3 fascículos. 1) El inferoposterior (penetra en la superficie posterior e inferior del endocardio del VI, en dirección del músculo papilar posterior), 2) el *antero superior* (penetra en la superficie anterior y superior del endocardio del VI y se dirige al músculo papilar anterior) y 3) las *fibras del tabique interventricular* (penetran en su lado izquierdo y no constituyen un verdadero fascículo).

Fibras de Purkinje. Conecta el Sistema de Conducción Eléctrico con el subendocardio ventricular.

DERIVACIONES

Como ya se mencionó antes, para el registro del EKG es necesario el uso de electrodos exploradores colocados en partes específicas del cuerpo, los cuales van a registrar y medir los vectores de despolarización cardíacos (diferencias de potencial).

El corazón no puede ser visto desde un solo lugar, ya que se trata un órgano tridimensional, por lo que tiene que ser desde distintos sitios para poder valorar la actividad eléctrica. Los planos principales usados son el horizontal y el frontal.

Dependiendo del lugar donde se coloque el electrodo explorador van a ser las características eléctricas que apreciaremos. De tal forma que la morfología que se registra en el EKG depende de dónde se localice el electrodo o derivada y de cómo se comporten los vectores de despolarización.

El electrocardiograma estándar consta de 12 derivaciones.

Las derivaciones se pueden dividir en:

- A) Bipolares (DI, DII Y DIII) y monopares (aVR, aVL, aVF, V1 a V6), o
- B) Precordiales o del plano horizontal (V1 a V6) y de los miembros o extremidades, o del plano frontal (DI, DII, DIII, aVR, aVL y aVF).

Sin importar de qué tipo de derivación sea, todas tienen dos polos, uno positivo y otro negativo, pasando por el centro del corazón. De esta manera pueden registrar y calcular los vectores de despolarización dependiendo si se alejan o acercan al polo positivo y mostrar deflexiones positivas o negativas en el registro [Teoría del Dipolo].

Derivaciones del plano frontal

Como se mencionó antes, estas incluyen a DI, DII, DIII, aVR, aVL y aVF.

Derivaciones estándar. Constituyen las derivaciones bipolares DI, DII y DIII. Para su registro se colocan los electrodos en ambas extremidades superiores y en la extremidad inferior izquierda. Estas derivaciones constituyen un circuito cerrado (Ley de Kirchhoff¹) y cumplen una ley denominada de Eithoven, la cual dice que $DII = DI + DIII$, y es usada para verificar la correcta colocación de los cables. Estas derivaciones fueron descritas por Eithoven como los vértices de un triángulo equilátero, con el corazón en el centro de este.

¹ **Ley de Kirchhoff:** En cualquier nodo, la suma de las corrientes que entran en ese nodo es igual a la suma de las corrientes que salen. De forma equivalente, la suma de todas las corrientes que pasan por el nodo es igual a cero

Si se trasladan los 3 lados del triángulo hasta que estos se crucen en su punto medio se puede obtener un sistema triaxial de referencia (Sistema triaxial de Bailey). Esto será de utilidad para orientar los vectores de despolarización. Teniendo los polos positivos de las derivaciones DI a 0° , DII a $+60^\circ$ y DIII a $+120^\circ$ (los negativos estarán a $\pm 180^\circ$, -120° y -60° respectivamente).

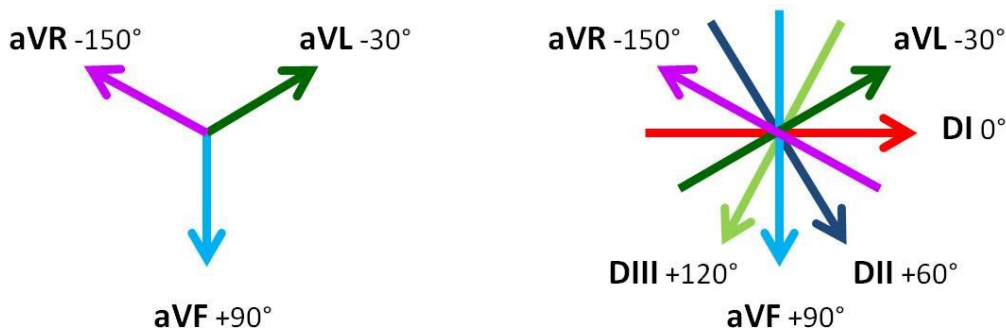


Derivaciones de los miembros. Constituidas por derivaciones monopolares: aVR, aVL y aVF. Estas derivaciones son denominadas mono o unipolares porque el electrodo de registro es el polo positivo, mientras que el polo negativo se encuentra en un punto de referencia llamado centro terminal (de Wilson).

Estas tres derivaciones van desde los vértices del triángulo de Eithoven, donde se encuentra su parte positiva, hasta el punto medio del lado opuesto, donde corresponde la parte negativa. De esta forma la localización del polo positivo de cada derivación es: aVR a -150° , aVL a -30° y aVF a $+90^\circ$, mientras que la parte negativa se localiza en el centro del corazón.

Sin embargo, si se extiende la parte negativa de estas derivaciones hacia el lado opuesto se obtiene nuevamente un sistema triaxial similar al obtenido en las derivaciones bipolares, encontrando los polos negativos de la siguiente manera: de aVR a $+30^\circ$, de aVL a $+150^\circ$ y aVF a -90° .

Así mismo, si ambos sistemas triaxiales se superponen en un solo Sistema se obtiene el sistema hexaxial del plano frontal del EKG.

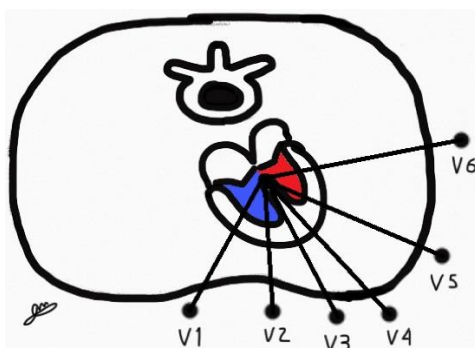


Derivaciones del plano horizontal

Estas permiten conocer las direcciones que puede tomar la actividad eléctrica del corazón con respecto al anterior y posterior, las cuales no se pueden observar con las derivaciones del plano frontal al ser cargas perpendiculares.

Al igual que las derivaciones de los miembros, los electrodos exploradores (positivos) se colocan en partes específicas del tórax, y se hace la referencial (polo negativo) con la central terminal de Wilson (centro del corazón).

En los electrocardiogramas estándar se utilizan 6 derivaciones precordiales para explorar el lado izquierdo del corazón (V1 a V6). Sin embargo, hay ocasiones en las cuales se desea explorar el lado derecho del corazón y se usan las denominadas “precordiales derechas” (V2R a V6R). Así mismo cuando se desea analizar el corazón casi en su totalidad, incluyendo estructuras que no pueden explorarse con el EKG convencional en la parte posterior, se usarán derivaciones precordiales extras, a las cuales se le denomina “círculo torácico” (V1 a V9, y V3R a V9R, en caso de que la posición del corazón sea horizontal o semihorizontal se pueden agregar las derivaciones abdominales MD, ME y MI).



Derivaciones precordiales estándar. Así como las derivaciones de los miembros, el electrodo de registro constituye el polo positivo y la parte negativa es calculada por el electrocardiograma en el punto de referencia o centro terminal (de Wilson).

Estas derivaciones completan la información necesaria para estudiar al corazón en casi todos sus lados ya que aportan la información de cómo sucede la despolarización cardíaca con respecto al anterior y posterior.

La localización específica de las 6 derivaciones precordiales son las siguientes:

- V1: cuarto espacio intercostal, línea paraesternal derecha.
- V2: cuarto espacio intercostal, línea paraesternal izquierda.
- V3: entre V2 y V4
- V4: quinto espacio intercostal, línea medio claviclar
- V5: quinto espacio intercostal, línea axilar anterior
- V6: quinto espacio intercostal, línea axilar media

Ya que estos electrodos de registro se encuentran próximas a la superficie del corazón, a cada derivación se le asigna el registro de una parte del corazón en particular y gracias a esto podemos clasificarlas como precordiales derechas (V1 a V3) e izquierdas (V4 a V5).

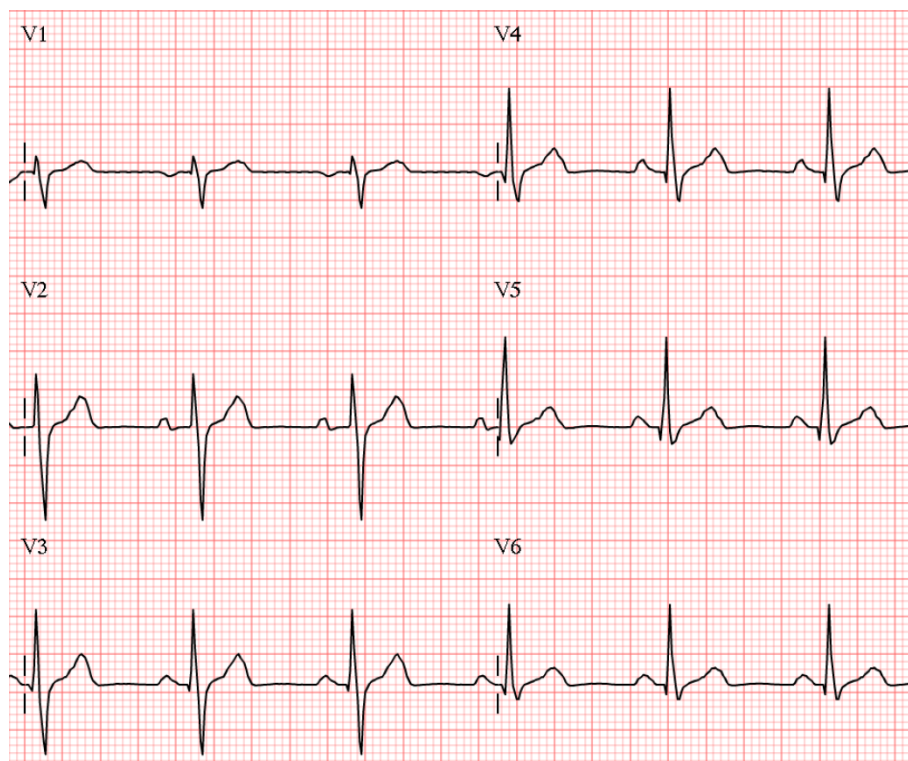
Una característica que las diferencia es que las precordiales derechas presentarán deflexiones negativas (onda S) de mayor amplitud que las positivas (onda R) y en las precordiales izquierdas el fenómeno es opuesto. El motivo de este suceso es que en las precordiales derechas la onda R refleja la actividad del ventrículo izquierdo y la onda S la del ventrículo derecho, el cual se encuentra más cercano al electrodo explorador, por lo que las ondas de activación de ese lado tendrán una mayor amplitud. Este fenómeno se repite con las precordiales izquierdas. La onda R se hará más alta y la onda S menos profunda a medida que los electrodos se localicen más a la izquierda. Es decir: en V1 la onda S predomina sobre la onda R, y en V6 la onda R predomina sobre la onda S.

Con lo que podemos concluir que la diferencia en la amplitud de las ondas R y S en las precordiales no sugiere mayor o menos voltaje en una zona u otra, sino que el mismo voltaje es medio desde distancias diferentes.

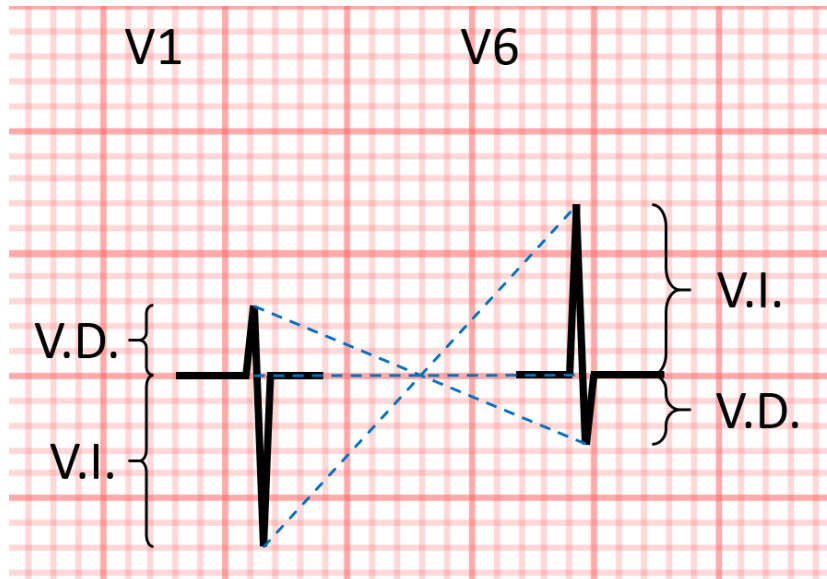
Las características de estas derivadas las podemos definir de la siguiente manera:

- **V1:** se encuentra sobre el ventrículo derecho. Por lo que la onda de despolarización del ventrículo derecho se acerca al electrodo positivo y la del ventrículo izquierdo se aleja de este. Esta resultante de vectores se refleja en el electrocardiograma con una deflexión positiva más pequeña que la deflexión negativa ($R < S$). Así mismo podemos observar una onda de despolarización auricular positiva, o en ocasiones (como en la imagen a continuación) puede ser negativa o bimodal.
- **V2:** también se encuentra encima de la pared ventricular derecha y encontramos una morfología similar a V1. Sin embargo, podemos apreciar mayor voltaje que en V1 ya que en esta zona encontramos mayor volumen de músculo.

- **V3:** esta derivación se encuentra sobre el tabique interventricular, lo que hace que sea un punto intermedio entre las derivaciones de los ventrículos derecho o izquierdo. Por lo tanto, podemos encontrar morfologías y amplitudes similares en la deflexión positiva y la deflexión negativa ($R=S$).
- **V4:** por su localización, debajo de este encontramos el ápex del corazón y parte del tabique interventricular, por lo que la morfología va a ser similar a la de V3. Hay que tomar en cuenta que este lugar es donde mayor volumen miocárdico podemos encontrar, por lo tanto, la morfología puede ser de mayor amplitud que V3 e incluso más positivas ($R>S$). Entre V3 y V4 podemos encontrar algo denominado “Zona de Transición”, que se explicará más adelante.
- **V5:** debajo de este electrodo se encuentra parte de la pared libre del ventrículo izquierdo. Recordando lo que se mencionó en las precordiales anteriores, aquí encontraremos la deflexión positiva de mayor amplitud que la negativa.
- **V6:** igual que V5, debajo se encuentra el ventrículo izquierdo y es la derivación precordial donde veremos la deflexión positiva de mayor amplitud con respecto a la negativa.



Derivaciones precordiales



En este esquema se muestra la relación que hay entre la magnitud de la deflexión positiva y negativa entre V1 y V6. La onda predominante negativa de V1 guarda relación con la onda positiva de V6, y lo mismo ocurre con las deflexiones contrarias.

También se muestra la relación que tiene cada deflexión con los ventrículos.

La **zona de transición** es la vamos a ubicar en el momento en el cual identifiquemos un complejo isodinámico que separa por un lado los complejos con ondas de predominio positivas y por otro las de predominio negativo.

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 EKG, 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 esta y sentido 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 estos y el cálculo de su magnitud y dirección para representarlo como ondas de determinado voltaje en cada una de las derivadas del EKG.

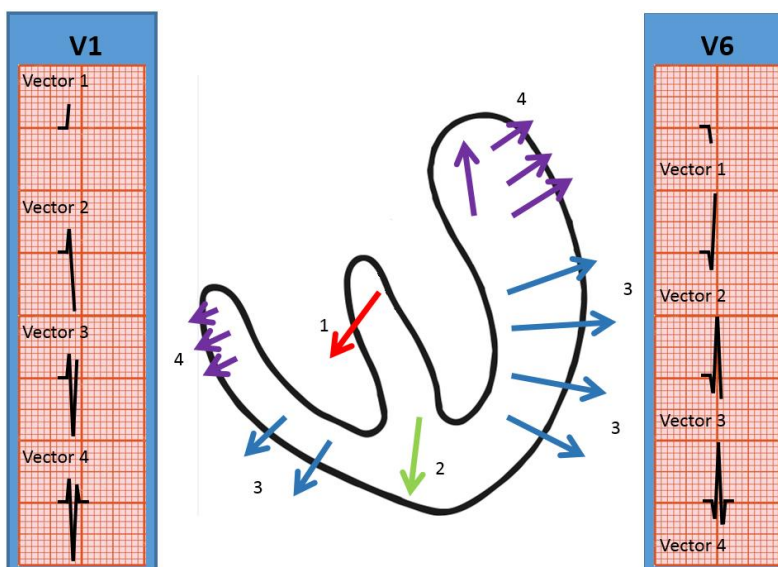
Los principales vectores que encontraremos en el corazón se encuentran a nivel de los ventrículos y son 4. El primero se encuentra a nivel del septo interventricular, es de pequeña magnitud y se dirige de izquierda a derecha y de atrás hacia adelante. Esta se valora en el EKG como una pequeña onda Q en V5 y V6, y una onda R pequeña en V1 y V2.

El segundo vector es denominado anteroseptal o del ápex del corazón, es de gran magnitud y representa la despolarización de las zonas más cercanas a septo interventricular. Tiene una dirección hacia abajo, adelante y de derecha a izquierda.

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, además en las precordiales derechas se verán ondas S grande 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 este el que indicará la predominancia del eje eléctrico del corazón.

El último vector de despolarización corresponde a las bases de los ventrículos (pared lateral alta). Se dirige hacia arriba, atrás y a la derecha. Este 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 EKG



EKG NORMAL

Para poder realizar una adecuada interpretación de un EKG, sea cual sea la patología que se esté buscando, es fundamental seguir los siguientes pasos de forma sistemática:

1. Ritmo
2. Frecuencia
3. Eje eléctrico (AQRS)
4. Ondas, Segmentos e Intervalos

Ritmo

En este apartado tenemos que verificar únicamente si el ritmo es “Sinusal” o “No sinusal” (o Ectópico). Si un ritmo cumple los criterios que se enumeran a continuación, entonces se podrá decir que es Sinusal. De no ser así será denominado No Sinusal.

- Onda P con morfología normal y positiva en DII, DIII, aVF y de V2 a V1; y negativa en aVR
- La onda P siempre va seguida de un complejo QRS con un intervalo PR fijo (aproximadamente 120 a 220 ms)
- Misma distancia entre ondas RR o entre las ondas PP
- Frecuencia cardíaca entre 60 y 100 lpm (si fuera mayor de 100 sería una taquicardia sinusal, y si fuera menos de 60 sería una bradicardia sinusal)

Una vez comprobando ante qué tipo de ritmo estamos podemos pasar a calcular la frecuencia cardíaca

Frecuencia cardíaca

En la mayoría de los casos la frecuencia cardíaca es regulada por el nodo SA, el cual, como se mencionó, llevará al corazón a una frecuencia de contracción regular entre 60 y 100 latidos por minuto. En caso de que la despolarización generada en el nodo SA sea mayor de 100, entonces se denominará taquicardia sinusal, además de que cumplirá los criterios antes expuestos para denominarlo sinusal, a excepción de la frecuencia cardíaca. Así mismo si la frecuencia de despolarización es menos de 60 lpm, se denominará bradicardia sinusal, y de la misma manera cumplirá los criterios de ritmo sinusal a excepción de la frecuencia. Estas alteraciones en la frecuencia pueden ser normales o patológicas, dependiendo del contexto clínico del paciente.

La importancia de averiguar en primer lugar el tipo de ritmo que tiene el electrocardiograma es que con base en este vamos a elegir el método por el cual

calcularemos la frecuencia cardíaca. Es importante mencionar que estos métodos solo se aplican cuando el papel corre a una velocidad de 25 mm/s.

En caso de tener un Ritmo Sinusal podemos hacer el cálculo con alguno de los siguientes métodos.

Para hacer un cálculo rápido, pero por demás inexacto, se puede buscar una onda R que coincida con una línea gruesa del EKG, posteriormente se busca la siguiente onda R y por cada raya gruesa que saltemos la numeraremos respectivamente con los siguientes números: 300, 150, 100, 75, 60, 50, 43, 38, 33... así hasta encontrar la siguiente onda R. En caso de no poder memorizar estos números que a simple vista parece que tienen un orden aleatorio únicamente se tiene que dividir 300 entre el número o lugar que ocupan las rayas gruesas, es decir $300/1=300$, $300/2=150$, $300/3=100$, y así sucesivamente.

Por ejemplo: encontramos una onda R que coincide con una raya gruesa, posteriormente encontramos la siguiente onda R a 4 rayas gruesas de distancia, entonces contaremos 300 (primera raya gruesa), 150 (segunda raya gruesa), 100 (tercera raya gruesa) y 75 (cuarta raya gruesa), la cual coincide finalmente con la segunda onda R. esto nos permite decir que la frecuencia cardíaca es de aproximadamente 75 lpm. Sin embargo, no siempre podemos ver que las ondas R coincidan con las rayas gruesas, y si estas quedan en medio de dos, entonces nuestro cálculo puede ser inexacto, mas no se aleja mucho de un cálculo exacto. Este método se prefiere cuando sólo se quiere hacer un cálculo rápido.



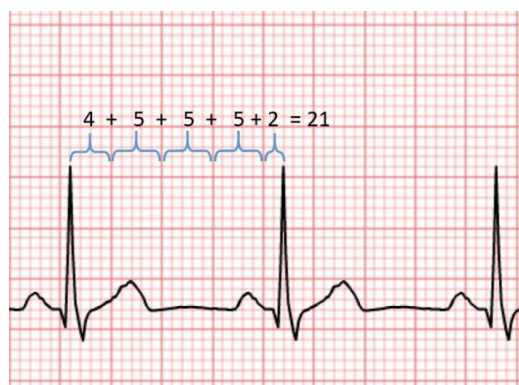
En este caso se puede ver que la segunda onda R coincide con la 4° raya gruesa, por lo tanto, la frecuencia cardíaca se encuentra aproximadamente en 75 lpm

Otro método un poco más exacto que el anterior y que de la misma manera se utiliza cuando el EKG muestra un Ritmo Sinusal es mediante la medición de las rayas gruesas que se encuentran entre dos ondas R y dividiendo este número entre 300. Es decir, si se encuentra una onda R que de preferencia coincida con una raya gruesa o que se encuentre lo más cercano posible, se tiene que contar cuántas rayas gruesas hay entre esta y la siguiente onda R, si encontrase 4 rayas gruesas antes que la 2° onda R, entonces $300/4=75$. La frecuencia cardíaca será aproximadamente de 75 lpm. Este método es bastante similar al anterior, por lo que será igualmente inexacto, pero más rápido que un método más preciso.



En la imagen se aprecia que entre las dos ondas R se encuentran 4 rayas gruesas, por lo que se debe dividir $300/4=75$, con lo que concluimos que la FC es de 75 lpm aproximadamente

Si se desea calcular la frecuencia cardíaca de manera muy exacta, pero menos veloz que con los métodos anteriores, entonces se puede usar el siguiente método, el cual es parecido al anterior. Primero se busca una onda R que anteceda a alguna otra, con este método no se requiere que coincida con una raya gruesa. Posteriormente se busca la siguiente onda R y se cuenta el número de cuadros pequeños que hay entre estas dos ondas para después dividir ese número entre 1500. Por ejemplo, si hubiese 22 cuadros pequeños entre dos ondas R, entonces la operación matemática sería $1500/22=68$. Con esto concluimos que la FC es de 68 lpm.



En esta imagen se cuentan 21 cuadros pequeños entre ambas ondas R, por lo que se debe realizar la operación: $1500/21=71$. La FC es de 71 lpm.

Finalmente contamos con otro método que se puede utilizar cuando el ritmo que encontramos en el EKG es Sinusal o No Sinusal. Lo primero que hay que hacer es contar 6 segundos en el eje de las abscisas del papel milimétrico, es decir 30 cuadros grandes del eje horizontal. Posteriormente se cuenta el número de R's que hay en estos 6 segundos y se multiplica por 10. De esta forma se obtiene una frecuencia cardíaca más o menos exacta, ya que no se está contando en un minuto, pero es bastante cercana a la realidad.



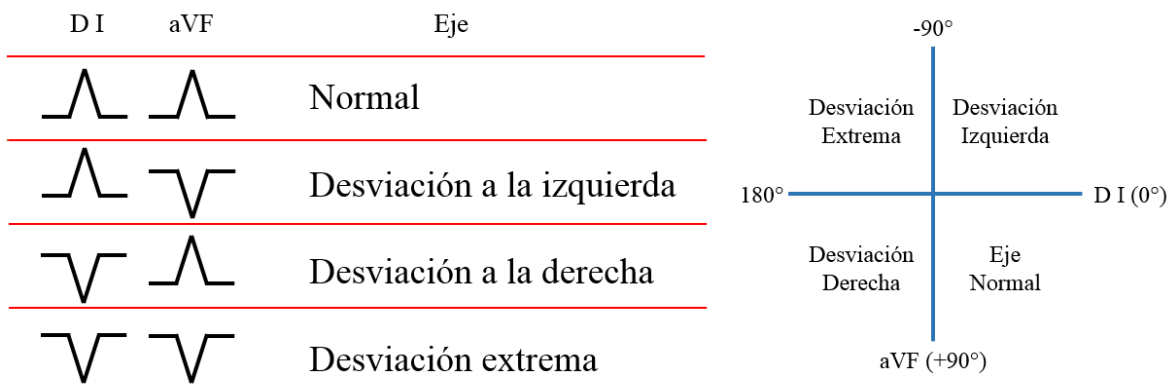
Se trata de un ritmo irregular por no tener ondas P, así como complejos QRS a distancias irregulares. En este trazo de 30 cuadros grandes (6 segundos) se encuentran 9 ondas R. La operación sería $9 \times 10 = 90$. La FC puede aproximarse a 90 lpm.

Eje eléctrico

Una vez obtenido el tipo de Ritmo y la Frecuencia Cardíaca se debe calcular el Eje Eléctrico del corazón (AQRS), el cual es el resultado de la suma de los vectores de despolarización que ocurren en las paredes ventriculares y que normalmente oscila entre los $+90^\circ$ y 0° (algunos lo describen normal hasta -30°) en el plano horizontal. Para hacer el cálculo podemos auxiliarnos de los siguientes métodos.

Existe un método que únicamente nos permite ubicar el eje eléctrico dentro de un cuadrante en un plano cartesiano. Esto se basa en que si una derivada cualquiera es positiva el eje eléctrico se acerca hacia esta, si es isoelectrico se encuentra perpendicular y si es negativo el eje eléctrico se aleja de esta derivada.

Únicamente se debe de visualizar los complejos QRS de DI y aVF y valorar si son predominantemente positivos o negativos. Si se encuentra que ambos son predominantemente positivos el eje se dirigirá hacia abajo y a la izquierda, entre 0° y $+90^\circ$. Si solo uno se encuentra negativo entonces debe haber una desviación del eje a la izquierda o a la derecha y si ambos son negativos revela una desviación extrema.

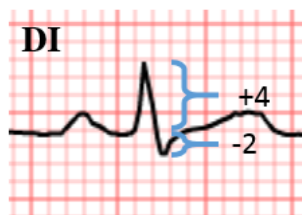


Al segundo método lo denominaremos *del Paralelogramo o del Sistema de Coordenadas*. Este se basa en las derivadas del plano frontal DI y aVF, teniendo como premisa que estas son perpendiculares. Sin embargo, se puede usar con otras derivadas, siempre y cuando sean perpendiculares. Se realiza de la siguiente manera:

1. Contar el valor neto que tiene la onda R en DI y restarle el valor neto de la onda más negativa de esta misma derivada, ya sea Q o S. De esta diferencia se obtiene un número positivo o negativo que se localizará en el eje horizontal de DI (abscisas). Si el número es positivo se pondrá del lado derecho del punto de origen del plano cartesiano (lado positivo), y si este es negativo se pondrá del lado izquierdo.
2. Posteriormente se debe hacer la misma diferencia con las ondas R y S o Q de aVF. Sin embargo, en esta ocasión el número positivo o negativo a localizar será en el plano vertical de aVF (ordenadas). En caso de ser un número positivo se ubicará inferior al punto de origen del plano, y si resulta negativo se ubicará en la parte superior.

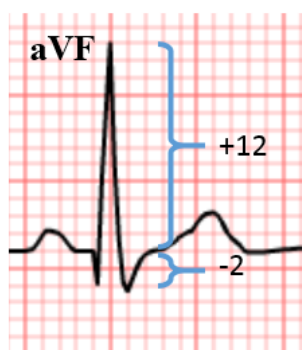
El motivo por el cual la parte positiva de aVF es inferior y no superior al punto de origen del plano cartesiano como normalmente sería, es porque el electrodo positivo de aVF se encuentra en el pie, por lo tanto, la parte positiva se localizará inferior al centro del corazón, el punto de origen en caso del plano cartesiano

3. Una vez localizados ambos puntos en los ejes correspondientes se procederá a marcar 2 líneas que crucen en algún punto del plano cartesiano.
4. Finalmente se trazará una línea desde el punto de origen del plano cartesiano hacia el punto donde ambas líneas se cruzaron y se procederá a medir con un transportador o goniómetro los grados que marca la línea trazada.



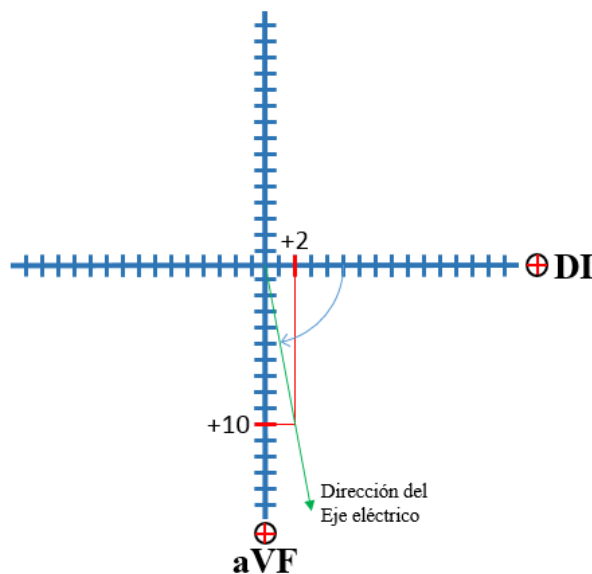
$$+4 - 2 = +2$$

Valor neto: +2



$$+12 - 2 = +10$$

Valor neto: +10

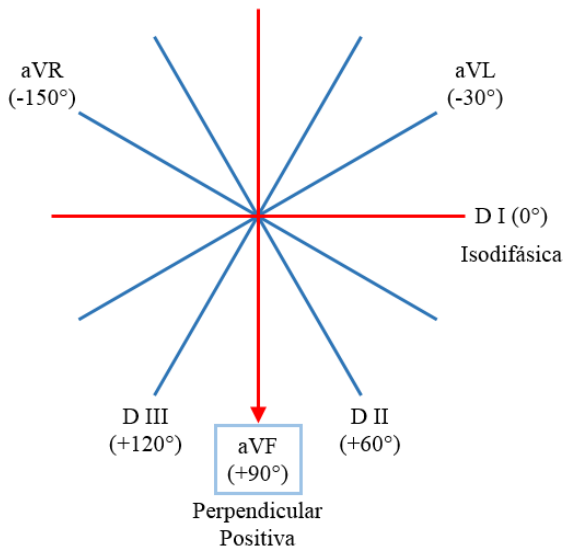
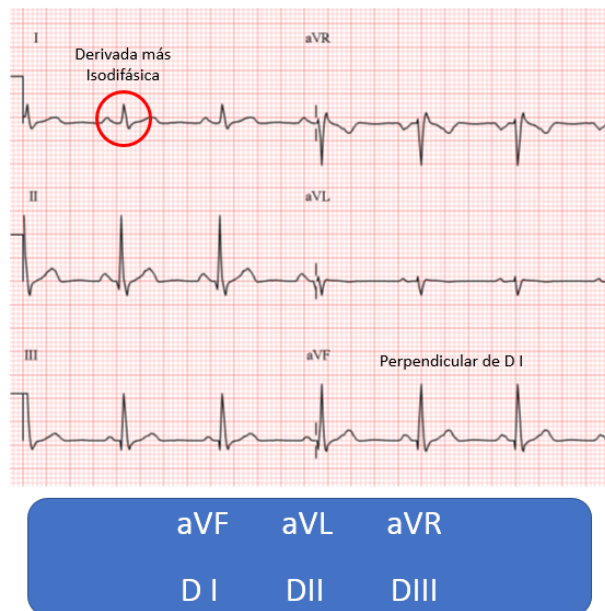


Otro método es denominado de *la Derivada Isodifásica* la cual nos dará un aproximado de la dirección del eje eléctrico basándonos en las derivadas del plano frontal y los grados establecidos para cada una según el sistema hexaxial de Bailey. Este método se basa en que el eje es perpendicular a la derivada con un complejo QRS isodifásico.

Este método se basa una ley que dice que, si en una derivada bipolar se encuentra una deflexión isodifásica, entonces el eje eléctrico se dirige perpendicular a esta, y para definir la dirección a la que se dirige se debe de auxiliar del resto de las derivaciones bipolares.

Consiste en buscar la derivada precordial más isodifásica, es decir, en la que la suma neta de su voltaje positivo y negativo se aproxime más a cero. Posteriormente en el Sistema hexaxial de Bailey se localiza esa derivada y se visualiza su perpendicular correspondiente, ya que es hacia esta a donde se dirige el eje eléctrico. Para determinar hacia qué lado de la derivada perpendicular se dirige el eje eléctrico, esta se debe visualizar en el electrocardiograma y ver si es predominantemente positiva o negativa, en caso de ser positiva entonces se dirigirá hacia la parte positiva de la derivada, y en caso de ser negativa será hacia el otro lado.

Una *perla* que puede ser usada para recordar cuáles son las derivadas perpendiculares correspondientes es usando la nemotecnia *FLoR* y sus 3 hermanos. *FLoR* corresponde a las derivadas unipolares del plano frontal y los 3 hermanos a las bipolares con las que se deben relacionar: aVF: DI, aVL: DII y aVR: DIII. En caso de no encontrar una derivada isodifásica se debe usar alguno de los métodos descritos previamente.



En este caso podemos ver que la derivada más isodifásica es D I y su perpendicular es aVF, la cual es predominantemente positiva, por lo tanto, el eje se debe de encontrar muy cercano a $+90^\circ$.

Por fines de practicidad y relevancia clínica, en la mayoría de los casos sólo se calcula el Eje Eléctrico de los ventrículos. El Eje Eléctrico auricular es posible calcularlo de una forma parecida al método usado para el de los ventrículos, pero en lugar de usar el complejo QRS se usarán las ondas P. Lo mismo aplica para la onda T.

Ondas, segmentos e intervalos del EKG

Sólo después de evaluar y calcular el tipo de ritmo, la frecuencia cardíaca y el eje eléctrico del corazón se puede pasar a valorar las ondas, segmentos e intervalos del EKG. Para esto es importante también conocer qué representa cada uno de estos para poder dominar las patologías o alteraciones que se puedan encontrar.

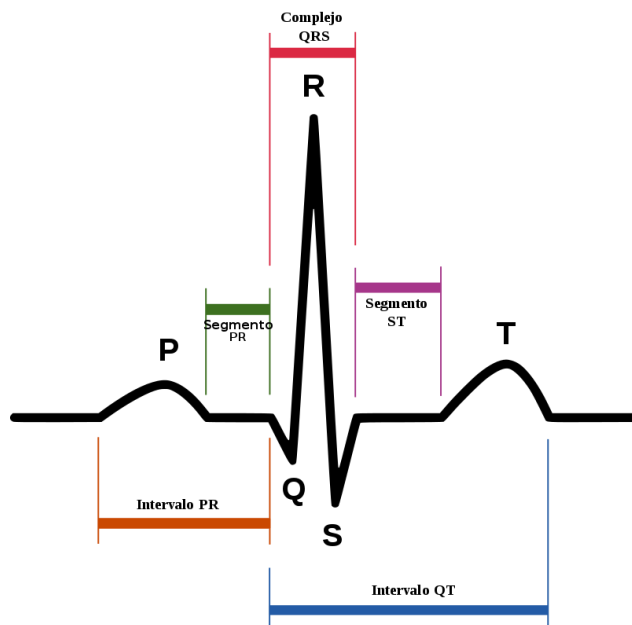
Primero se deben definir cada uno de estos elementos:

- Onda: deflexión positiva (hacia arriba) o negativa (hacia abajo) con respecto a la línea isoelectrica. Representan despolarización o repolarización miocárdica. En el EKG encontramos las ondas P, Q, R, S T y U.

- Segmento: Línea isoelectrica entre dos ondas. Representa una pausa o retraso de la actividad eléctrica. En el EKG encontramos el PR y el ST.
- Intervalo: Combinación de un segmento con una o más ondas. Las más significativas son el intervalo PR y el QT
- Complejo: unión de varias ondas. En el EKG se encuentra el complejo QRS
- Línea isoelectrica: línea horizontal que representa ausencia de actividad eléctrica. Esta línea la encontramos entre la onda T y la onda P (siempre y cuando el paciente no presente una taquicardia que acorte esta línea hasta hacerla desaparecer)

A groso modo podemos enlistar de la siguiente manera algunos componentes que podemos encontrar en el electrocardiograma:

- Onda P: representa la actividad auricular.
- Intervalo PR: desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS. Representa el tiempo de conducción aurículo-ventricular
- Segmento PR: se encuentra entre el final de la onda P y hasta antes del inicio del complejo QRS. Pausa fisiológica que se genera cuando la actividad eléctrica pasa a través del nodo AV y las ramas del haz de His hasta antes de despolarizar los ventrículos.
- Complejo QRS: refleja la despolarización que se lleva a cabo en los ventrículos.
- Onda T: representa la repolarización ventricular.
- Intervalo QT: va desde el inicio del complejo QRS hasta el final de la onda T. Mide la despolarización y la repolarización ventricular. Varía con la frecuencia cardíaca y es inversamente proporcional a esta. Se corrige mediante la fórmula de Bazett.
- Segmento ST: desde el final del complejo QRS hasta antes del inicio de la onda T
- Onda U: suele aparecer después de la onda T y es de significado incierto
- Punto J: punto entre el final del complejo QRS y el segmento ST.
- Intervalo RR: desde el vértice de una onda R hasta la siguiente, sólo en caso de ritmo regular.



Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Intervalo_QT

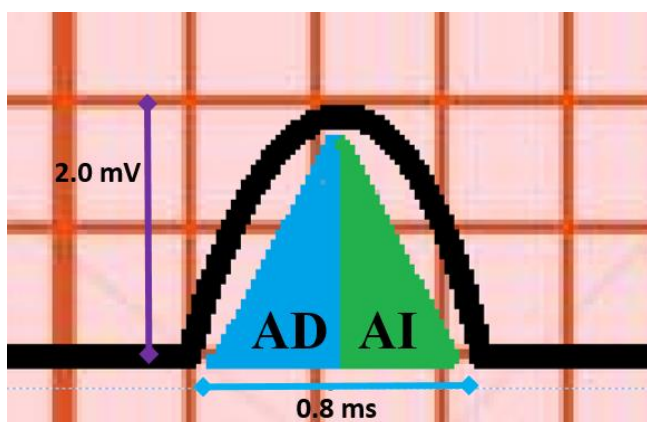
Onda P

Como ya se mencionó anteriormente, la activación del sistema eléctrico del corazón comienza en el nodo SA, y de ahí se transmite hacia abajo, anterior y de derecha a izquierda a través de los ases internodales y las paredes auriculares hasta llegar al nodo AV. El paso de la despolarización a través de los miocardiocitos auriculares se representa en el EKG como la onda P, es decir que es la representación electrocardiográfica de la activación auricular.

Es la primera onda que aparece normalmente en el EKG. Su morfología se aprecia mejor en DII, DIII y aVF, en las cuales debe ser positiva, y negativa en aVR. Debe de ser de 2.5 mV y durar 0.10 ms, es decir 2.5 X 2.5 mm en el papel milimétrico, con forma redondeada y guardar simetría entre sus partes ascendente y descendente. Una excepción a la regla puede llegar a encontrarse en V1, donde la podemos encontrar bifásica (tanto positiva como negativa) sin que esto represente anormalidad. Su eje normal va de $+30^\circ$ ó $+40^\circ$ hasta $+70^\circ$ aproximadamente y se puede medir con los mismos métodos usados para el AQRS.

El potencial generado por la repolarización auricular no es visible en EKG ya que este se encuentra oculto por el complejo QRS debido a su bajo voltaje.

La primera mitad de la onda P, la parte ascendente, corresponde a la actividad de la aurícula derecha, y la segunda mitad, la descendente, corresponde a la actividad de la aurícula izquierda. Una alteración con la que se pone en evidencia esto es que en caso de tener una hipertrofia auricular derecha la onda P aumentará en su voltaje (>2.5 mV) y su duración será normal. Por el contrario, si hay una hipertrofia auricular izquierda el voltaje se mantendrá normal pero la duración aumentará (>0.10 ms) y en ocasiones podemos llegar a encontrar una muesca a la mitad de la onda como si una letra M, denominándose *onda P bimodal* u *onda P mitral*, ya que esta hipertrofia de la aurícula izquierda puede ser secundaria a una alteración en la válvula mitral.



En la imagen se muestra una onda P de amplitud y duración normal. Además, se esquematiza la parte ascendente correspondiente a la aurícula derecha (AD) y la descendente de la aurícula izquierda (AI)

Segmento PR

Cuando el impulso eléctrico llega al nodo AV sufre una pausa fisiológica con una duración inversamente proporcional a la frecuencia cardíaca (>100 lpm) dentro de los límites normales. En el EKG se interpreta como una línea isoelectrónica entre la onda P y la onda Q o R debido a que la actividad es de tan bajo voltaje que no se alcanza a registrar por el electrocardiógrafo. Esta pausa es de suma relevancia para dar tiempo a que la despolarización eléctrica se propague por todos los miocardiocitos de las aurículas y permita la contracción auricular completa para que la sangre pueda pasar a los ventrículos y haya un acoplamiento mecánico entre las aurículas y los ventrículos. Sin embargo, para valorar alteraciones en la conducción eléctrica entre las aurículas y los ventrículos en la práctica diaria es más usado el intervalo PR

Intervalo PR

Es la unión de la onda P con el segmento PR. Representa desde la salida del estímulo eléctrico del nodo sinusal hasta antes de la salida del estímulo del nodo AV hacia las ramas del haz de His.

Se debe de medir desde el inicio de la onda P hasta antes del complejo QRS y normalmente debe durar entre 120 y 200 ms (de 3 a 5 cuadros pequeños). Las alteraciones que podemos llegar a encontrar son aumento o reducción de su duración.

En caso de aumento mayor a 200 ms se denominará bloqueo aurículo-ventricular. Existen 3 tipos de bloqueos AV: los de primer grado, los de segundo grado que se dividen en tipo Mobitz I y Mobitz tipo II, y finalmente los de tercer grado. Si la duración disminuye a menor de 120 ms entonces se señalará que se trata de un síndrome de preexcitación y son dependientes de una vía anómala que produce una conducción AV sin el retraso fisiológico del nodo AV. Existen 2 principales: el Síndrome de Wolf-Parkinson-White y Long-Ganong-Levin.

Complejo QRS

Es el conjunto de la onda Q, la onda R y la onda S. juntas representan los vectores de despolarización ventricular o, dicho de otra forma, representan la actividad eléctrica ventricular. A este se le debe valorar eje, duración, voltaje, morfología, progresión de la onda R en las derivaciones precordiales y tiempo de inicio de la deflexión intrínseca.

El eje eléctrico del complejo QRS es el mismo que se mide cuando valoramos el eje eléctrico del corazón, el cual se vio previamente.

Su duración normal del complejo va de 0.08 a 0.12 s. Si este llegara a ser mayor que el valor máximo entonces se podría pensar en un bloqueo de rama del haz de His, un ritmo con conducción aberrante, un ritmo ventricular o de marcapasos.

El voltaje refleja el tamaño de la masa miocárdica, el cual puede aumentar de forma proporcional al tamaño de los ventrículos, así como sucede en las aurículas. Esta alteración se valorará en la onda R de la derivación precordial V6 y la onda S en V1. Si la primera es mayor de 25 mV en V5 y V6 entonces nos auxiliaremos del índice de Sokolow y/o de Lewis para descartar o confirmar la sospecha. Esta alteración se debe a que estas ondas son producidas por el segundo vector de despolarización ventricular, el de mayor tamaño a este nivel.

$$\text{Índice de Sokolow} = S \text{ de V1} + R \text{ de V5 o V6}$$

$$\text{Índice de Lewis} = (R \text{ de DI} + S \text{ de DIII}) - (R \text{ de DIII} + S \text{ de DI})$$

Por otro lado, se sospechará de bajo voltaje cuando la suma de valores netos de los complejos QRS en DI, DII y DIII no supere los 15 mm.

La onda Q la debemos valorar por reparado ya que esta no debe ser mayor a $\frac{1}{4}$ de la onda R y no mayor de 0.04 s, ya que si no fuera así nos hablaría de alguna patología.

Dentro de la morfología se debe identificar qué tipo de ondas se encuentran como parte del complejo. En caso de encontrar alguna onda con tamaño menor a 5 mm (0.5 mV) podemos referirnos a ella con una letra minúscula (qrs), y si es mayor a este tamaño se puede designar con una letra mayúscula (QRS).

De igual forma podemos llegar a encontrar complejos que en donde no se presentan todas las ondas, por ejemplo, se denominan RS a complejos donde no se encuentra una onda Q y las ondas R y S son de más de 5 mm. De la misma manera un complejo QR sería donde no se encuentra onda S e igual que en el caso anterior las ondas son de más de 5 mm. Lo mismo pasaría en un complejo QS.

Así mismo podemos hallar complejos en donde se juntan los dos conceptos anteriores. Por ejemplo, un complejo rS tendría una onda r pequeña y una S profunda. Otros ejemplos pueden ser complejos qRs, QrS, qRS, etcétera.

La morfología del QRS que podemos encontrar en las derivaciones precordiales de un electrocardiograma normal sería la siguiente:

- V1 y V2: complejo rS
- V3 y V4: complejo RS (complejo isodifásico)
- V5 y V6: complejo qRs

Esto es debido a la dirección de los vectores de despolarización (principalmente el segundo) y a la magnitud de los mismos. Esto demuestra la progresión de voltaje en aumento de la onda R y que aumento conforme se mueven de derecha a izquierda de V1 hacia V6. Es decir, hay una transición de predominio de la onda S a la onda R. Esto da lugar a la denominada *Transición de complejos* o *Zona de Transición*, la cual es la identificación de las derivadas precordiales en donde la relación de las ondas R y S cambia. En otras palabras, la onda R de ser pequeña (derivadas V1 y V2) se vuelve grande; y viceversa con la onda S. Generalmente esta zona la podemos ubicar en las derivadas V3 y V4 las cuales son más isoeléctricos que el resto.

Finalmente, el tiempo de inicio de la deflexión intrínsecoide (TID_I) es el tiempo en el cual el impulso eléctrico pasa del endocardio al epicardio, se activa la contracción ventricular y se registra en el electrodo explorador. Este se mide desde el inicio del complejo QRS

hasta el punto más alto de la onda R. Normalmente debe medir menos de 0.03s en V1 y menos de 0.045 ó 0.05 en V5 y V6.

Intervalo QT

Es el intervalo que abarca desde el inicio del complejo QRS hasta el final de la onda T (excluye a la onda U en caso de existir en el registro). Representa la suma de la despolarización y la repolarización ventricular y varía con la frecuencia cardíaca, siendo inversamente proporcional a esta, por lo que es necesario hacer un cálculo con la fórmula de Bazett para corregirlo:

$$\text{Intervalo QTc} = \frac{\text{Intervalo QT (seg.)}}{\sqrt{\text{Intervalo RR (seg.)}}}$$

NOTA: para sustituir los datos en la fórmula, estos deben de estar en segundos, por lo que se deben medir los valores en milímetros y multiplicarlos por 0.04

Normalmente mide de 350 a 440 ms en hombres y hasta 450 ms en mujeres. Una duración mayor se denomina como un intervalo QT prolongado, el cual puede ser de etiología genética o adquirida, predisponiendo a arritmias graves y muerte súbita. Incluso en algunas ocasiones se puede relacionar con cardiopatías congénitas.

Segmento ST y Punto J

El segmento ST es aquel que se encuentra entre el final del complejo QRS y antes de la onda T, el cual correspondería con la fase de meseta del potencial de acción que se revisó con anterioridad. Normalmente debe ser isoelectrico tomando como referencia el segmento PR o el TP (que va desde el final de la onda t hasta antes de la onda P). Sin embargo, podemos encontrarlo con una elevación o descenso normal si no es mayor de 1 mm con respecto a la línea isoelectrica, excepto en V1 y V2, donde podemos llegar a encontrarlo con una variante de hasta 2 mm.

El punto de unión del complejo QRS con el segmento ST es el denominado Punto J. Por regla general se encuentra al mismo nivel del segmento ST y en caso de alguna patología hablaríamos de elevación o descenso del punto J.

Onda T

Como lo mencionamos anteriormente, representa la repolarización ventricular. Debe ser positiva en DI, DII, V4 a V6, y negativa en aVR (en ocasiones también en V1, DIII y aVL).

De morfología siempre asimétrica, con una primera parte, o rama ascendente, lenta y una segunda parte, o rama descendente, rápida.

Si revisamos el proceso del potencial de acción cardíaco, recordaremos que la repolarización que sucede después de la despolarización va en el mismo sentido en el que ocurrió la primera. Sin embargo, en la repolarización ventricular el fenómeno es inverso, es decir de subendocardio a subepicardio. Esto se debe a que el subendocardio es irrigado por arterias más pequeñas que las del subepicardio, por lo tanto, durante la sístole ventricular estas arterias de pequeño calibre son comprimidas y colapsan fácilmente, generando cierto grado de isquemia fisiológica. Esta isquemia es la que produce que la despolarización tenga sentido de subepicardio a subendocardio, y no en sentido contrario como se esperaría, ya que siempre en la célula con isquemia la repolarización sucede de la zona sana hacia la isquémica.

Bajo esta premisa, podemos mencionar que se deben diferenciar dos tipos de alteraciones en la repolarización: las primeras son secundarias a alteraciones de la despolarización, y las segundas son por trastornos primarios del potencial de acción.

En cuanto al voltaje, casi siempre es menor que el del complejo QRS, pero con mayor duración que este. La altura máxima que podemos esperar es de aproximadamente 0.6 mV en las derivaciones del plano frontal, y no más de 1 mV en las derivaciones precordiales. En caso de encontrar la onda con morfología negativa y profunda, o con ramas simétricas podríamos pensar en alguna patología.

Además, a esta onda también se le puede calcular el eje eléctrico, el cual se encuentra entre 0 y +70°.

Onda U

El origen y significado de esta onda es incierto. Se puede llegar a encontrar después de la onda T y es raro encontrarla en los registros. Se ha descrito como una onda de bajo voltaje, no más de 1 mV, y con la misma polaridad que la onda T.

En ocasiones se puede llegar a encontrar en hipocalemia, hipomagnesemia, bradicardia o cardiopatía isquémica. En caso de hipertrofia del ventrículo izquierdo la podemos llegar a encontrar, pero con polaridad negativa

BIBLIOGRAFÍA

Schucht, Jessica. *The Cardiac Conduction System: Clinical Electrophysiology and Cardiac Ablation*. Liberty University. 2011

De Micheli, et al. *Revisión de temas cardiológicos. El círculo torácico en la exploración eléctrica del corazón*. Medigraphic. Archivos del Instituto de Cardiología de México/ Instituto Nacional de Cardiología Ignacio-Chávez. Vol. 70 marzo-abril: 187-196, 2000

Vega Picón, Guillermo (2012). *Diseño y construcción de un electrocardiógrafo de 12 derivaciones para el análisis de señales cardiacas*. (Tesis de licenciatura inédita) Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Uribe, William, et al. *Electrocardiografía básica*. Grupo CES, Medellín Colombia.

Chávesa Gonzáles, E (2014). El intervalo QT, su origen e importancia del conocimiento de fórmulas para su medición en diferentes circunstancias clínicas. *CorSalud Ene-Mar*; 6(1): 79-85.

Mirvis D.M., Goldberger A. L. (2015). Electrocardiography. En Mann D. L. (Editor), et al, Braunwald's Heart Disease: A Textbook of Cardiovascular Medicine (pp. 126 – 167) EE.UU. Elsevier

Pozas Garza, G. (2011). El electrocardiograma normal. *Avances*. Volumen 8 (25), pp 35 – 39.

De Micheli, A. (2001). Utilidad del análisis vectorial del electrocardiograma. *Archivos de cardiología de México*. Volumen 71 (3), pp. 237 – 240.

Morham, D. E. (2007). *Lange Fisiología cardiovascular* (6° edición). Distrito Federal, México. Mc Graw Hill.

Bayes de Luna, A. (2012). *Electrocardiografía Clínica* (7° edición). Barcelona, España. Publicaciones Permanyer.

Hall, J. E. (Editor) (2011). *Guyton y Hall. Tratado de Fisiología médica* (12° edición). Barcelona, España. Editorial Elsevier.

Castellano, C. (2004). *Electrocardiografía clínica* (2° edición). Madrid, España. Editorial Elsevier.

Constanzo, L. S. (2014). *Fisiología* (5° edición). Barcelona, España. Editorial Elsevier.

Vélez Rodríguez, D. (2011). *Ecg* (2° edición). Madrid, España. Editorial Marbán.

Guadalajara Boo, J. F. (2006). *Cardiología* (6° edición). Distrito Federal, México. Editorial Méndez Editores.