

ELECTROCARDIOGRAFÍA BÁSICA

William Uribe, Mauricio Duque, Luis Eduardo Medina, Jorge Marín, Jorge Enrique Velásquez y Julián Aristizábal

Electrofisiólogos grupo CES Cardiología, Medellín, Colombia, S.A.

Profesores Universidad CES y Universidad Pontificia Bolivariana

LA CONCEPCIÓN DE LA ELECTROCARDIOGRAFÍA

Desde hace muchos años se sabía que la actividad cardíaca estaba relacionada con una corriente eléctrica mensurable. En 1887, Ludwig y Waller, utilizando el electroscopio capilar fueron capaces de registrar esta fuerza electromotriz desde la región precordial. Posteriormente, el descubrimiento del galvanómetro de cuerda en 1903, por Guillermo Einthoven, permitió la obtención del electrocardiograma (ECG). El galvanómetro de cuerda está constituido por un poderoso electroimán entre cuyos polos se encuentra suspendida una fina cuerda de cuarzo, revestida con platino, plata u oro, con el fin de permitir la conducción de una corriente eléctrica.

Se denomina campo magnético a un campo de fuerza constante originado por un electroimán, en el que la fuerza siempre se dirige desde el polo norte del electroimán hacia el polo sur (**Ver Fig. 1**). La corriente que se origina en el corazón se puede conectar, a través de electrodos de superficie, a la cuerda del galvanómetro con lo cual se crea otro campo de fuerza magnética. Esta fuerza se orienta alrededor del eje longitudinal de la cuerda y sigue una dirección a favor o en contra de las agujas del reloj (vista desde el extremo inferior de la cuerda), de acuerdo a la dirección del flujo de la corriente en dicha cuerda. El campo de fuerza que rodea a la cuerda es un campo magnético de fuerza variable y los movimientos de la cuerda dependerán de las relaciones recíprocas que existan entre este campo y el originado por el electroimán (**Ver Fig. 1**).

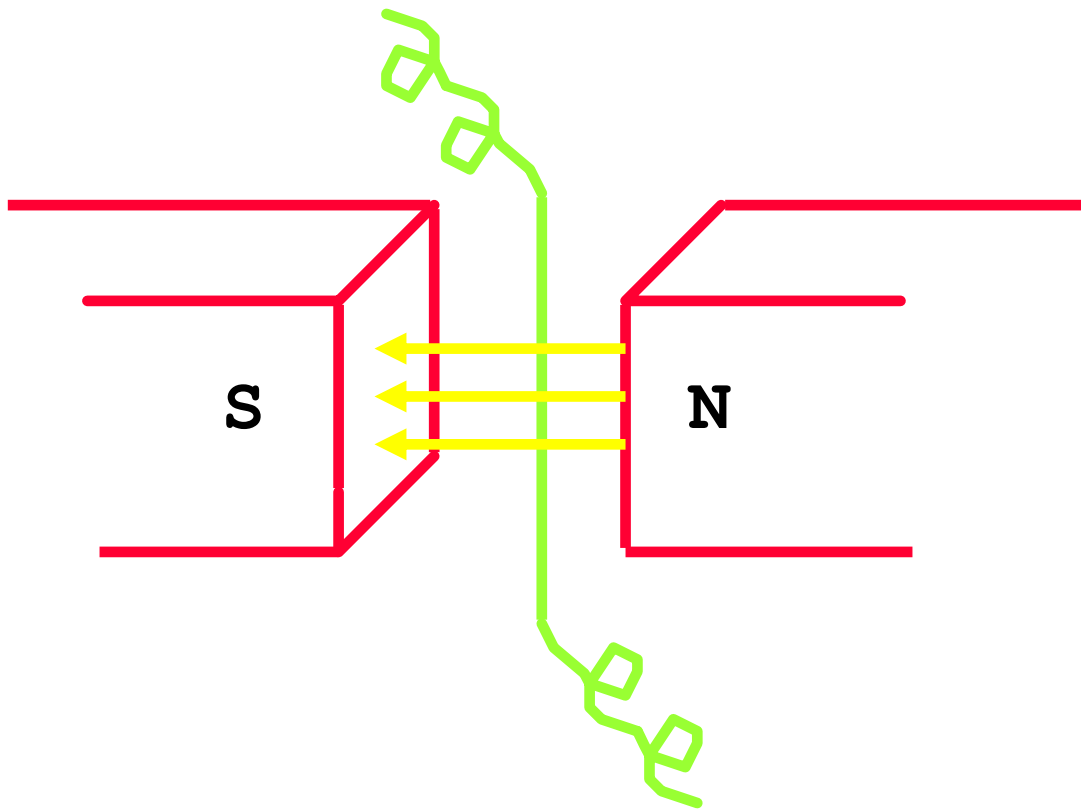


Figura No. 1 Galvanómetro de cuerda: Electroimán. Note que la fuerza se dirige desde el polo norte hacia el polo sur.

El electrocardiograma es un registro que refleja la actividad eléctrica del corazón, realizado con la ayuda de un aparato conocido con el nombre de electrocardiógrafo. El electrocardiógrafo es un dispositivo diseñado para mostrar la dirección y magnitud de las corrientes eléctricas producidas por el corazón. Debido a que la corriente fluye en múltiples direcciones del músculo cardíaco, este aparato obtiene la resultante de todos los vectores que se generan en un momento dado mediante el uso de electrodos (contactos eléctricos) colocados en diferentes partes del cuerpo sobre la piel. El electrodo sobre la piel está conectado a otro electrodo a través del electrocardiógrafo, mediante un galvanómetro se mide la corriente que pasa por el aparato y se transmite directamente al inscriptor (estilo) para registrar las ondas y complejos que reciben en conjunto el nombre de **Electrocardiograma de Superficie**.

EL VOLUMEN CONDUCTOR

El volumen conductor es un medio que permite la conducción de la electricidad en las tres dimensiones y un buen ejemplo es un gran recipiente que contiene solución salina fisiológica. (Ver Fig. 2). El cuerpo humano, en virtud de la constitución química de sus fluidos es esencialmente un volumen conductor cuyos límites están constituidos por la superficie del cuerpo; por esta razón la corriente generada en cualquier parte del cuerpo es capaz de llegar a cualquier otro lugar del mismo. Desde el punto de vista experimental, si se introducen en un volumen conductor dos electrodos y se conectan a una batería, será posible hacer pasar una corriente eléctrica a través del volumen conductor. Alrededor de uno de los electrodos, el ánodo, se crea un campo de fuerza positivo y alrededor del otro electrodo, el cátodo, un campo

negativo (**Ver Fig. 3**). Para explorar estos campos y limitar su extensión, se utiliza un galvanómetro que se conecta a un punto distante o electrodo “**indiferente**” y a un electrodo móvil o “**explorador**”. El electrodo indiferente (p) se coloca en un punto alejado del volumen conductor, de modo que los campos eléctricos producidos por la batería ejerzan poca o ninguna influencia sobre él. El electrodo explorador (P) se va desplazando cerca de los electrodos conectados a la batería con el fin de delimitar los campos de potencial eléctrico alrededor de ellos. Si el electrodo explorador se coloca cerca del polo positivo, obtendremos en el galvanómetro una desviación dirigida hacia arriba o positiva (**Ver Fig. 3**); en cambio si se coloca en las proximidades del polo negativo, la aguja del galvanómetro se desviará hacia abajo, siendo por lo tanto una desviación negativa (**Ver Fig. 4**).

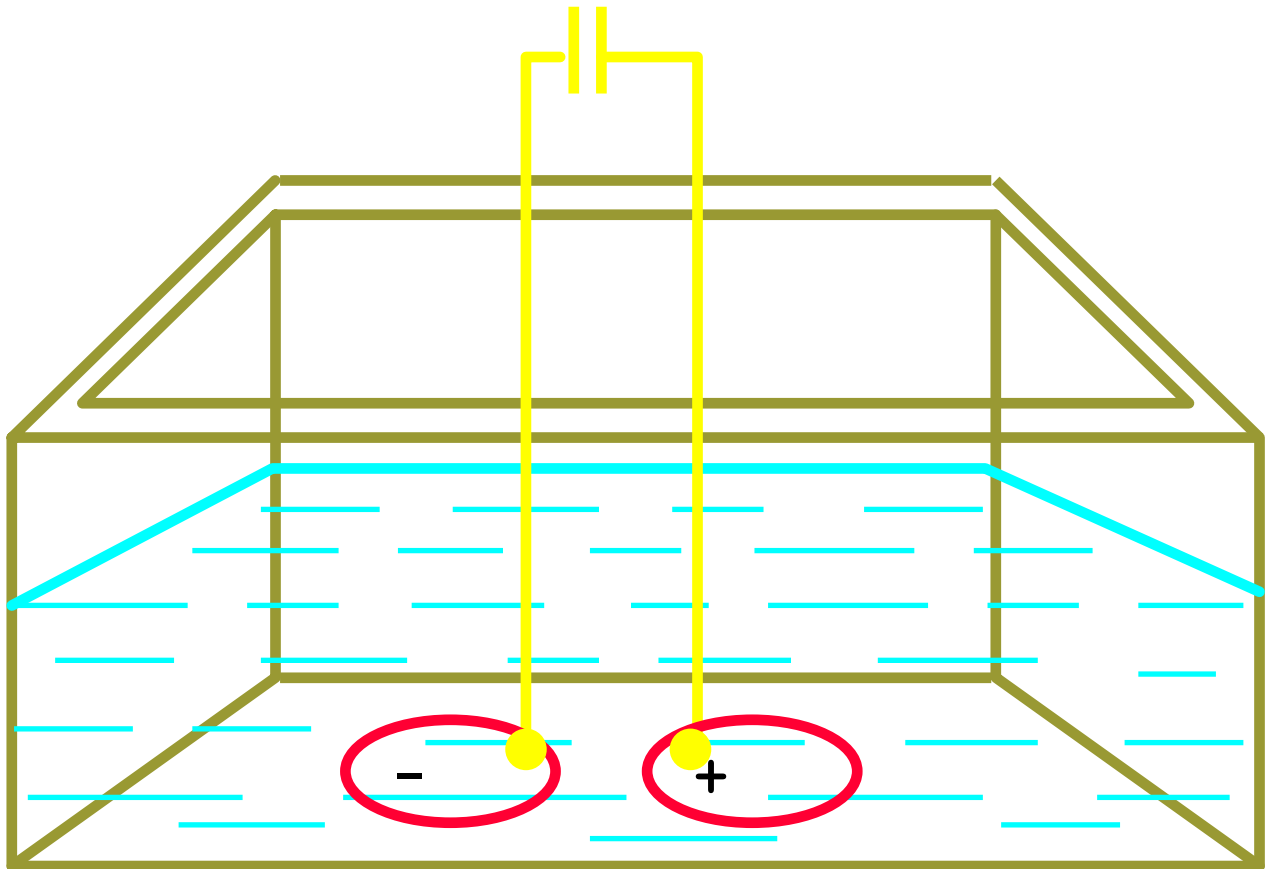


Figura No. 2. Volumen conductor. Recipiente con solución salina fisiológica y dos electrodos conectados a una batería.

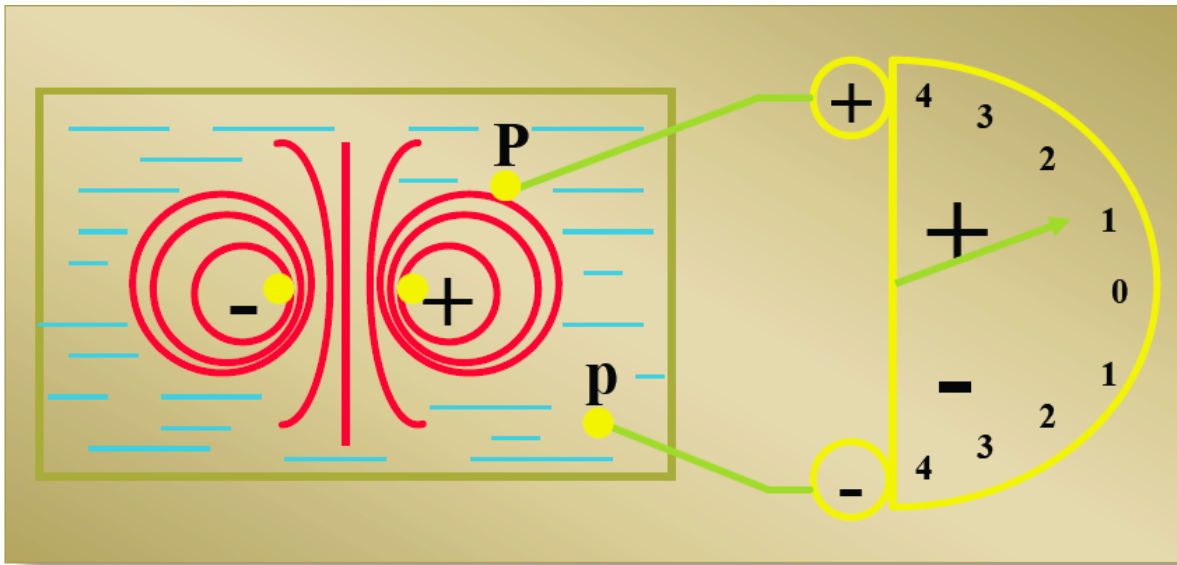


Fig. No. 3. Campos de fuerza y electrodo explorador cerca del polo positivo. Note que la aguja del galvanómetro se dirige hacia arriba (inscribe una deflección positiva).

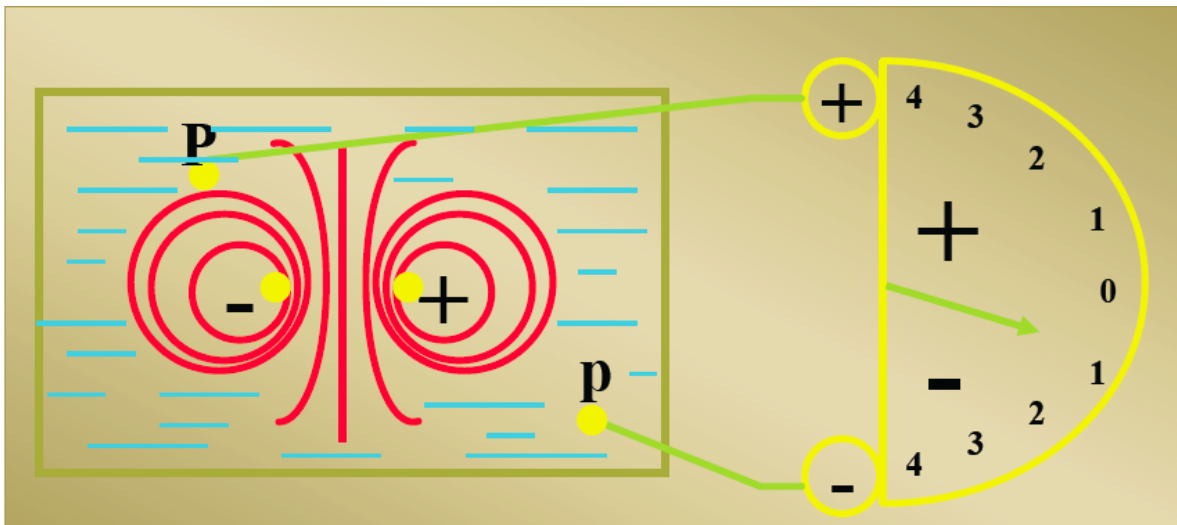


Fig. No. 4. Electrodo explorador cerca del polo negativo. Note que la aguja del galvanómetro se dirige hacia abajo (inscribe una deflección negativa).

Si se aplican los anteriores conceptos al registro electrocardiográfico podemos decir que el inscriptor de un electrocardiógrafo se mueve por el galvanómetro. El galvanómetro es un medidor de corriente que pivota una aguja adelante y atrás, dependiendo de la dirección de la corriente que pasa a través suyo. Este movimiento de la aguja del galvanómetro es directamente responsable del movimiento ascendente-descendente del inscriptor. El inscriptor está confeccionado para pivotar hacia arriba si la corriente eléctrica fluye en una dirección a través de la derivación, y hacia abajo si la corriente fluye en la dirección opuesta (**Ver Fig. 3 y 4**). Los ingenieros han designado por convención como positivo, a aquel electrodo que

produce una deflexión positiva (hacia arriba) en el ECG cuando una corriente (vector) se acerca hacia él y que produce una deflexión negativa (hacia abajo) cuando se aleja de él (**Ver Fig. 5**).

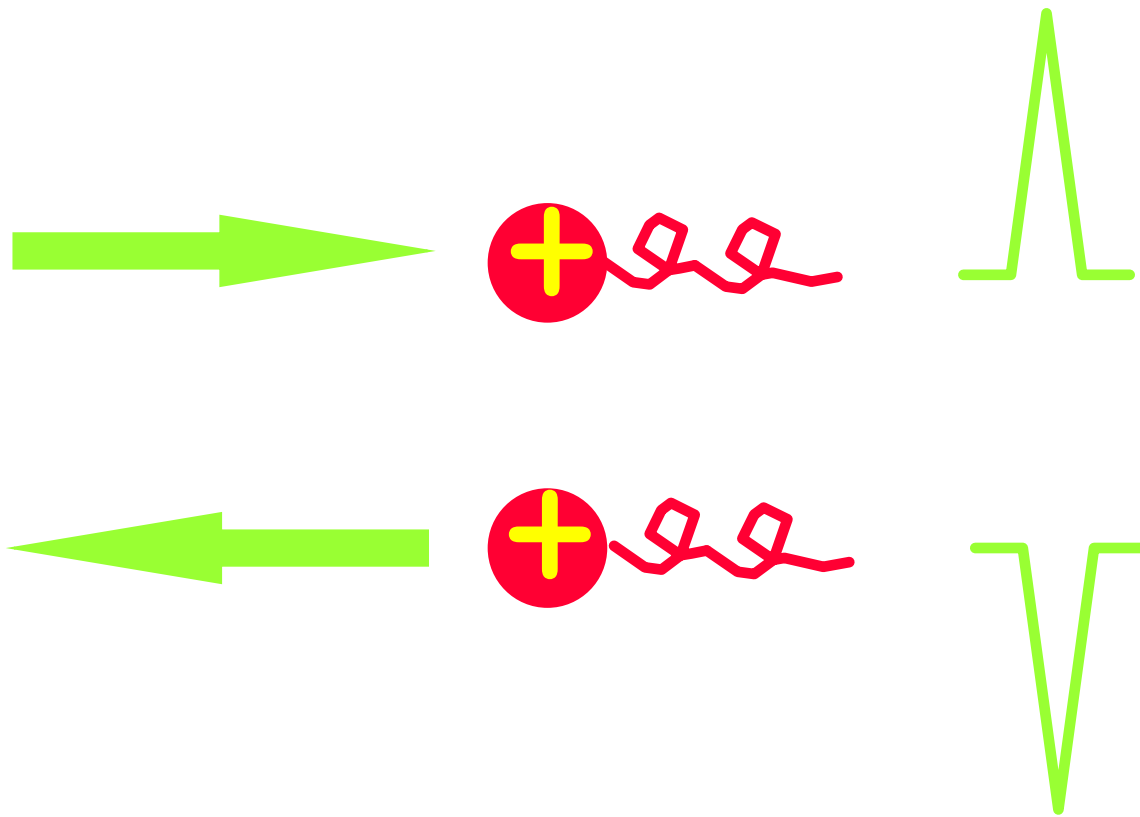


Figura No. 5. Electrodo positivo. Inscribe una deflexión positiva cuando el vector se dirige hacia él y negativa cuando se aleja. El vector (la flecha) representa el tamaño y la dirección de la corriente eléctrica.

LAS DERIVACIONES

La finalidad de una derivación electrocardiográfica es medir la corriente que va en la dirección marcada por una línea recta que une los electrodos utilizados. (**Ver Fig. 6**)

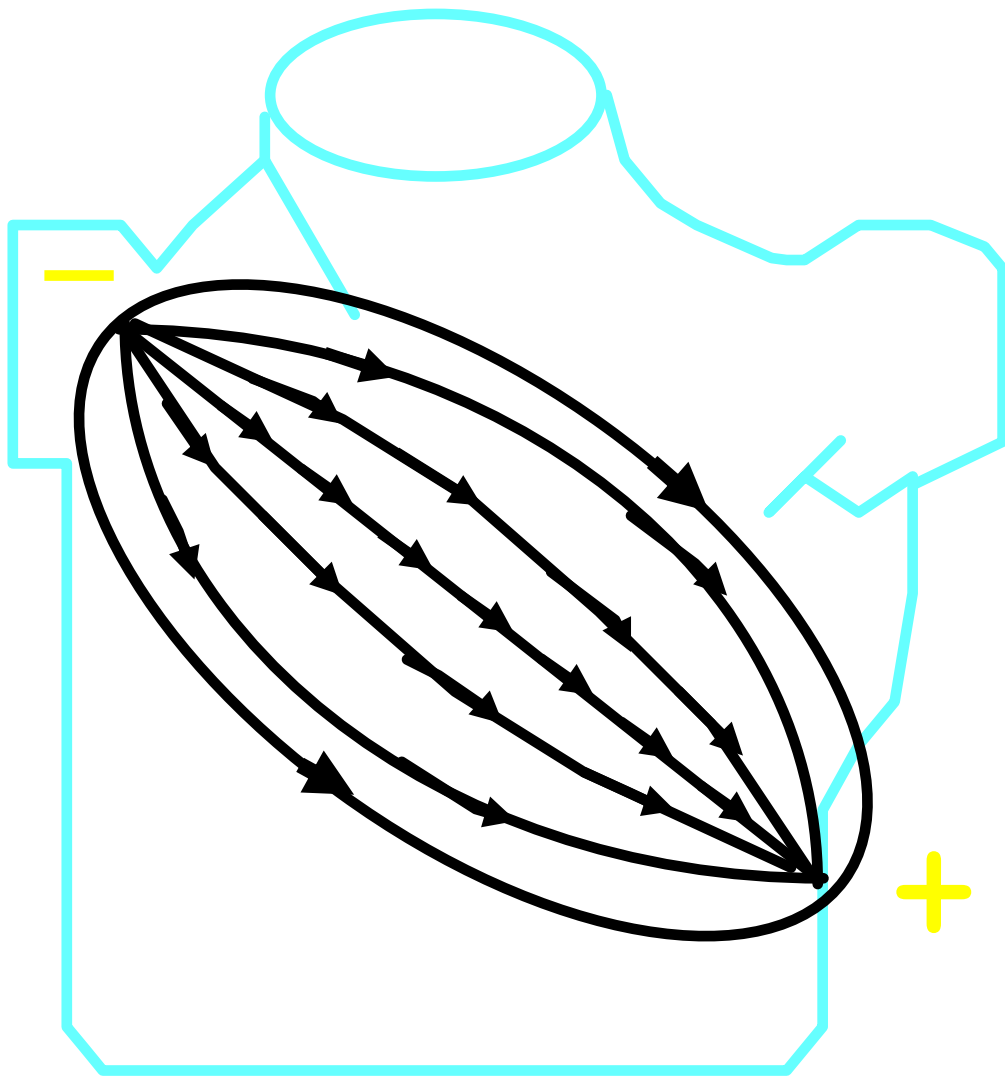


Figura No. 6. Derivación DII. Las flechas muestran la dirección de la corriente que evalúa esta derivación. El número mayor de flechas representa las áreas de mayor influencia de la corriente eléctrica sobre la derivación (este concepto se aplica para todas las derivaciones).

Derivaciones bipolares: En una derivación bipolar de las extremidades se coloca un electrodo positivo en una extremidad y uno negativo en otra, midiendo la diferencia de potencial entre ambos. Las derivaciones bipolares de las extremidades son: **DI, DII y DIII** (Ver Fig. 7).

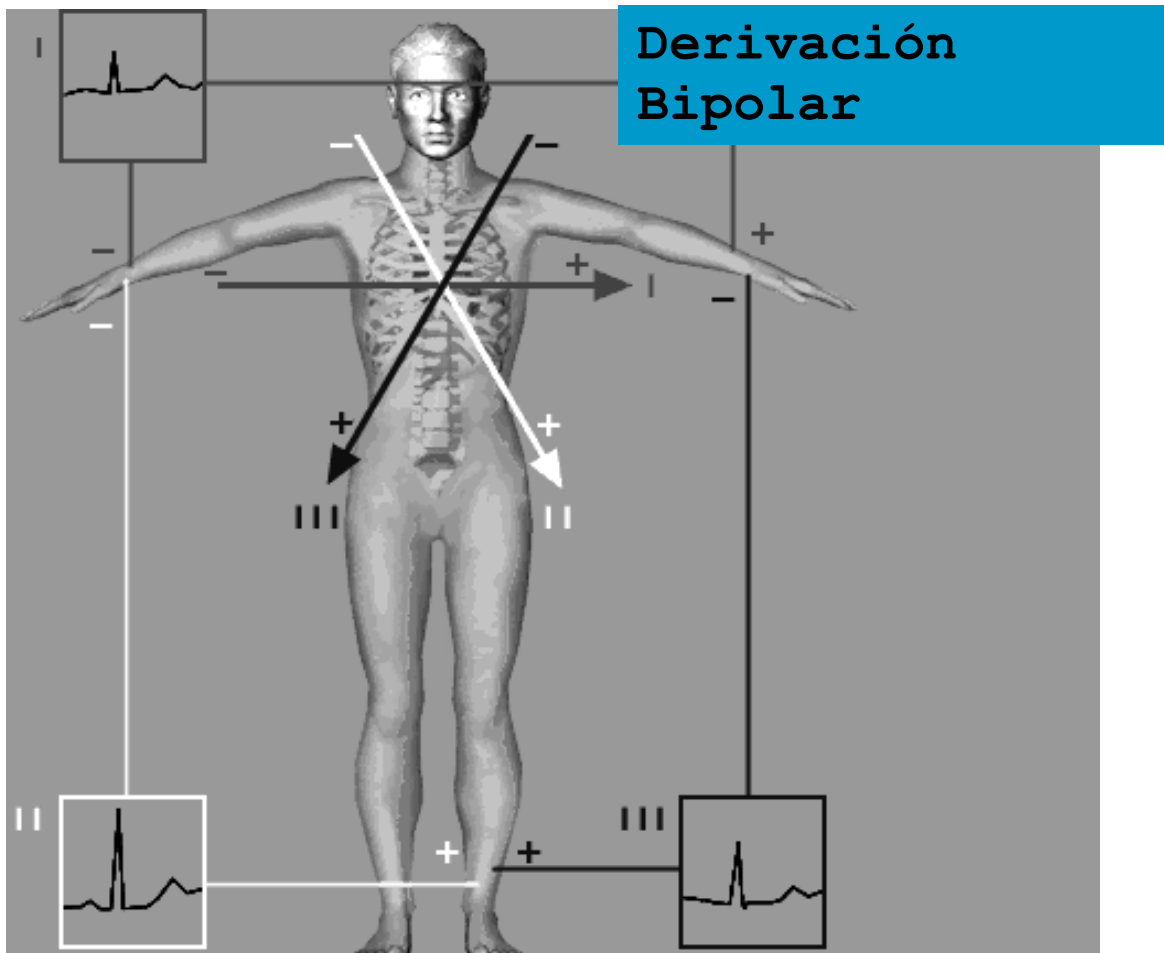


Figura No. 7. Derivaciones bipolares DI, DII y DIII. Miden la diferencia de potenciales entre el electrodo positivo y negativo de cada derivación.

Derivaciones unipolares de las extremidades: Fueron ideadas por Frank Wilson en 1934 con el fin de medir la fuerza eléctrica absoluta de un electrodo positivo (+) en el cuerpo. Para esto se necesita que el otro electrodo sea de potencial cero (0), y esto se logró uniendo los cables de las extremidades correspondientes a los electrodos negativos de tal manera que se anulen sus fuerzas respectivas. Estas derivaciones unipolares de las extremidades se llamaron derivaciones **V** y a la que va de la unidad central (en donde están unidos los electrodos negativos) al brazo izquierdo se le llamó **VL** (L, Left), al brazo derecho **VR** (R, Right) y a la pierna izquierda **VF** (F, Foot). Debido a que estos potenciales deben ser amplificados (porque son de muy bajo voltaje) se agregó la letra **a** (a, augmented) al principio (**Ver Fig. 8,9 y 10**).

aVL

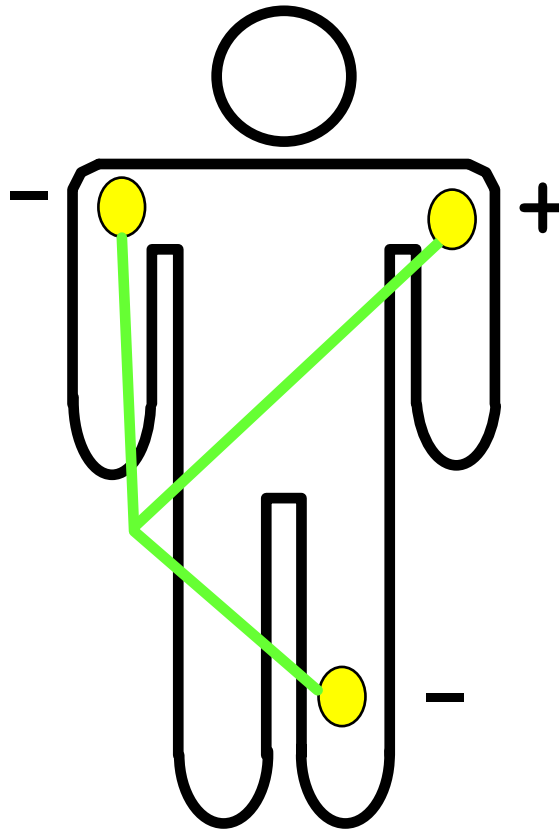


Figura No. 8.
anulan entre si.

Derivación aVL. La unidad central une los electrodos negativos que se

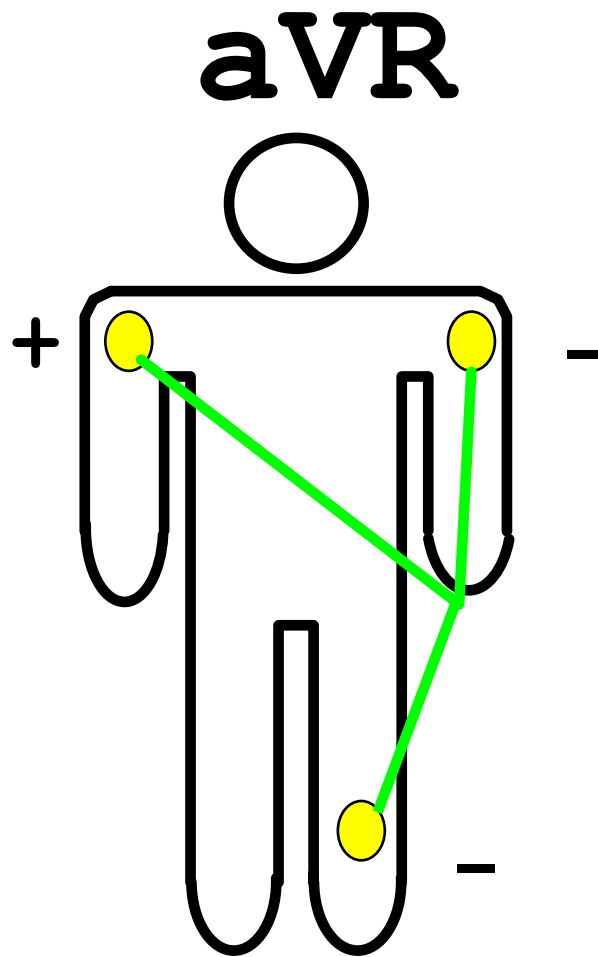


Figura No. 9.
anulan entre si.

Derivación aVR. La unidad central une los polos negativos que se

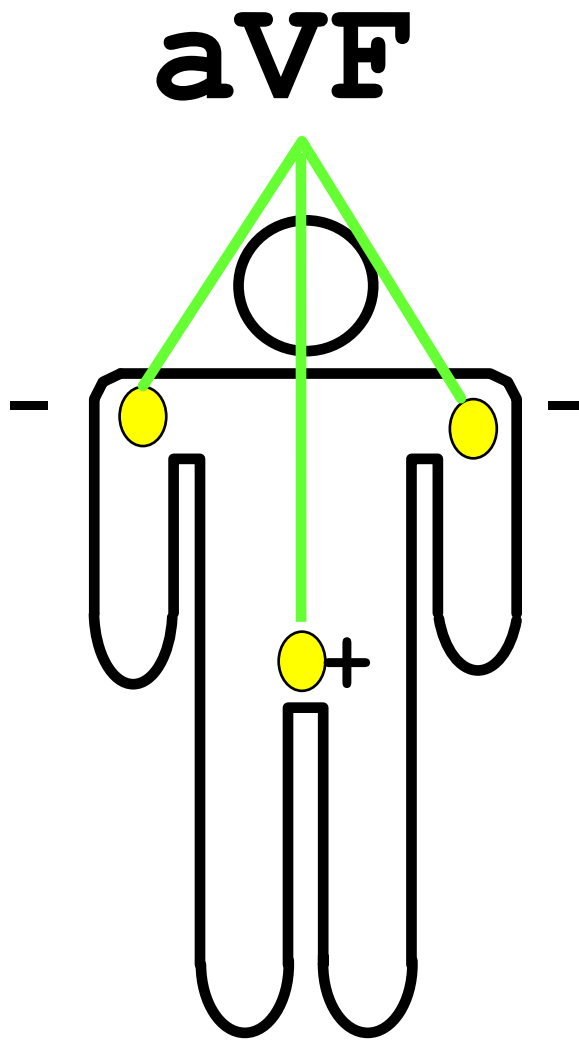


Figura No. 10. Derivación aVF. La unidad central une los polos negativos que se anulan entre si.

Derivaciones unipolares precordiales: Las derivaciones precordiales son un sistema unipolar no amplificado. La unidad terminal o electrodo cero representa el centro eléctrico del corazón, donde los vectores (ejes) QRS y T tienen su origen. Este centro eléctrico está localizado cerca de la mitad del tórax, un poco a la izquierda (**Ver Fig. 11**).

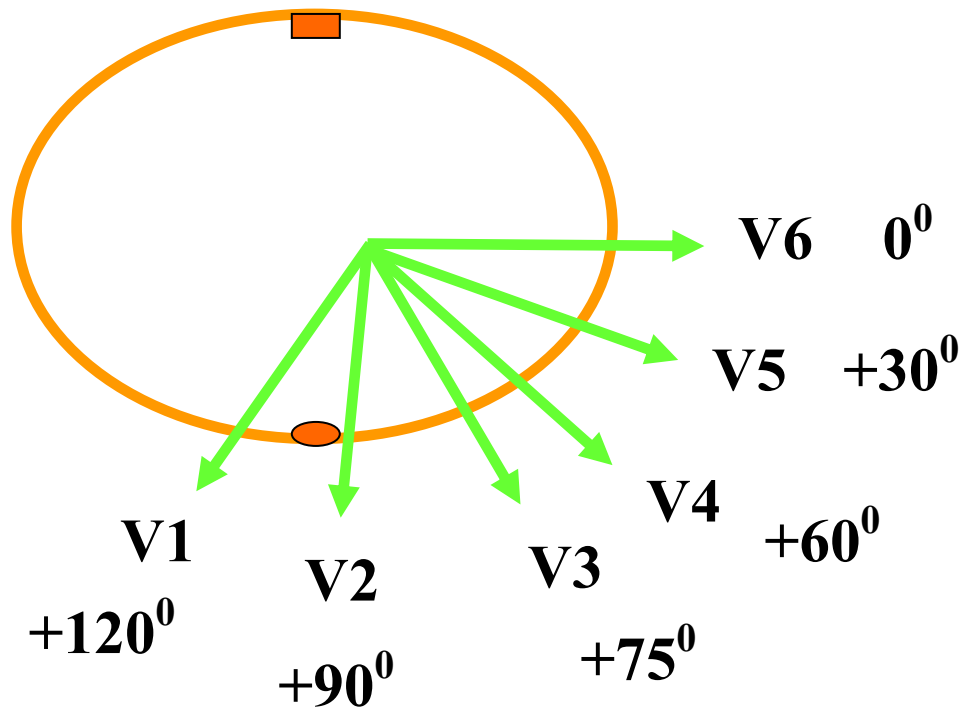


Figura No. 11. Note que el centro eléctrico del corazón está localizado cerca de la mitad del tórax, un poco a la izquierda (corte transversal del tórax).

LOCALIZACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Derivaciones bipolares (Ver Fig. 7)

- DI:** Electrodo (+) en el brazo izquierdo y (-) en el brazo derecho.
- DII:** Electrodo (-) en el brazo derecho y (+) en la pierna izquierda.
- DIII:** Electrodo (-) en el brazo izquierdo y (+) en la pierna izquierda.

Derivaciones unipolares de las extremidades (Ver Figs. 8,9 y 10)

- aVR:** Electrodo (-) en la unión del brazo izquierdo y la pierna izquierda y (+) en el brazo derecho.
- aVL:** Electrodo (-) en la unión del brazo derecho y la pierna izquierda y (+) en el brazo izquierdo.
- aVF:** Electrodo (-) en la unión del brazo izquierdo y el brazo derecho y (+) en la pierna izquierda.

Derivaciones unipolares precordiales (Ver Fig. 12)

- V1:** Cuarto espacio intercostal derecho (EID) con línea paraesternal (LPE) derecha.
- V2:** Cuarto espacio intercostal izquierdo (EII) con LPE izquierda.
- V3:** Intermedio entre V2 y V4.
- V4:** Quinto EII con línea medio claviclar.
- V5:** Quinto EII con línea axilar anterior.
- V6:** Quinto EII con línea axilar media.

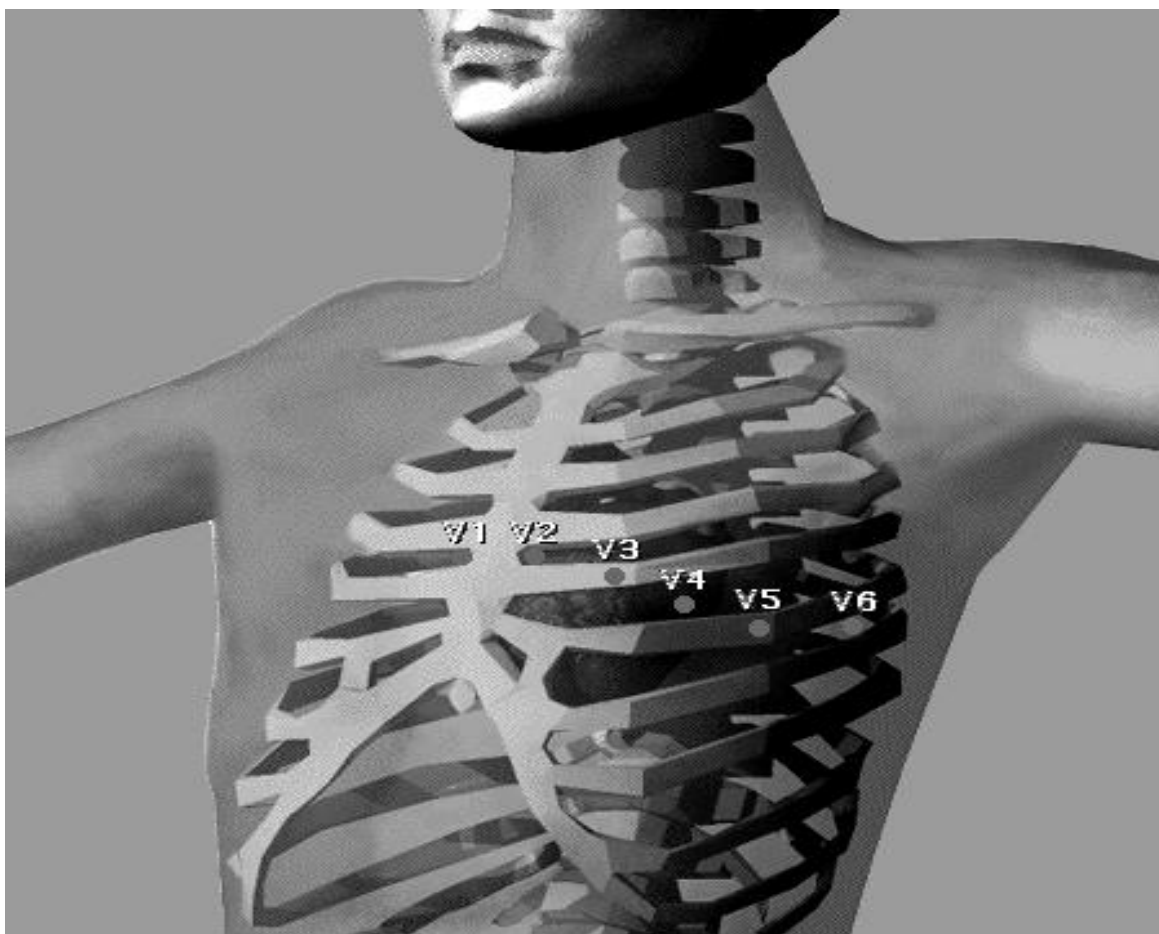


Figura No. 12. Localización de los electrodos en las derivaciones precordiales. Ver explicación en el texto.

DERIVACIONES ELECTROCARDIOGRÁFICAS ADICIONALES

Existen situaciones especiales en las que el electrocardiograma convencional de 12 derivaciones puede ser insuficiente para brindar la información completa del evento que el individuo analizado está presentando. En estos casos se requiere la realización de derivaciones adicionales. Las derivaciones adicionales más comunes en la práctica clínica son:

Otras derivaciones precordiales izquierdas

Son útiles para pacientes con hipertrofia ventricular izquierda muy marcada en quienes las derivaciones precordiales convencionales no alcanzan a registrar el verdadero grado de hipertrofia y en los pacientes con infarto agudo de miocardio (IAM) de la pared posterior del ventrículo izquierdo en quienes las derivaciones precordiales convencionales solamente registran los eventos recíprocos. Estas derivaciones se toman colocando los electrodos en la siguiente disposición (**Ver Fig. 13**):

- V7:** Quinto EII con línea axilar posterior (se usa el cable de V4).
- V8:** Quinto EII con el ángulo inferior de la escápula (se usa el cable de V5).
- V9:** Quinto EII sobre la columna vertebral (se usa el cable de V6).

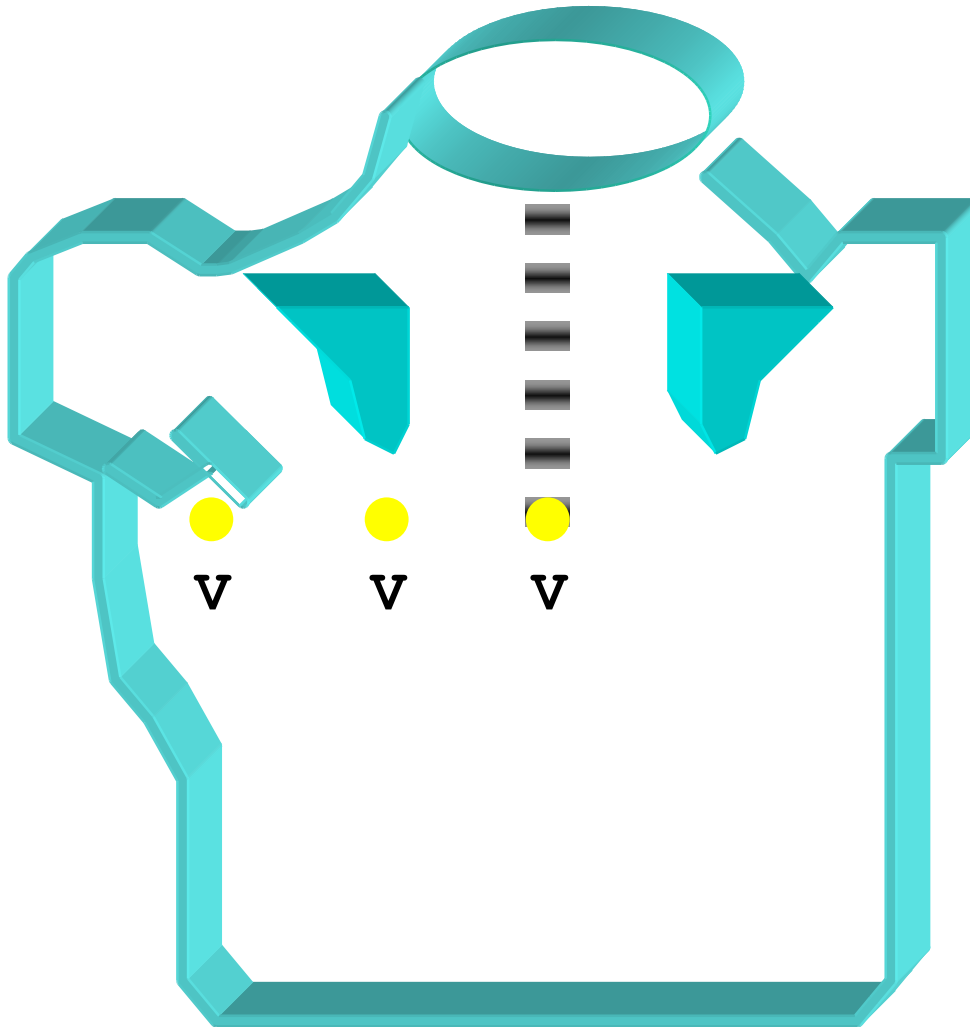


Figura No. 13. Derivaciones precordiales izquierdas adicionales. Note que están ubicadas en la espalda. En la figura, la primera a la izquierda es V7, la del medio es V8 y la que está sobre la columna es V9.

Derivaciones precordiales derechas

Estas derivaciones se utilizan cuando en presencia de un infarto ventricular izquierdo de la pared posteroinferior o inferior se quiere descartar una extensión del infarto hacia el ventrículo derecho. La más sensible es V4R. La colocación de los electrodos se hace de la siguiente forma (**Ver Fig. 14**):

- V1R:** Cuarto EII con línea paraesternal izquierda.
- V2R:** Cuarto EID con línea paraesternal derecha.
- V3R:** Intermedio entre V2R y V4R.
- V4R:** Quinto EID con línea medio clavicular derecha.
- V5R:** Quinto EID con línea axilar anterior derecha.
- V6R:** Quinto EID con línea axilar media derecha.

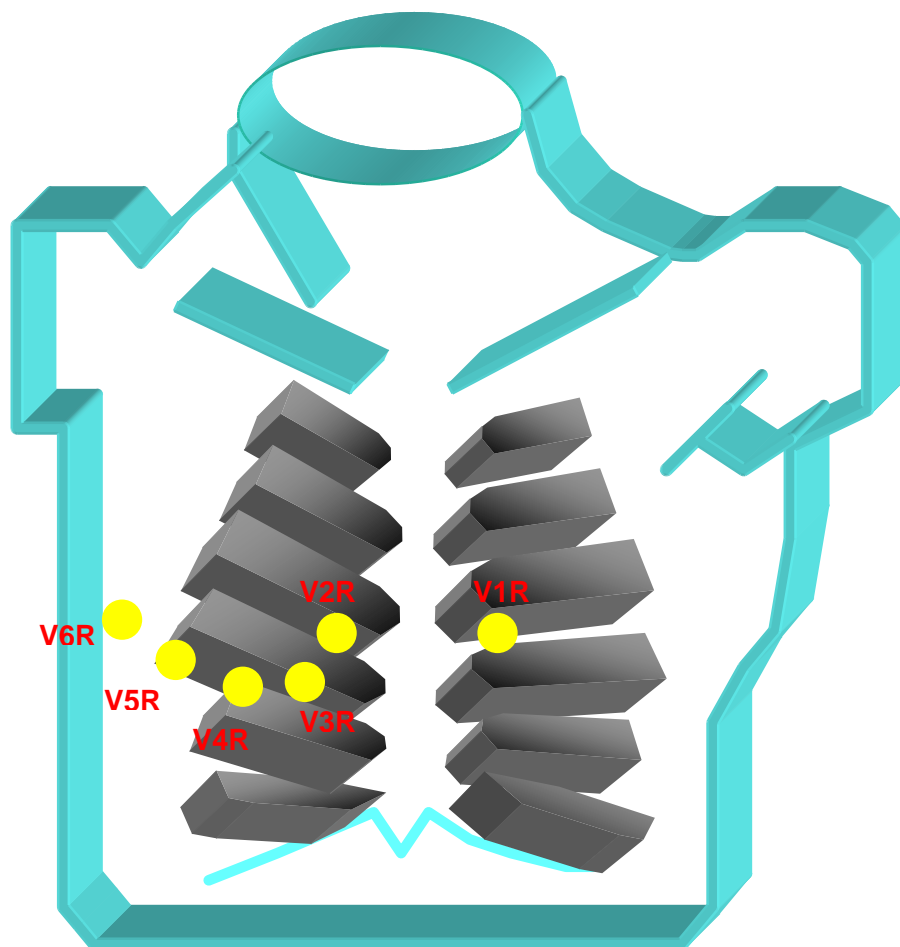


Figura No. 14. Derivaciones adicionales precordiales derechas. Note que la ubicación de los electrodos es similar a las precordiales izquierdas pero sobre el lado derecho del tórax.

Derivaciones Medrano

Al igual que las derivaciones precordiales derechas, éstas son derivaciones útiles en los pacientes con infarto agudo de miocardio de la pared posteroinferior o inferior del ventrículo izquierdo en quienes se quiere descartar la extensión del infarto hacia ventrículo derecho. La más sensible es Medrano 1. La colocación de los electrodos se hace de la siguiente manera (**Ver Fig. 15**):

Medrano 1: Línea horizontal del reborde costal inferior con línea medio clavicular derecha.

Medrano 2: Línea horizontal del reborde costal inferior con línea medio esternal.

Medrano 3: Línea horizontal del reborde costal inferior con línea medio clavicular izquierda.

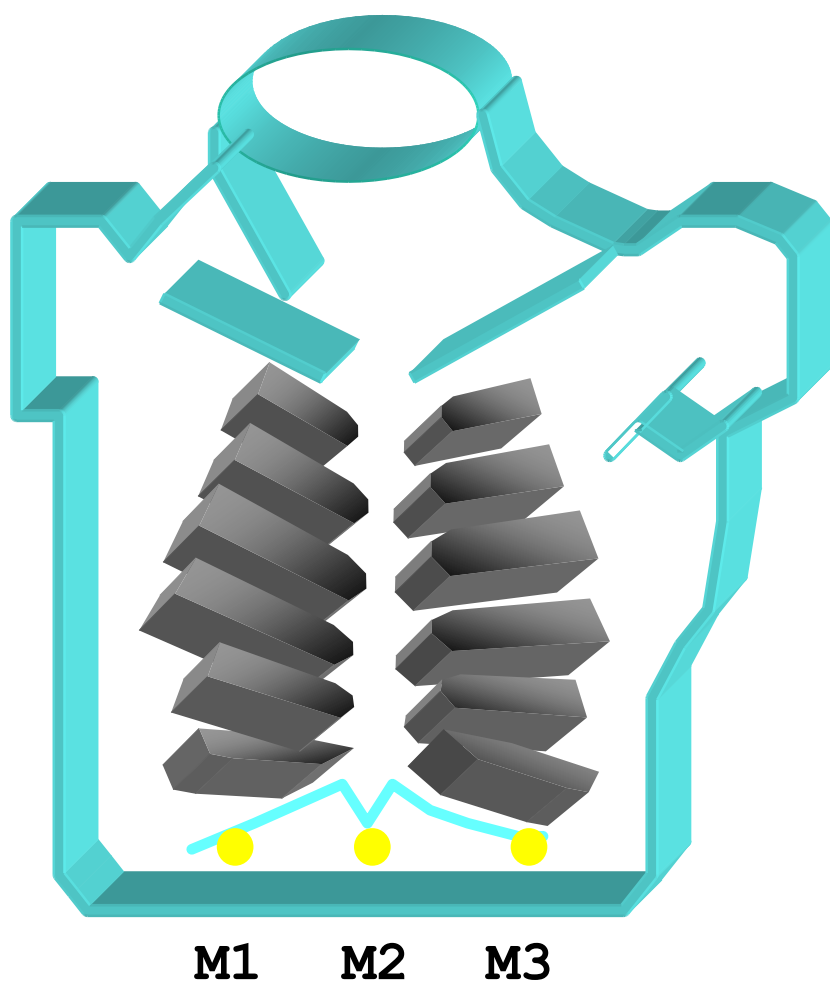


Figura No. 15. Derivaciones adicionales Medrano. Para tomar estas derivaciones se colocan los electrodos (cables) de V1, V2 y V3 en Medrano 1, 2 y 3 y en el electrocardiógrafo se registran como si fueran V1, V2 y V3.

Derivación de Lewis

Es útil en los pacientes en quienes por alguna circunstancia (bajo voltaje o taquicardia) se desea observar mejor la onda P. Esta derivación simplemente aumenta el voltaje (tamaño) de la onda P. Se toma colocando el electrodo que normalmente va al brazo derecho en el primer espacio intercostal derecho con la línea medio claviclar (subclavicular) y el electrodo del brazo derecho en el sitio que normalmente le corresponde a V1 (**Ver Fig. 16**). El registro se hace colocando el electrocardiógrafo en DI ó DII.

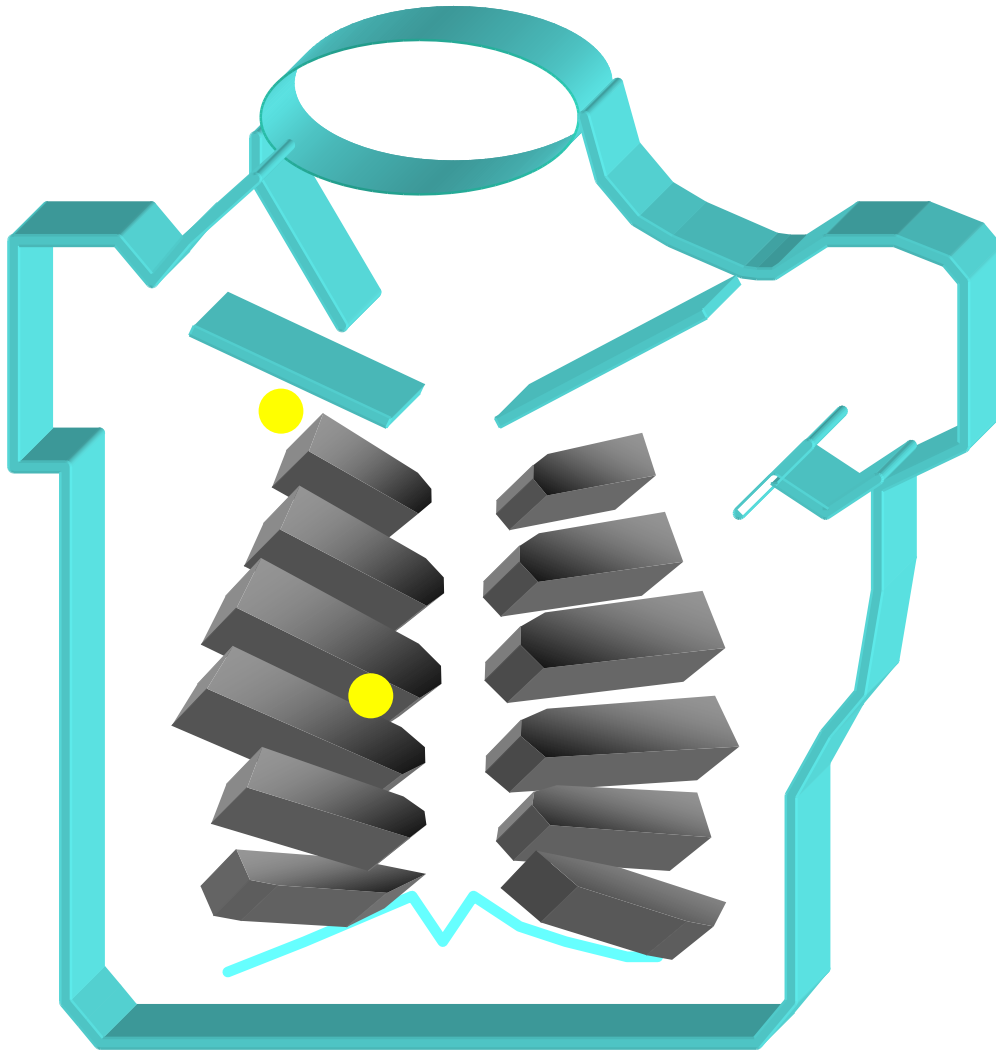


Figura No. 16. Derivación adicional de Lewis. Magnifica el voltaje de la onda P. Ver explicación en el texto.

LAS DERIVACIONES Y SUS PLANOS

Plano frontal

Las derivaciones bipolares y las derivaciones unipolares de las extremidades miden la dirección de la corriente que va por el plano frontal, o sea, de arriba abajo y de izquierda a derecha (**Ver Fig. 17**).

Plano horizontal

Las derivaciones unipolares precordiales miden la dirección de la corriente que va por el plano horizontal (transverso), o sea, de izquierda a derecha y de adelante hacia atrás (**Ver Fig. 18**).

Plano Frontal

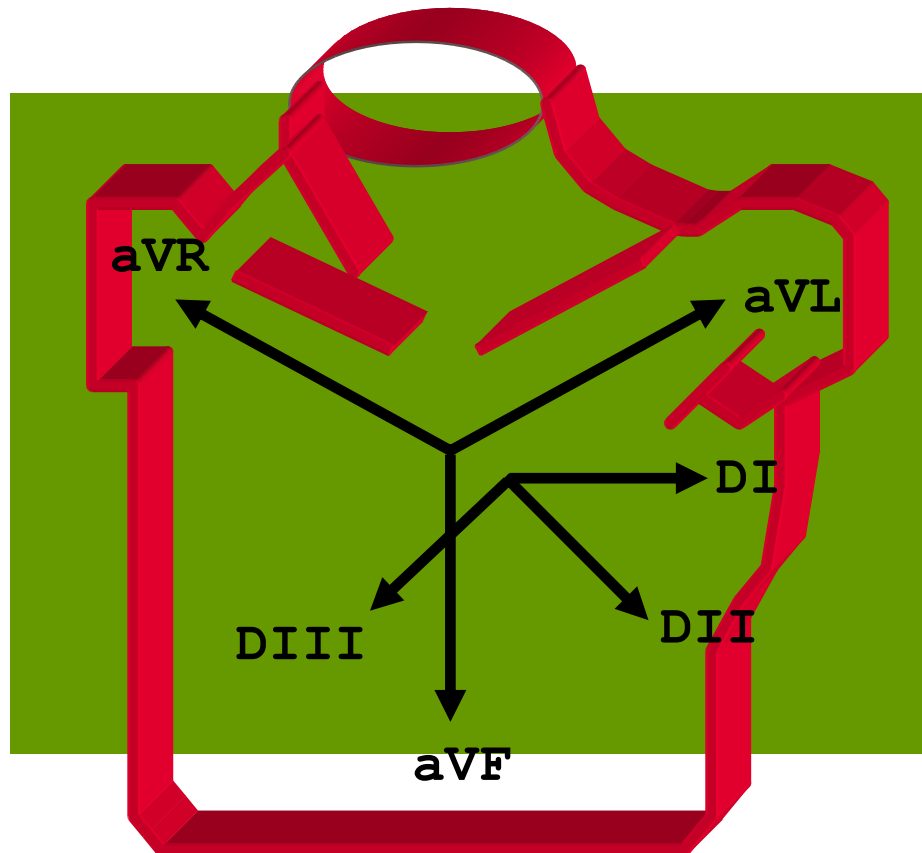


Figura No. 17. Derivaciones del plano Frontal. Se pueden observar las primeras 6 derivaciones del EKG. El color verde representa el corte frontal del corazón.

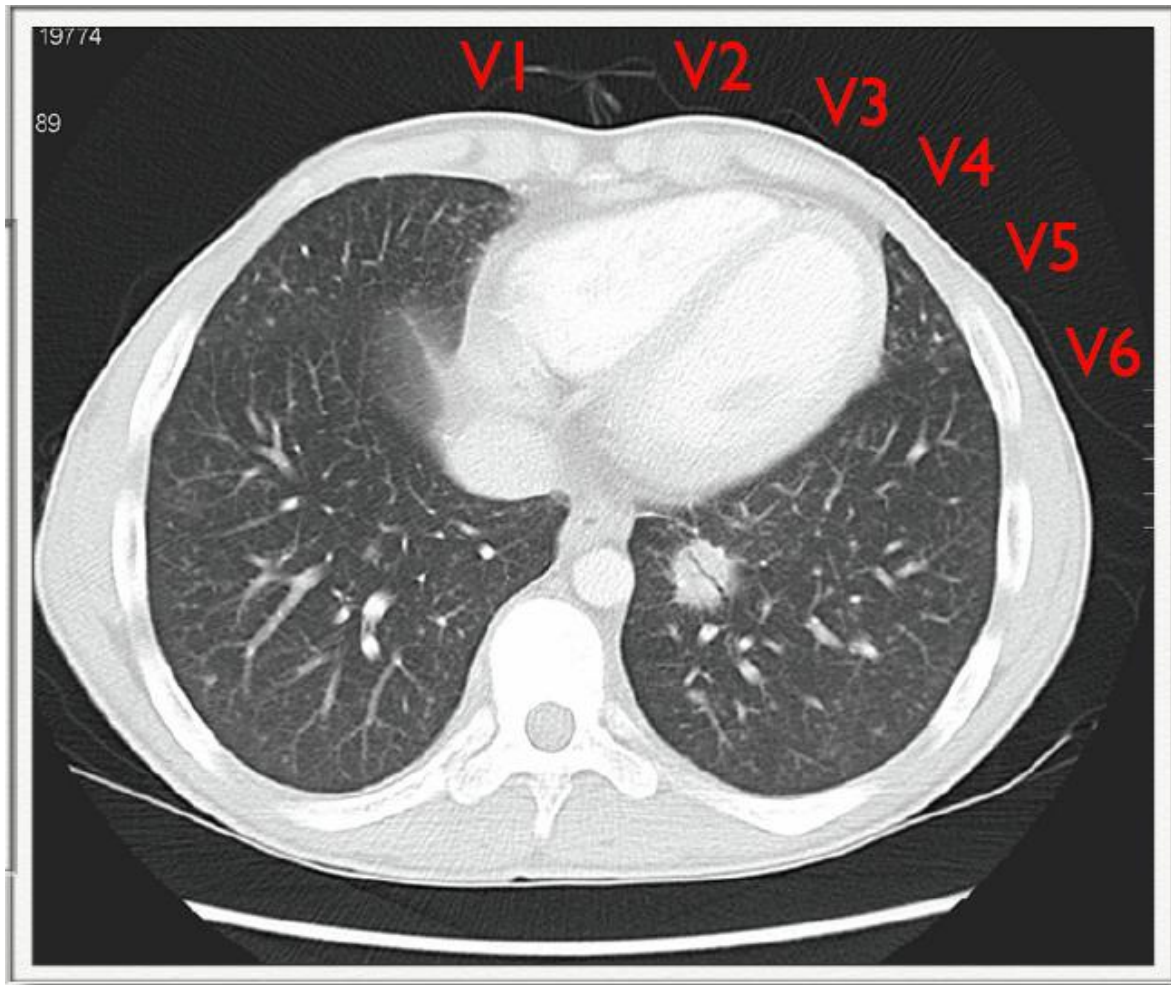


Figura No. 18. Derivaciones del plano horizontal o transverso. Se pueden observar las 6 derivaciones precordiales en un plano tomográfico transverso.

LA CUADRÍCULA ELECTROCARDIOGRÁFICA

El papel en que se registra el electrocardiograma es termosensible (el estilo se calienta e inscribe el trazo) y por lo tanto no requiere del uso de tinta. Este papel viene dividido en cuadrículas. Los valores de las cuadrículas dependen de la estandarización. La mayoría de los electrocardiógrafos traen una perilla para estandarizar el ECG a 1 mV y 0.5 mV, sólo algunos permiten estandarizar a 2 mV. La estandarización que normalmente se utiliza para registrar un ECG es la de 1 mV. Sin embargo, cuando los complejos son de muy alto voltaje se utiliza la de 0.5 mV y cuando son de muy bajo voltaje la de 2 mV. Cuando estandarizamos el equipo en 1 mV el estilo alcanza una altura de 10 mm. Si la estandarización se hace a 0.5 mV quiere decir que 1 mV equivale a 5 mm y si se hace a 2 mV, quiere decir que 1 mV equivale a 20 mm (Ver Fig. 19).

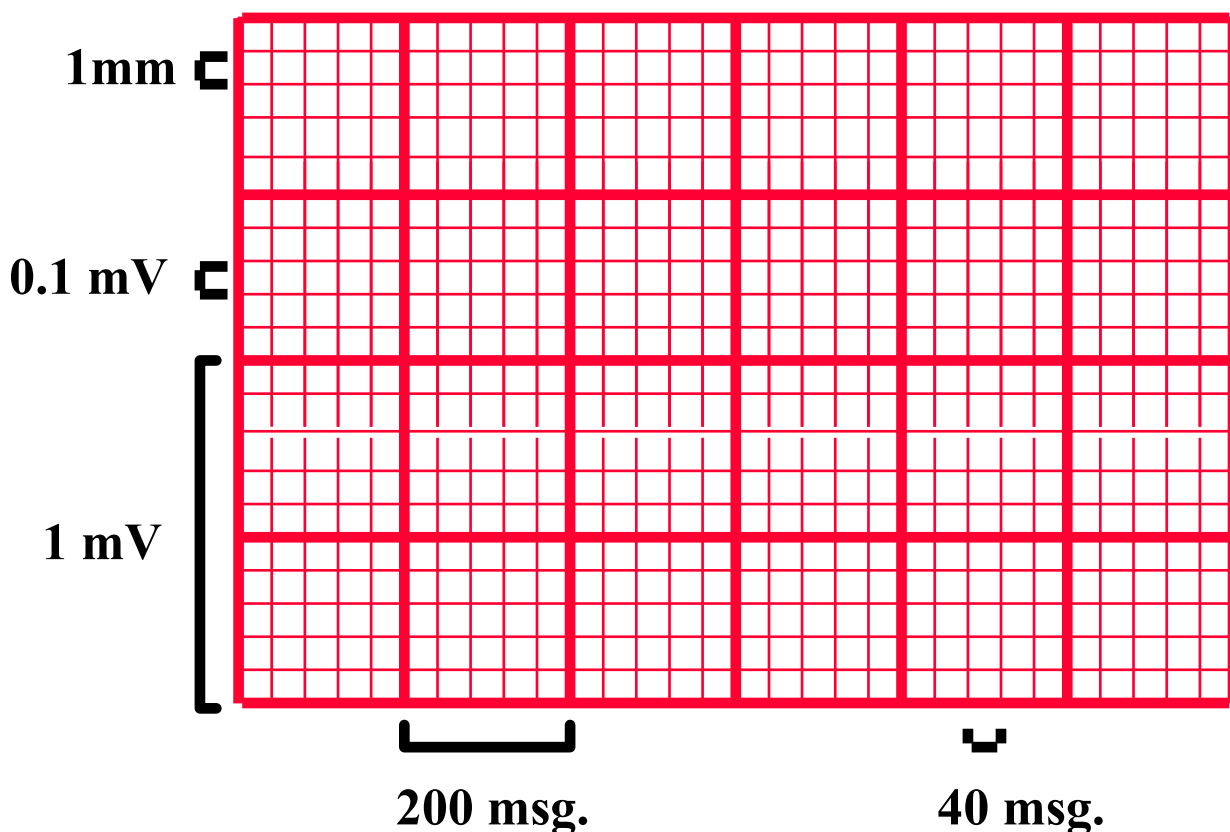


Figura No. 19. La cuadrícula electrocardiográfica. Ver explicación en el texto.

En el papel de ECG con estandarización normal (1 mV), cada cuadrícula de 1 mm equivale en altura (voltaje) a 0.1 mV y en tiempo (a lo ancho) a 40 mseg (0.04"). Cada cinco cuadrículas pequeñas, las rayas horizontales y verticales del papel se representan con una mayor intensidad del color. El objetivo de esto consiste en dividir el papel del ECG en cuadrículas de cinco por cinco, quedando así cada cuadrado de 5 mm de alto (0.5 mV) por 200 mseg de ancho (**Ver Fig. 19**).

La estandarización debe hacerse durante 200 mseg (cinco cuadrículas pequeñas) y el registro correcto debe mostrar una forma cuadrada (**Ver Fig. 20**). La velocidad a la que corre el papel también se puede seleccionar desde una perilla diseñada específicamente para este fin. La velocidad usual es de 25 mm/seg. En los pacientes con taquicardia (incluyendo a los niños por su alta frecuencia cardíaca) algunas veces se puede registrar al doble de la velocidad (50 mm/seg.) con el fin de separar los complejos y poder determinar las características del trazado electrocardiográfico con mayor exactitud (**Ver Fig. 20**).

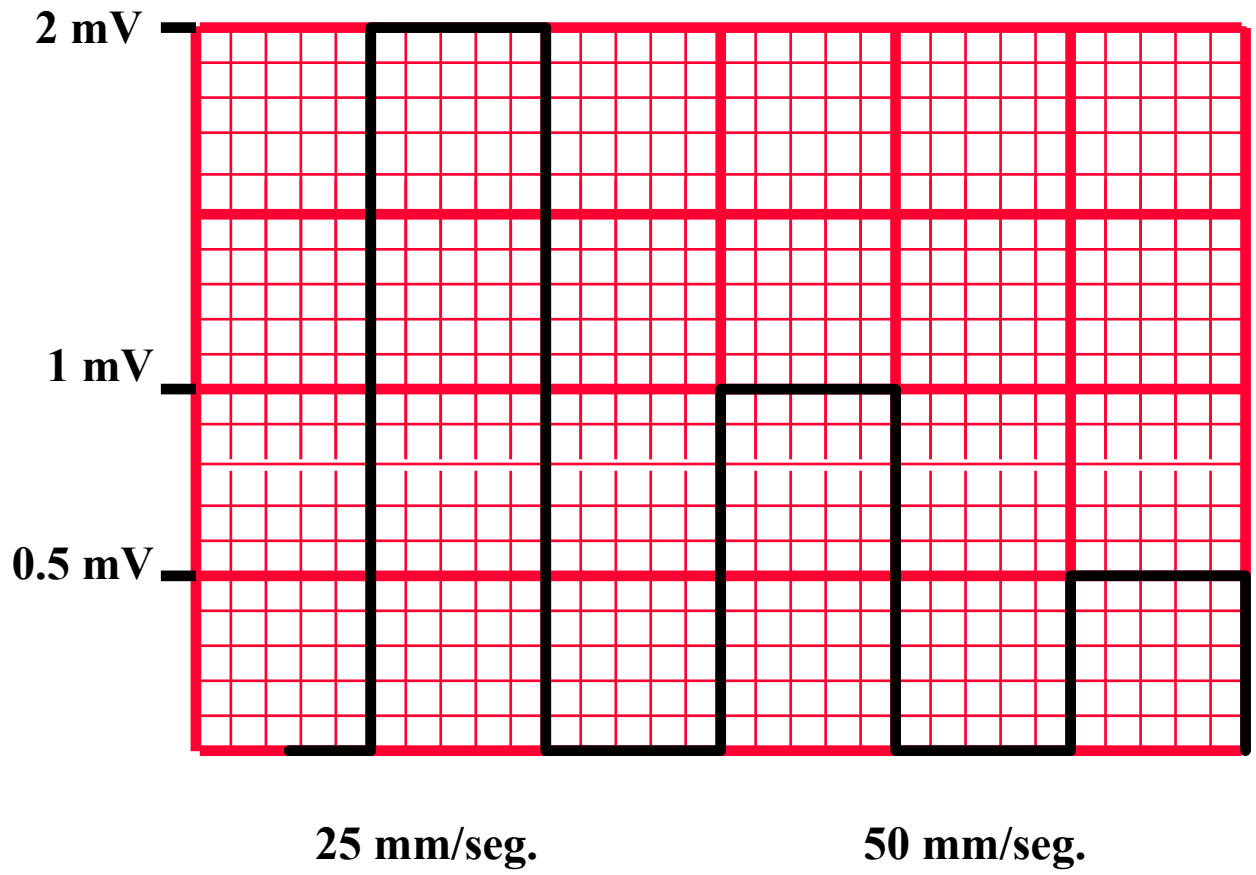


Figura No. 20. Estandarización y velocidad del papel. Ver explicación en el texto.

DEFINICIÓN DE LAS ONDAS, INTERVALOS, SEGMENTOS Y COMPLEJOS ELECTROCARDIOGRÁFICOS

Onda P: La primera onda de un ciclo cardíaco representa la activación de las aurículas y en electrocardiografía se denomina onda P. La primera parte de la onda P representa la activación de la aurícula derecha, la sección media representa la parte final de la activación auricular derecha y el inicio de la activación auricular izquierda y por último, la porción final representa la culminación de la activación auricular izquierda. El nodo auriculoventricular (AV) se activa cuando se está inscribiendo la porción media de la onda P y esta activación prosigue lentamente hacia los ventrículos durante la porción final de la onda P (**Ver Fig. 21**).

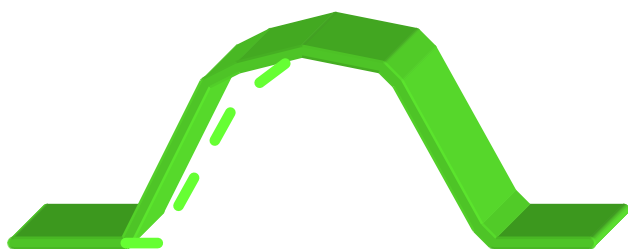


Figura No. 21. Onda P. Note que la despolarización de la aurícula izquierda se inicia unos cuantos milisegundos después que la aurícula derecha (línea punteada).

Onda Tp: Es la onda que representa la recuperación eléctrica de las aurículas. Esta onda se inscribe al mismo tiempo en que está sucediendo la despolarización ventricular (complejo QRS) y por lo tanto no se observa en el ECG normal (**Ver Fig. 22**). Es posible observarla en individuos con bloqueo AV de primer grado o completo.

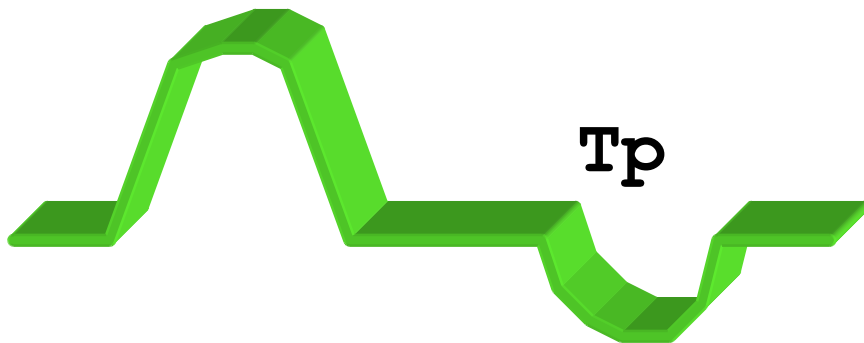
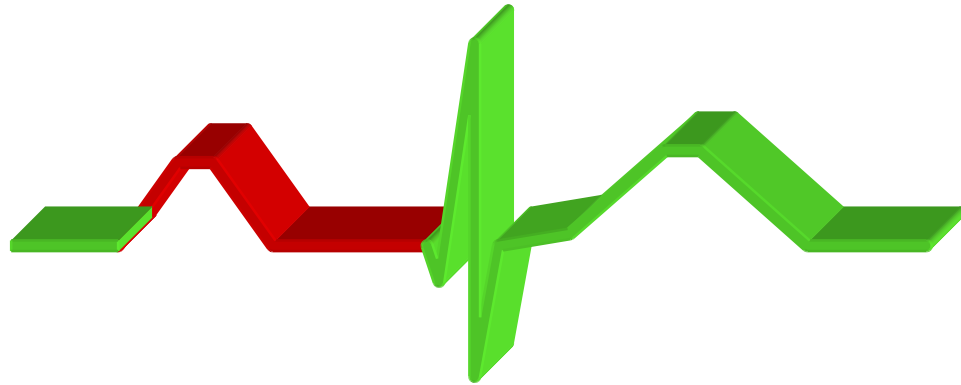


Figura No. 22. Onda Tp o de repolarización auricular. Ver explicación en el texto.

Intervalo PR: Se mide desde el inicio de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS, exista o no onda Q. Este intervalo mide el tiempo entre el comienzo de la activación del miocardio auricular y el ventricular (tiempo que tarda el impulso en viajar desde el nodo sinusal hasta las fibras musculares del ventrículo). Este intervalo comprende el “**Segmento**

PR” localizado entre el final de la onda P y el inicio del complejo QRS (Ver Fig. 23). El segmento PR representa el retraso fisiológico del impulso sinusal en el nodo AV.

Intervalo PR



Segmento PR

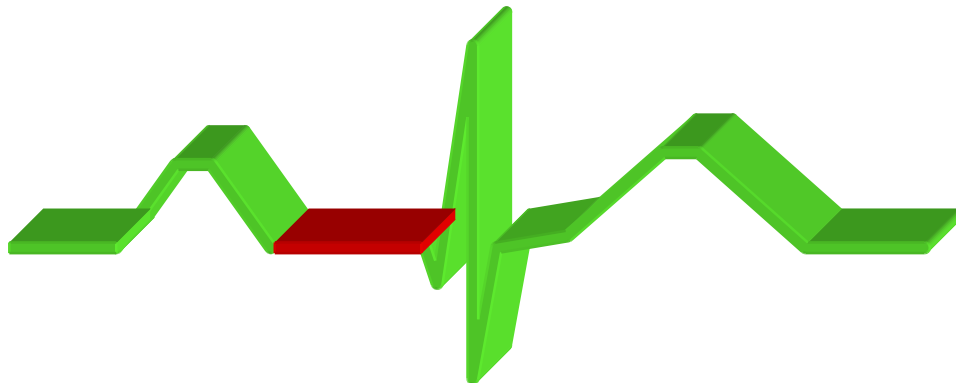


Figura No. 23. Intervalo y segmento PR. Ver explicación en el texto.

Complejo QRS: Este complejo representa la activación de los ventrículos. El complejo QRS puede aparecer normalmente como una (monofásico), dos (bifásico) o tres (trifásico) ondas individuales. Por convención, toda onda negativa al comienzo del complejo QRS es llamada onda Q. La primera deflexión positiva que presenta un complejo QRS es llamada onda R (exista o no onda Q). Una deflexión negativa que siga a una onda R es llamada onda S. Cuando se presenta una segunda deflexión positiva es llamada R' y si se continúa con otra deflexión negativa ésta se llamará S'. Si el complejo QRS es monofásico negativo se denomina QS. (Ver Fig. 24). El *Intervalo QRS* es una medida fiel del tiempo de duración de la activación ventricular.

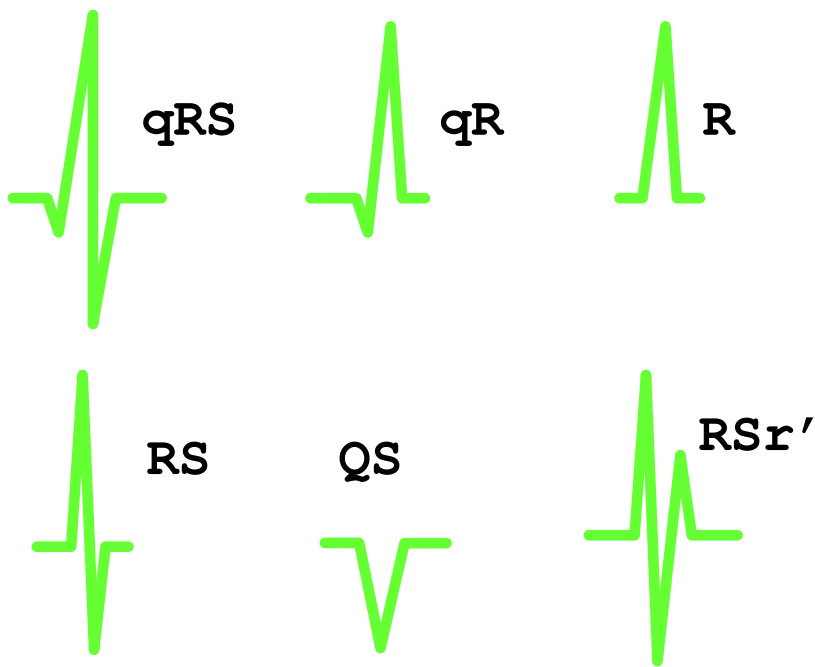


Figura No. 24. Complejo QRS y sus variantes. Ver explicación en el texto.

Segmento ST: Es el intervalo entre el final de la activación ventricular y el comienzo de la recuperación ventricular. El término de segmento ST se utiliza sin importar si la onda final del complejo QRS es una onda R ó S. El sitio de unión entre el complejo QRS y el segmento ST se conoce con el nombre de **Punto "J"** (*Junction point*). Este punto se utiliza para determinar si el segmento ST está elevado o deprimido con respecto a la línea de base del ECG (**Ver Fig. 25**).

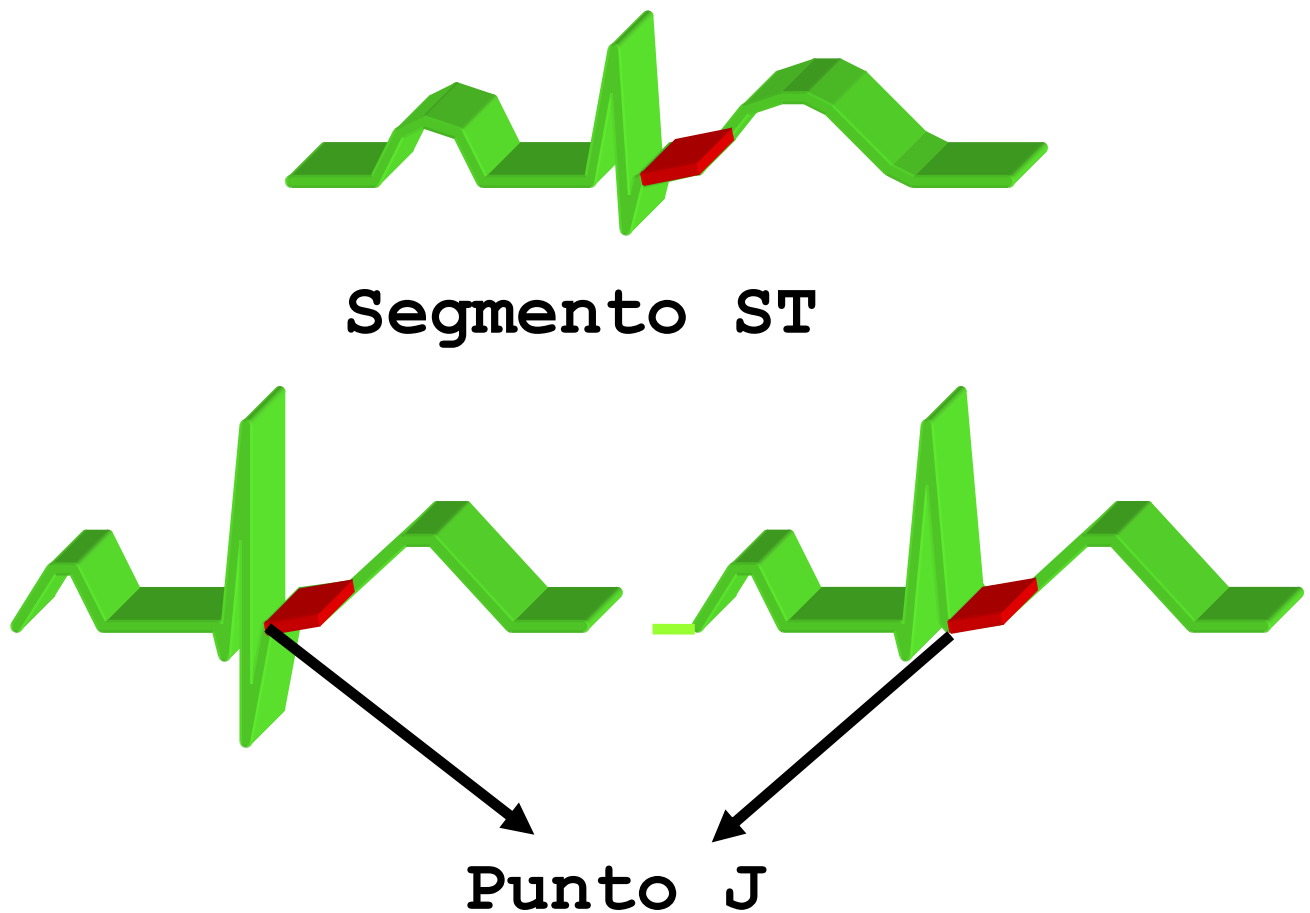


Figura No. 25. Segmento ST y punto J. Se señala el inicio de la repolarización ventricular o punto J (que puede ser al final de la onda S, figura izquierda o al final de la onda R, figura derecha) y en rojo se observa el segmento ST.

Onda T: Es la onda del ciclo cardíaco que representa la repolarización de los ventrículos. Debido a que la recuperación de las células ventriculares (repolarización) causa una contracorriente opuesta a la despolarización, uno podría esperar que la onda T fuera opuesta al complejo QRS. Sin embargo, las células epicárdicas se repolarizan más rápidamente que las células endocárdicas (debido a que en éstas últimas la presión ejercida por la sangre es mayor y a que sorprendentemente la repolarización ocurre durante la sístole mecánica ventricular), lo que hace que la onda de repolarización se dirija en dirección opuesta a la onda de despolarización. Esto trae como resultado el hecho de que en las personas normales, la onda T tenga la misma dirección del complejo QRS (**Ver Fig. 26**), ya que direcciones opuestas de repolarización y despolarización más direcciones opuestas de los campos eléctricos que avanzan producen una dirección igual del vector eléctrico.

Onda T



Figura No. 26. Onda T. Note que es una onda positiva en presencia de un complejo QRS de predominio positivo.

Segmento QT: Representa el intervalo entre el comienzo de la activación ventricular y el final de la recuperación ventricular, que corresponde a la sístole mecánica ventricular (sístole y diástole eléctricas). Este segmento se mide desde el inicio del complejo QRS (exista o no onda Q) hasta el final de la onda T (Ver Fig. 27).

Segmento QT

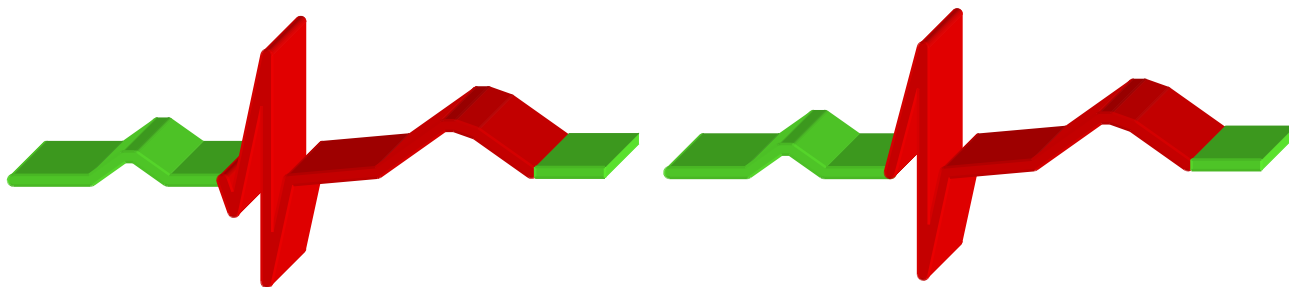


Figura No. 27. Segmento QT. Note que se mide desde el inicio del complejo QRS exista (figura izquierda) o no onda Q (figura derecha).

Onda U: Es una onda de bajo voltaje que se encuentra después de la onda T de un complejo y antes de la onda P del complejo siguiente. Hay varias teorías que explican su origen: 1) Repolarización del sistema de Purkinje, 2) Repolarización de los músculos papilares y 3) Origen mecánico porque coincide con la fase de relajación isovolumétrica del ventrículo. Es normal siempre y cuando sea de menor voltaje y tenga la misma dirección (polaridad) que la onda T (**Ver Fig. 28**).

Onda U

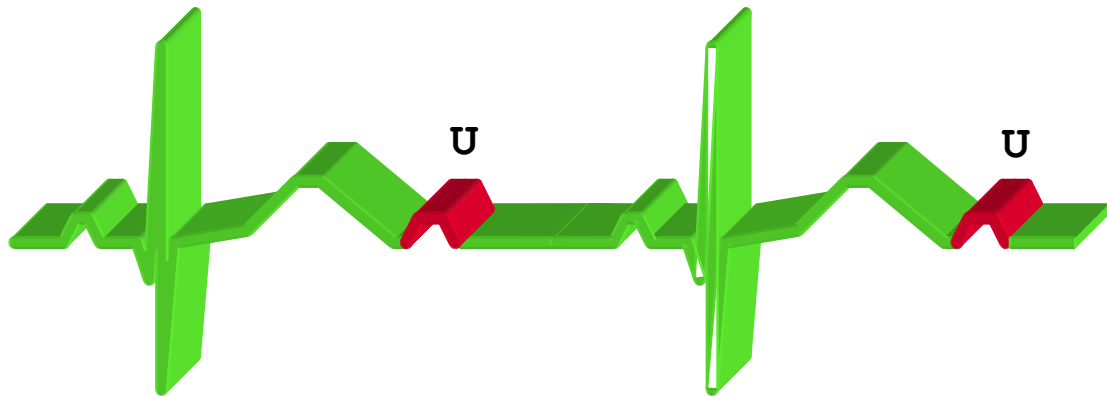


Figura No. 28. Onda U. Note la polaridad igual a la de la onda T (positivas ambas) y menor voltaje que la onda T.

Nomenclatura: Por convención se ha determinado que toda onda del complejo QRS mayor de 0.5 mV (5mm) de voltaje se representará con letra mayúscula (QRS) y toda onda menor de 0.5 mV con letra minúscula (qrs). Las ondas P, T y U, el intervalo PR y los segmentos ST y QT siempre serán representados con letras mayúsculas. Cuando las ondas R ó S presentan una melladura que no atraviesa la línea de base se denominan R ó S melladas. Si esta melladura atraviesa la línea de base para formar otra onda y vuelve a atravesar una segunda vez la línea de base, esta segunda onda se llamará R' ó S' (R prima o S prima) según sea el caso (**Ver Fig. 29**).

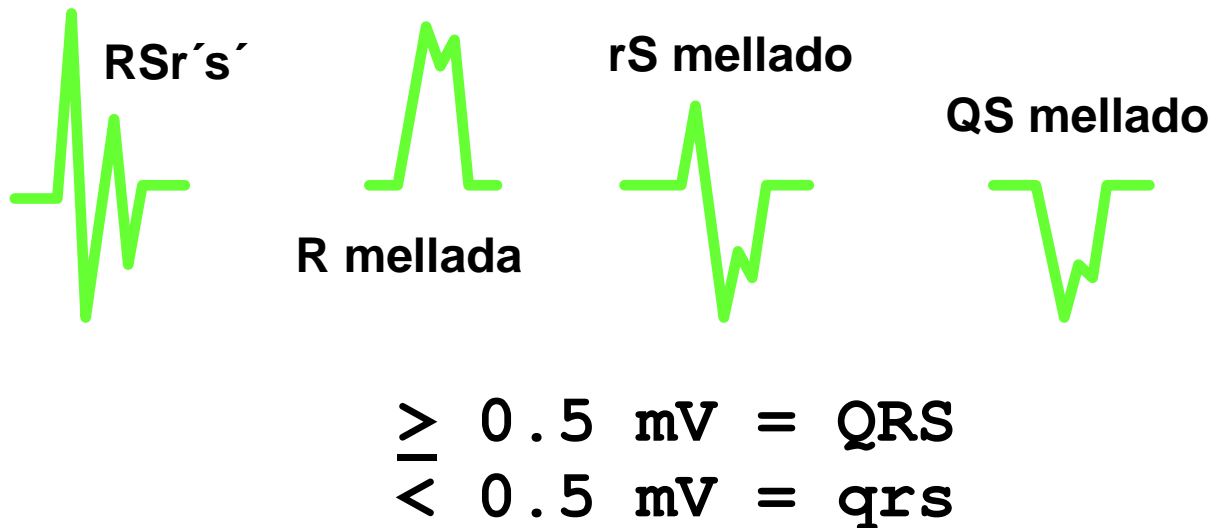


Figura No. 29. Nomenclatura del complejo QRS.

Línea de Base del ECG: Esta línea, también conocida como línea isoeletrica, en personas normales y a baja frecuencia cardíaca está representada por el “*Segmento TP*” (algunos incluyen el segmento PR como parte de la línea isoeletrica del ECG, Segmento TQ). Es considerada como la línea de base para medir las amplitudes de las ondas y sirve como referencia para la elevación o depresión del punto J (Ver Fig. 30). Hay que tener en cuenta que el segmento TP desaparece a frecuencias cardíacas altas cuando la T del complejo anterior empata con la P del complejo siguiente (en estos casos se puede utilizar el segmento PR). Las ondas, intervalos y complejos electrocardiográficos pueden ser mejor observados en la **figura 31**.

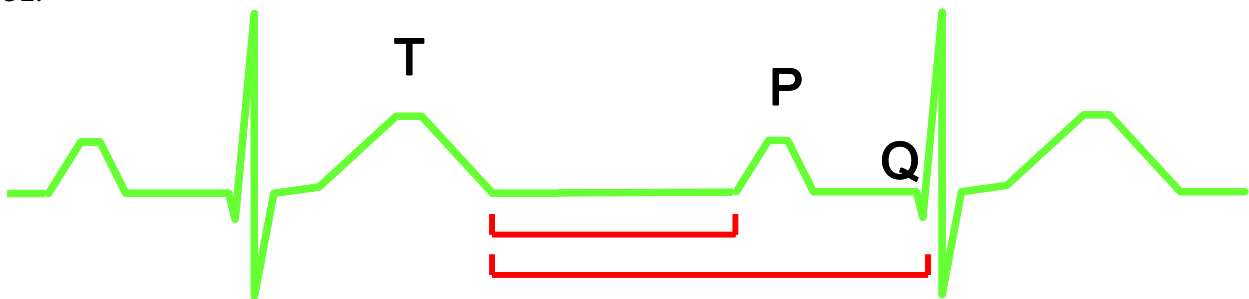


Figura No. 30. Línea de base del ECG TP y TQ. Ver explicación en el texto

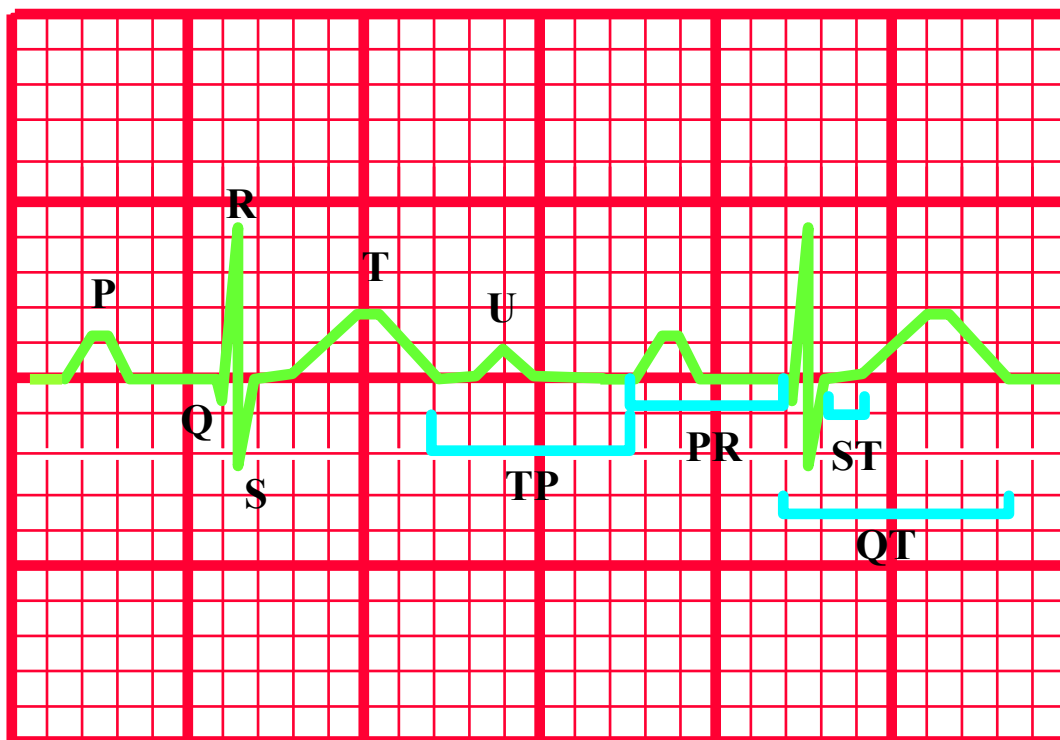


Figura No. 31. Ondas e intervalos del ECG. Ver explicación en el texto.

ANATOMÍA DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN ESPECIALIZADO

NODO SINOAURICULAR: Es la estructura donde se origina en forma normal el impulso eléctrico que activa todo el corazón, por lo tanto es el marcapaso principal. Se encuentra localizado en la parte superior y posterior de la aurícula derecha, cerca de la desembocadura de la vena cava superior, hacia el subepicardio (**Ver Fig. 32**). Su irrigación está dada por la arteria coronaria derecha en el 55% de los casos y por la arteria circunfleja en el 45%. En el nodo sinusal se encuentran unas células de morfología diferente a las del miocardio auricular, con un citoplasma más claro e histológicamente diferente, llamadas células “P”. En estas células es en donde se forma el impulso sinusal, puesto que son las células que tienen mayor automaticidad debido a que tienen la fase 4 del potencial de acción más pendiente, por lo cual llegan al potencial umbral más rápido. El Nodo Sinusal es una estructura anatómicamente definible, mide 12 a 15 mm de longitud por 3 a 5 mm de ancho y 3 a 4 mm de espesor. Existe un contacto directo entre el Nodo Sinusal y el miocardio auricular a través de unas células que se denominan transicionales, por allí se conduce el impulso hacia la aurícula. El Nodo Sinusal se continúa con la Crista Terminalis que va por toda la aurícula derecha y termina cerca al Nodo Auriculoventricular. En todo el trayecto de la crista terminalis pueden encontrarse células “P” automáticas, las cuales pueden ser la causa de taquicardias atriales automáticas.

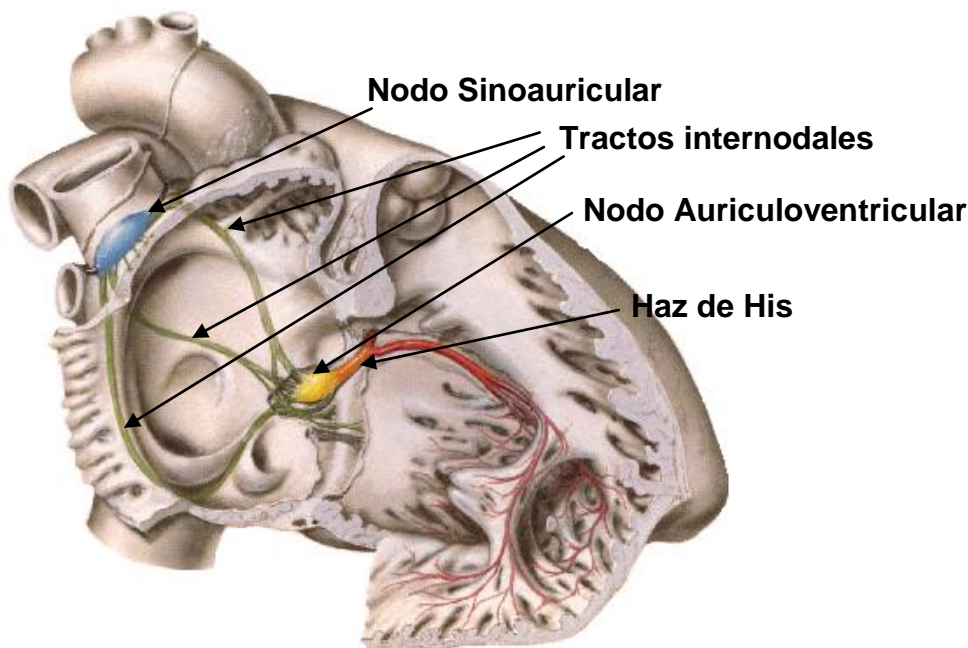


Figura No. 32. Nodo sinoauricular: Note su localización subepicárdica en la unión entre la vena cava superior y la aurícula derecha. Tractos internodales: anterior, medio y posterior. Nodo Auriculoventricular: Note su localización sobre el septum interauricular bajo. Haz de His: Note como penetra el esqueleto fibroso del corazón para dirigirse hacia la porción membranosa del septum interventricular.

NODO AURICULOVENTRICULAR: Se encuentra localizado hacia el lado derecho del septum interauricular bajo, por encima de la valva septal de la tricúspide, muy cerca al ostium del seno coronario (**Ver Fig. 32**). Tiene una longitud de 22 mm, una anchura de 10 mm y 3 mm de espesor. Dentro de éste se han definido tres zonas bien delimitadas: La zona A o celular externa, la cual hace contacto con las células atriales; la zona b o zona central donde se encuentran unas células en forma de estrella que tiene prolongaciones en todas las direcciones, muy desorganizadas, por donde se conduce el impulso eléctrico lentamente y la zona C o zona distal en el nodo AV, donde se empiezan a organizar las células para posteriormente formar el haz de His. Su irrigación está dada por la arteria descendente posterior la cual es rama de la arteria coronaria derecha en el 80% de los casos y de la arteria circunfleja en el 20% de los casos. Además, en la parte más distal del nodo también hay irrigación por las ramas perforantes de la arteria descendente anterior.

Entre el Nodo Sinusal y el Nodo Auriculoventricular el impulso eléctrico pasa por miocitos auriculares los cuales se organizan para que el impulso eléctrico pase rápidamente. No se han documentado verdaderos tractos internodales, pero se sabe con certeza que el impulso viaja preferencialmente por las regiones anterior, media y posterior de la aurícula derecha (**Ver Fig. 32**) y todas estas fibras organizadas llegan al nodo auriculoventricular por diferentes sitios, lo cual es importante en la fisiopatología de la taquicardia por reentrada en el Nodo Auriculoventricular (AV)

HAZ DE HIS: Es la continuación del nodo AV que en la parte distal se organiza en fibras paralelas y pasa a través del esqueleto fibroso del corazón y se dirige hacia la porción membranosa del septum interventricular. Es un trayecto muy corto y protegido y antes de llegar al septum muscular se subdivide en las ramas y en los fascículos (**Ver Fig. 32**). Su irrigación es dual y está dada por la arteria del Nodo AV y por las perforantes septales, ramas de la arteria descendente anterior. Las calcificaciones del anillo aórtico pueden producir bloqueo a nivel del haz de His debido a que éste se localiza muy cerca.

-Rama izquierda del haz de His: Antes de llegar al septum muscular por el lado izquierdo rápidamente se subdivide en tres fascículos: anterior, posterior y septal (**Ver Fig. 33**). La irrigación de la rama izquierda esta dada por las perforantes septales ramas de la arteria descendente anterior.

Fascículo anterosuperior: Se dirige hacia el tracto de salida del ventrículo izquierdo y va hacia la base del músculo papilar anterolateral donde origina la red de Purkinje de la región anterolateral y superior del ventrículo izquierdo (**Ver Fig. 33**). Su irrigación se origina de la arteria descendente anterior.

Fascículo posteroinferior: Como su nombre lo indica va hacia la pared posteroinferior del ventrículo izquierdo hasta llegar al músculo papilar posteromedial, donde da origen a la red de Purkinje posteroinferior (**Ver Fig. 33**). Posee doble irrigación a través de la arteria coronaria derecha y de la arteria descendente anterior.

Fascículos septales: Un gran número de fibras medioseptales se originan de la rama izquierda antes de subdividirse, cabalgan el septum muscular y son las que producen el primer vector septal de despolarización. Están irrigados por las ramas perforantes septales de la arteria descendente anterior. Estos fascículos septales usualmente no son considerados importantes desde el punto de vista clínico.

-Rama derecha del haz de His: Corre por el lado derecho del septum interventricular hasta llegar al músculo papilar anterior de la tricúspide, luego continúa por la banda moderadora hasta llegar a la pared libre del ventrículo derecho donde se subdivide y origina la red de Purkinje del ventrículo derecho (**Ver Fig. 33**). Es una rama más larga y delgada que la rama izquierda, que tiende a conducir un poco más lento y posee un período refractario más largo, lo cual constituye la base para la explicación del fenómeno de aberrancia. Su irrigación está dada por la arteria descendente anterior y algunas ramas ventriculares derechas.

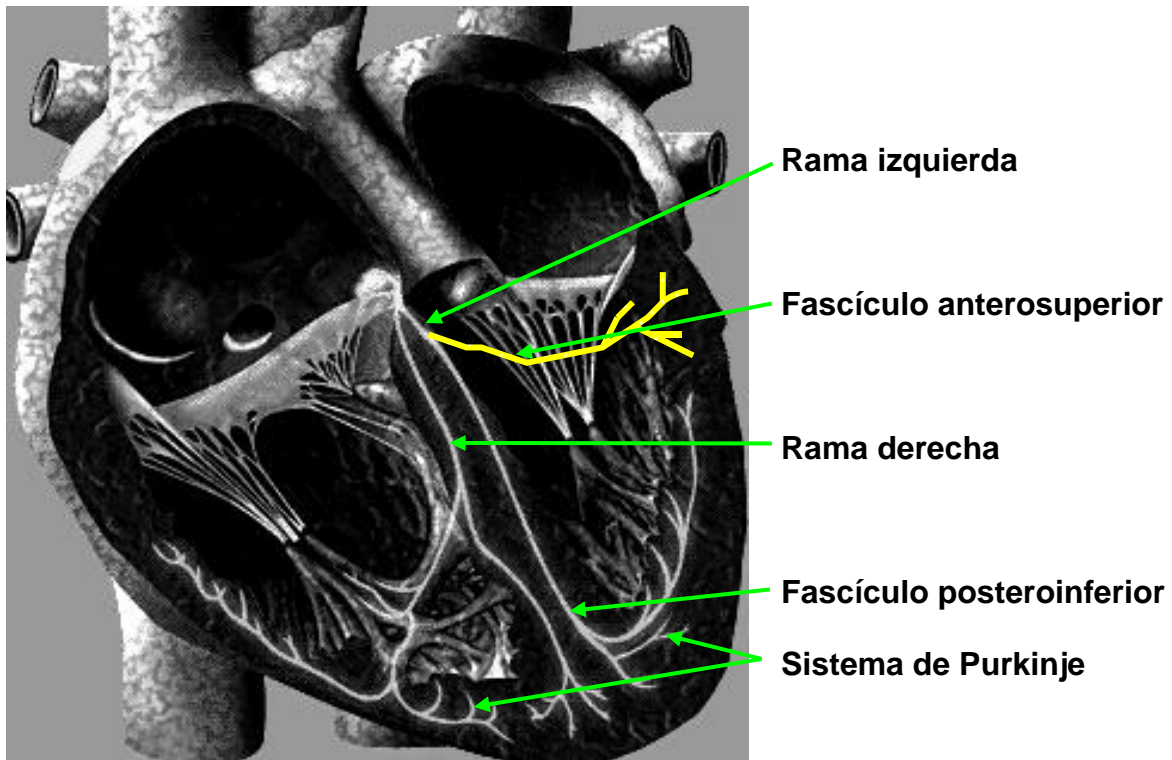


Figura No. 33. Ramas y subdivisiones del haz de His. Note como las divisiones finales dan origen al sistema de Purkinje.

FISIOLOGÍA EN ELECTROCARDIOGRAFÍA

EL CONCEPTO DEL DIPOLO

En todo momento, a medida que cada célula muscular cardíaca se despolariza, el corazón produce dipolos. Un dipolo está constituido por un par de cargas eléctricas, la una positiva y la otra negativa. El dipolo es una fuerza electromotriz que se genera con la despolarización celular y que finaliza cuando la célula se encuentra en reposo (**Ver Fig. 34**). Los dipolos generados por un grupo celular producen un número infinito de vectores. Un vector es una forma sencilla de representar la magnitud y la dirección de una fuerza eléctrica (electromotriz). La sumatoria de este número infinito de vectores produce una resultante. La resultante de la despolarización completa de un grupo celular (aurículas y ventrículos) es lo que en electrocardiografía se conoce con el nombre de ***Eje Eléctrico***. El eje eléctrico de las aurículas (eje de la onda P) y el de los ventrículos (eje del QRS) son la resultante de la sumatoria del número infinito de vectores que se producen durante la despolarización de las aurículas y ventrículos respectivamente (**Ver Fig. 35**).

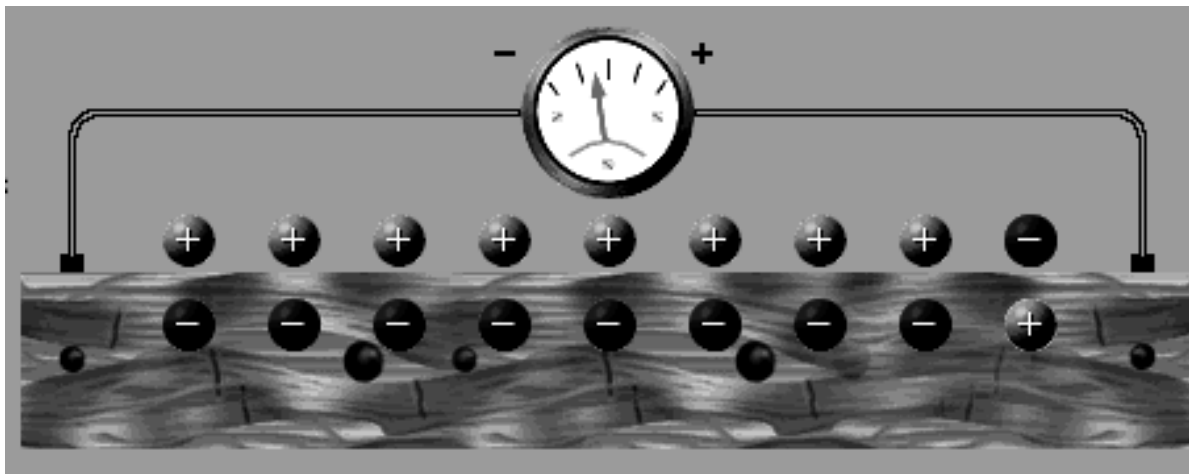


Figura No. 34. Dipolo. Note que está constituido por un par de cargas, la una positiva y la otra negativa.

Eje Eléctrico del QRS

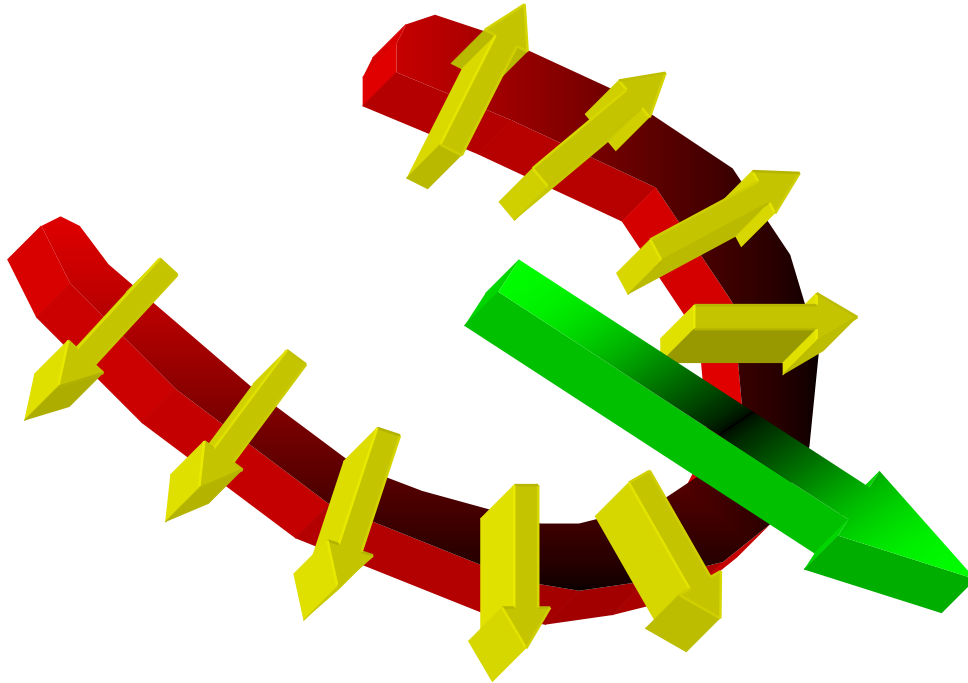


Figura No. 35. Eje eléctrico del QRS. Note que los dos ventrículos se toman como una sola masa y la sumatoria de los múltiples vectores que se produce cuando dicha masa se despolariza da origen a una resultante. Dicha resultante se conoce con el nombre de eje eléctrico del QRS.

GÉNESIS DEL PATRÓN PRECORDIAL

El hecho de que al colocar un electrodo encima del ventrículo derecho (V1) se inscriba una deflexión predominantemente negativa (rS) y sobre el ventrículo izquierdo (V6), una deflexión predominantemente positiva (Rs ó qR), puede ser explicado por la aplicación de la teoría del dipolo y por la teoría vectorial de la despolarización ventricular.

Teoría del Dipolo: En un corazón normal la onda R se hace más alta y la onda S menos profunda a medida que el electrodo examinador se mueva de la derecha hacia la izquierda a través del pecho (derivaciones precordiales V1 a V6). Si a nivel experimental, se estimula eléctricamente un haz muscular desde el extremo izquierdo y se le coloca en el medio un electrodo que permita registrar la actividad eléctrica se observará que: 1) A medida que el dipolo (despolarización) viaja de izquierda a derecha, la carga positiva que guía se acerca más y más al electrodo, por lo que el trazo se hace más y más positivo, hasta que alcanza su pico máximo (pico de la onda R) de positividad en el momento en que la carga positiva está exactamente debajo del electrodo. Inmediatamente después el dipolo se ha movido y la carga negativa está ahora debajo del electrodo ejerciendo su máxima influencia, por lo cual el trazo hace su máxima negatividad (pico de la onda S), 2) Luego, a medida que el dipolo continúa

su camino, el trazo se hace menos negativo hasta que cuando el músculo ha sido activado completamente, el trazo vuelve a la línea isoelectrica (**Ver Fig. 36**).

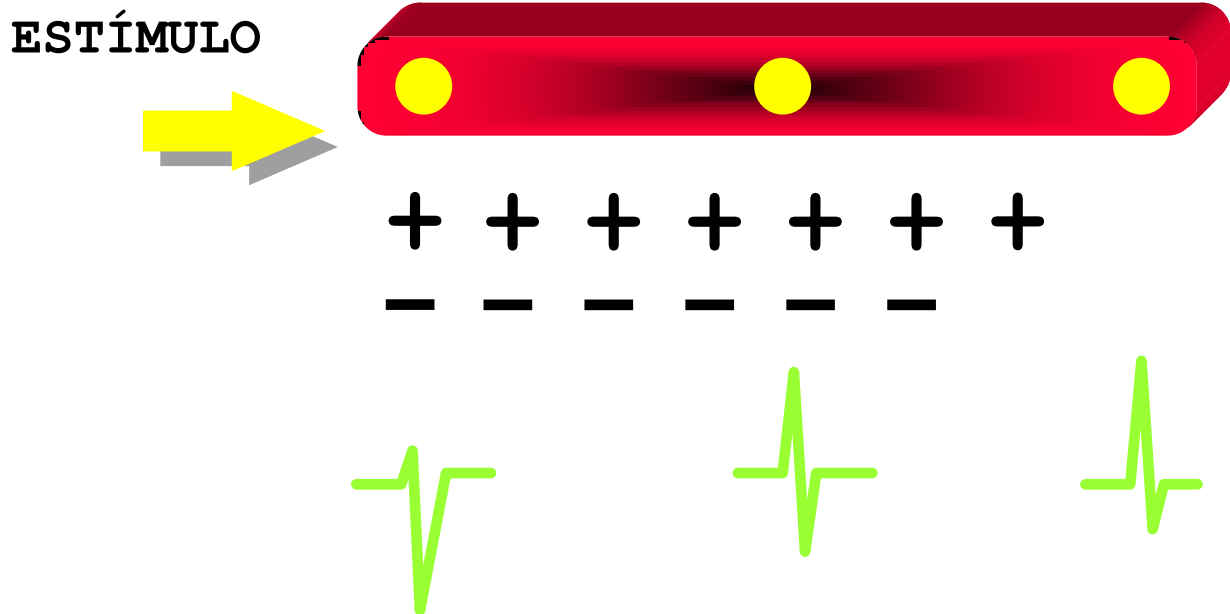


Figura No. 36. Teoría del Dipolo. Ver explicación en el texto.

Teoría Vectorial de Despolarización Ventricular: Durante la secuencia de despolarización del músculo ventricular, el impulso eléctrico desciende por la rama izquierda más rápido que por la rama derecha por lo cual la superficie septal izquierda es activada aproximadamente 10 mseg. antes que la derecha. El resultado neto es que el septo interventricular es activado inicialmente de izquierda a derecha. A continuación, ambas paredes ventriculares son activadas simultáneamente pero debido a que el ventrículo derecho es más delgado que el izquierdo, el impulso atraviesa la pared derecha y llega al epicardio antes que los impulsos del lado izquierdo. La pared muscular izquierda se despolariza inicialmente en la región apical y luego sucesivamente hacia la base. La despolarización ventricular consta de 5 vectores, resultantes de la sumatoria vectorial por regiones de despolarización. El vector 1 es la resultante de la sumatoria de los vectores de despolarización del septum interventricular; el vector 2, de la pared libre del ventrículo derecho; el vector 3, del ápex ventricular; el vector 4, de la pared libre del ventrículo izquierdo y el vector 6, de la base (pared lateral alta) del ventrículo izquierdo (**Ver Fig. 37**).

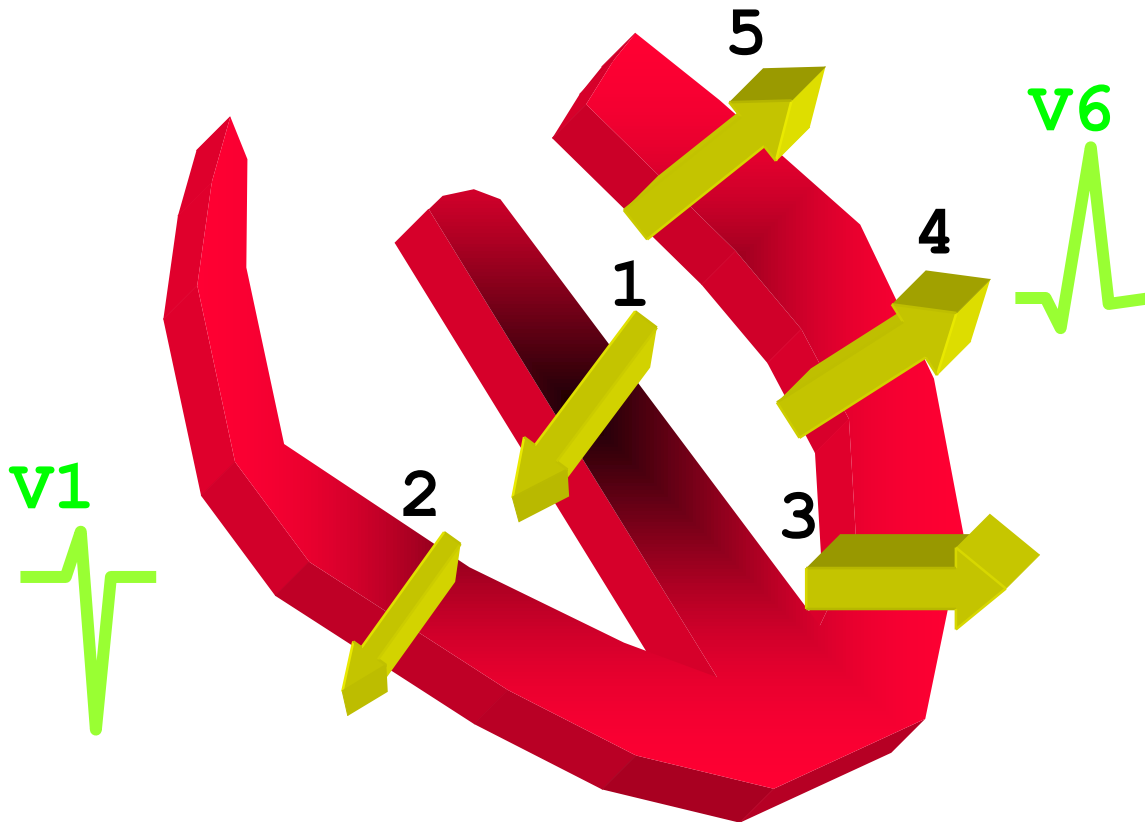
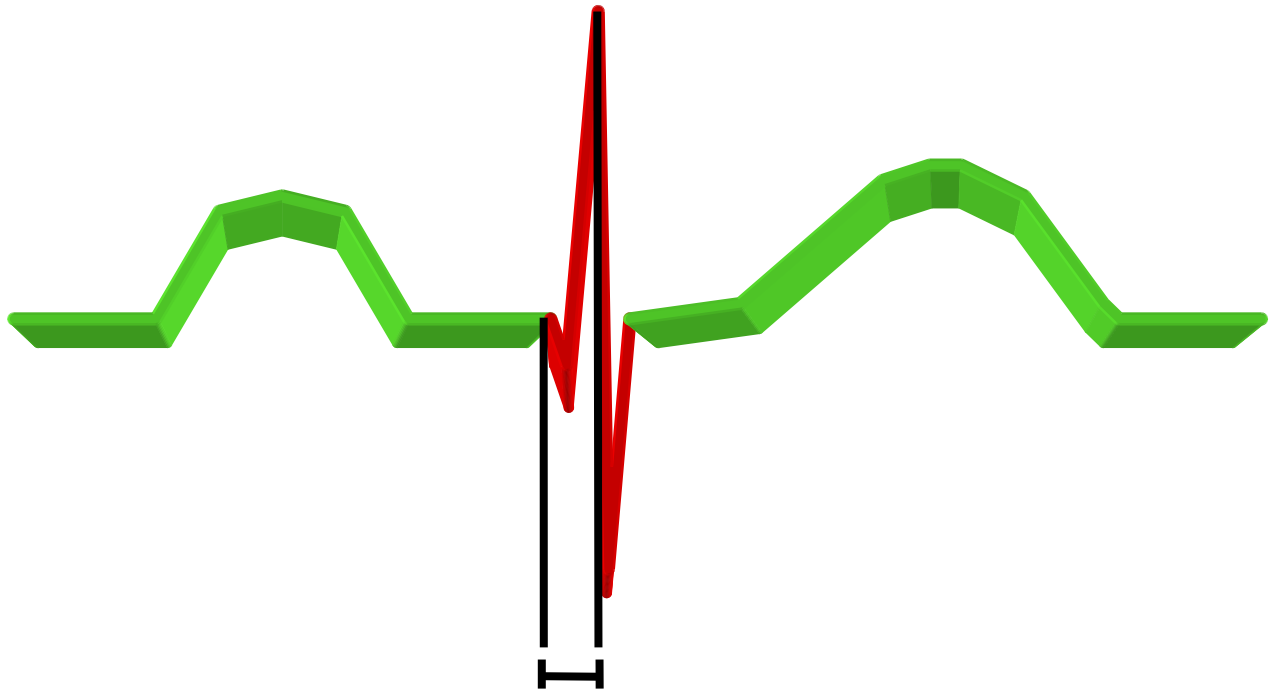


Figura No. 37. Teoría vectorial de despolarización ventricular. La derivación V1 registra una deflexión caracterizada por las letras “rS” debido a que el primer vector de despolarización (despolarización septal) viaja de izquierda a derecha y como se dirige hacia el electrodo de V1, inscribe una deflexión positiva. El segundo vector de despolarización se genera prácticamente al mismo tiempo que el primero y también se dirige hacia el electrodo de V1, por lo cual aumenta la deflexión positiva que se está inscribiendo. Como ambos vectores son poco potentes dan origen a la pequeña onda “r” inicial en V1. Posteriormente, se inscriben los vectores 3, 4 y 5 de despolarización ventricular que representan a la gran masa ventricular izquierda. Como estos vectores se alejan del electrodo de V1 se inscribe una gran onda “S” en dicha derivación. La derivación V6 registra una deflexión caracterizada por las letras “qR” debido a que el primer vector de despolarización se aleja del electrodo por lo cual se inscribe una pequeña onda “q” (llamada q septal), que se complementa con la inscripción del segundo vector que también se aleja. A partir de este momento se generan los vectores 3, 4 y 5 de la gran masa ventricular izquierda, que se dirigen hacia el electrodo de V6 e inscriben una gran onda “R”. La onda S de las derivaciones precordiales derechas y la onda R de las derivaciones precordiales izquierdas representan a la activación ventricular izquierda. De ambos lados del corazón la deflexión mayor representa la activación del ventrículo izquierdo.

TIEMPO DE ACTIVACIÓN VENTRICULAR

Durante la inscripción del complejo QRS a nivel experimental mediante electrodos epicárdicos, la “*deflexión intrínseca*” representa la caída abrupta desde la máxima positividad hacia la máxima negatividad. Debido a que el registro electrocardiográfico no

se obtiene del epicardio sino de electrodos colocados sobre la superficie corporal esta deflección recibe el nombre *de “deflección intrinsecoide o tiempo de activación ventricular”*. El tiempo de activación ventricular (TAV) mide la duración del recorrido del impulso eléctrico desde el endocardio hasta el epicardio de las paredes ventriculares y en el ECG se mide desde el inicio del complejo QRS, bien sea que inicie o no con onda Q, hasta el pico de la onda R (**Ver Fig. 38**).



Deflección Intrinsecoide

Figura No. 38. Tiempo de activación ventricular.

Normalmente, el TAV del ventrículo derecho mide 20 mseg. (medido en derivaciones derechas, Ej.: V1) y el del ventrículo izquierdo mide 40 mseg. (medido en derivaciones izquierdas, Ej.: V6). Esto es debido a que el ventrículo derecho es más delgado que el izquierdo y por lo tanto el impulso eléctrico se demora menos tiempo en atravesarlo. Si el TAV (deflección intrinsecoide) se prolonga por encima de estos valores normales indica que hay un retardo del impulso para alcanzar el epicardio. Las causas más comunes de esta prolongación son la hipertrofia y dilatación ventriculares (las vías de conducción se alargan) y los bloqueos de la conducción (bloqueos de rama y hemibloqueos).

ZONA DE TRANSICIÓN

En el plano horizontal se denomina zona de transición a la derivación precordial que tenga un complejo QRS isodifásico (RS). En una persona normal, la zona de transición se localiza en las derivaciones V3 ó V4 ó entre ellas (**Ver Fig. 39**). Cuando la transición se desvía hacia V1-V2 ó V5-V6 se dice que el corazón ha rotado sobre su eje longitudinal. La mejor forma de entender esta desviación consiste en mirar el corazón desde abajo del

diafragma: así, si el corazón se mueve hacia la izquierda la rotación será antihoraria (**Ver Fig. 40**) y si gira hacia la derecha, la rotación será en el sentido de las manecillas del reloj (**Ver Fig. 41**). La causa más común de desviación de la transición hacia la derecha es la hipertrofia ventricular izquierda y de la desviación hacia la izquierda es la hipertrofia ventricular derecha.

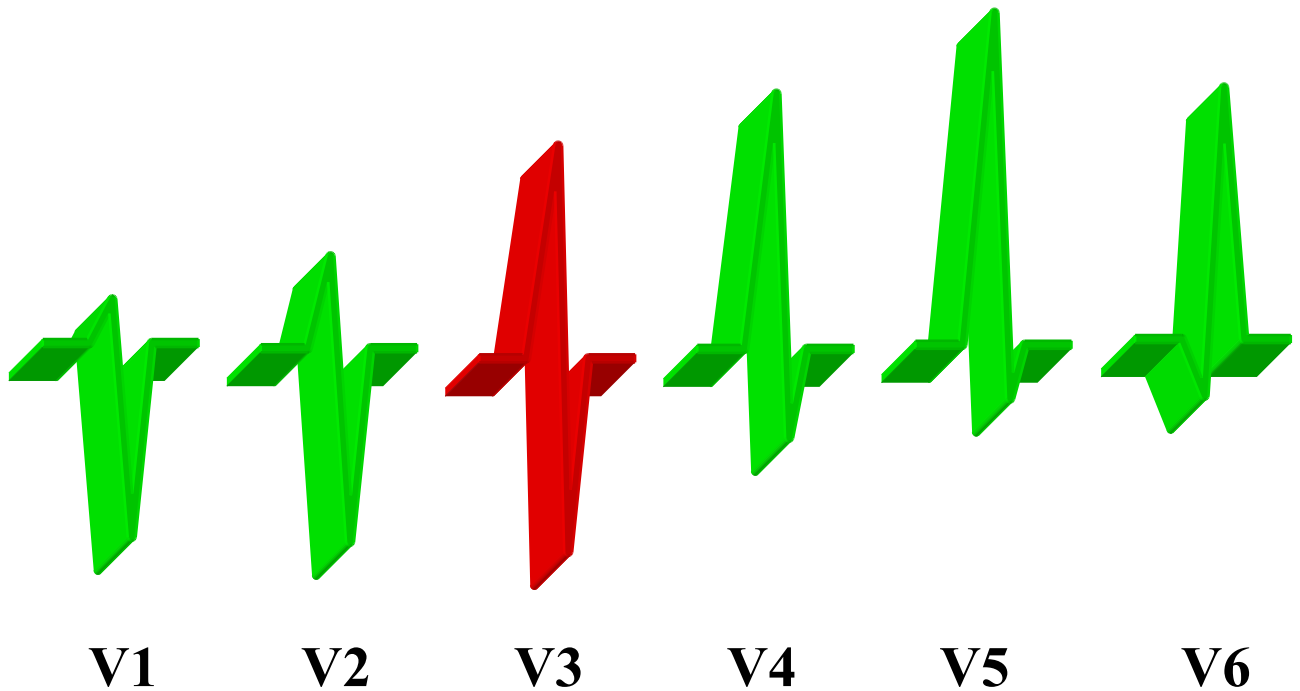


Figura No. 39. Zona de transición precordial. Note que en este ejemplo está localizada en la derivación V3.



Figura No. 40.

Rotación antihoraria. Compare este patrón con el de la figura 39 que es normal.

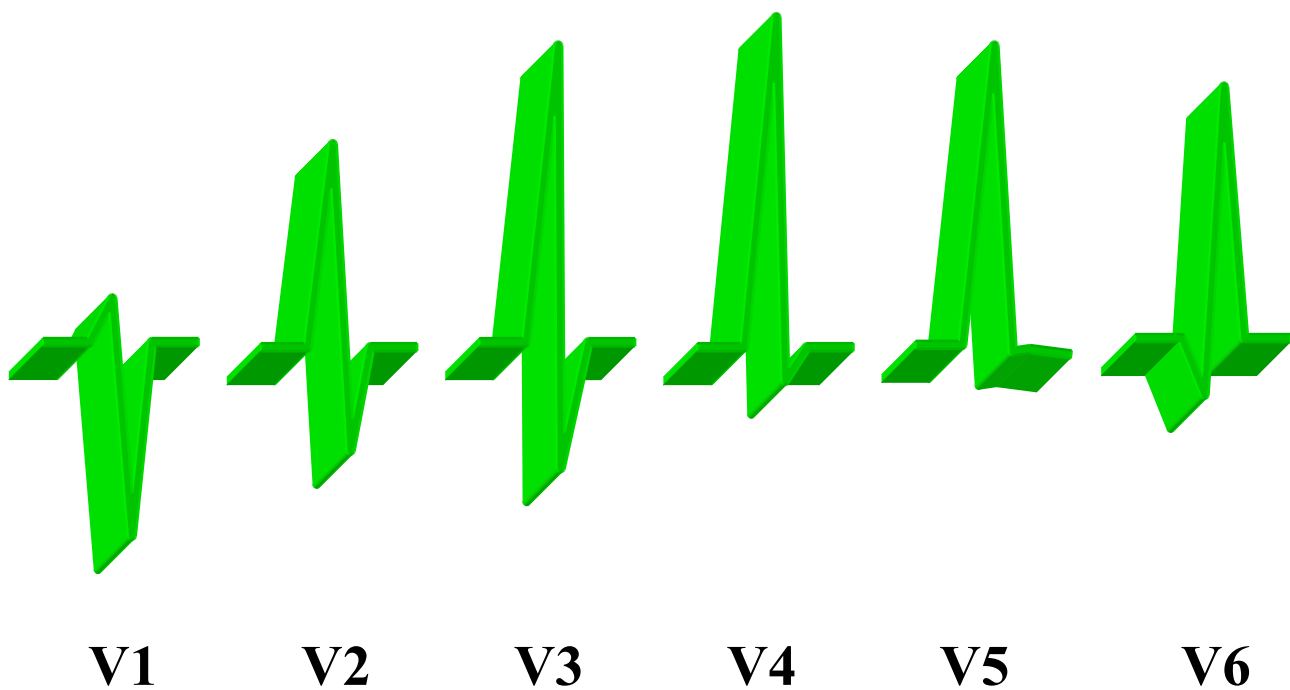


Figura No. 41.

Rotación horaria. Compare este patrón con los dos anteriores.

ÁNGULO SÓLIDO

El corazón en un momento determinado, tiene un número de células que se encuentran en una situación eléctrica diferente de las demás. Esto define unos límites de activación y cada uno de ellos genera un número infinito de dipolos. Para determinar la magnitud del potencial registrado en un electrodo cualquiera es necesario sumar la contribución de todos los dipolos que hacen parte de cada límite de activación. El equivalente de esta suma será un “*Ángulo Sólido*”.

Por definición, se denomina ángulo sólido de un punto con respecto a un cuerpo, a aquella porción de la superficie de una esfera imaginaria en el espacio (cuyo radio es igual a la unidad y cuyo centro coincide con el punto explorador) limitada por todas las líneas rectas que cortando a la esfera, unan el punto explorador con los contornos del cuerpo a explorar. El límite del área (límite de activación) está definido por las zonas del corazón con diferentes potenciales de membrana, V_{m1} y V_{m2} (Ver Fig. 42). El punto explorador corresponde a cualquiera de los electrodos que se colocan en la superficie corporal para registrar el ECG.

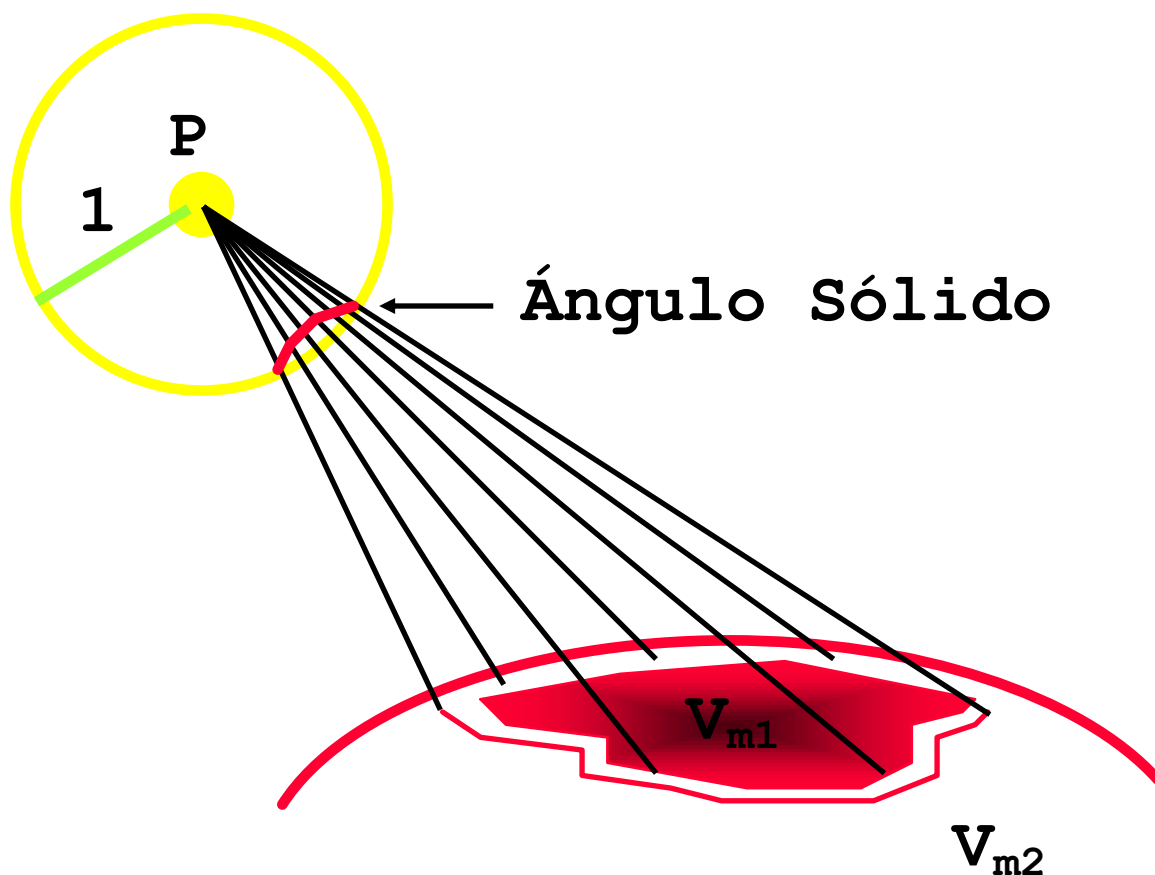


Figura No. 42. Teorema del ángulo sólido.

La magnitud del ángulo sólido es directamente proporcional al radio de los límites de activación e inversamente proporcional a la distancia entre el corazón y el electrodo

explorador. Es decir, mientras más grande sea el área explorada (zona con diferentes potenciales de membrana) más grande será el ángulo sólido y mientras más lejos se encuentre el electrodo explorador del área explorada menor será el ángulo sólido. Esto explica porqué en los pacientes con enfisema pulmonar se observa un trazo electrocardiográfico característicamente de bajo voltaje (aumenta la distancia entre el electrodo del pecho y el corazón, es decir, magnitud inversamente proporcional a la distancia). Así mismo, los potenciales registrados en el ECG son directamente proporcionales al ángulo sólido y a la diferencia de potencial entre los límites del área que en un momento determinado esté siendo explorada. (**Ver Fig. 43**).

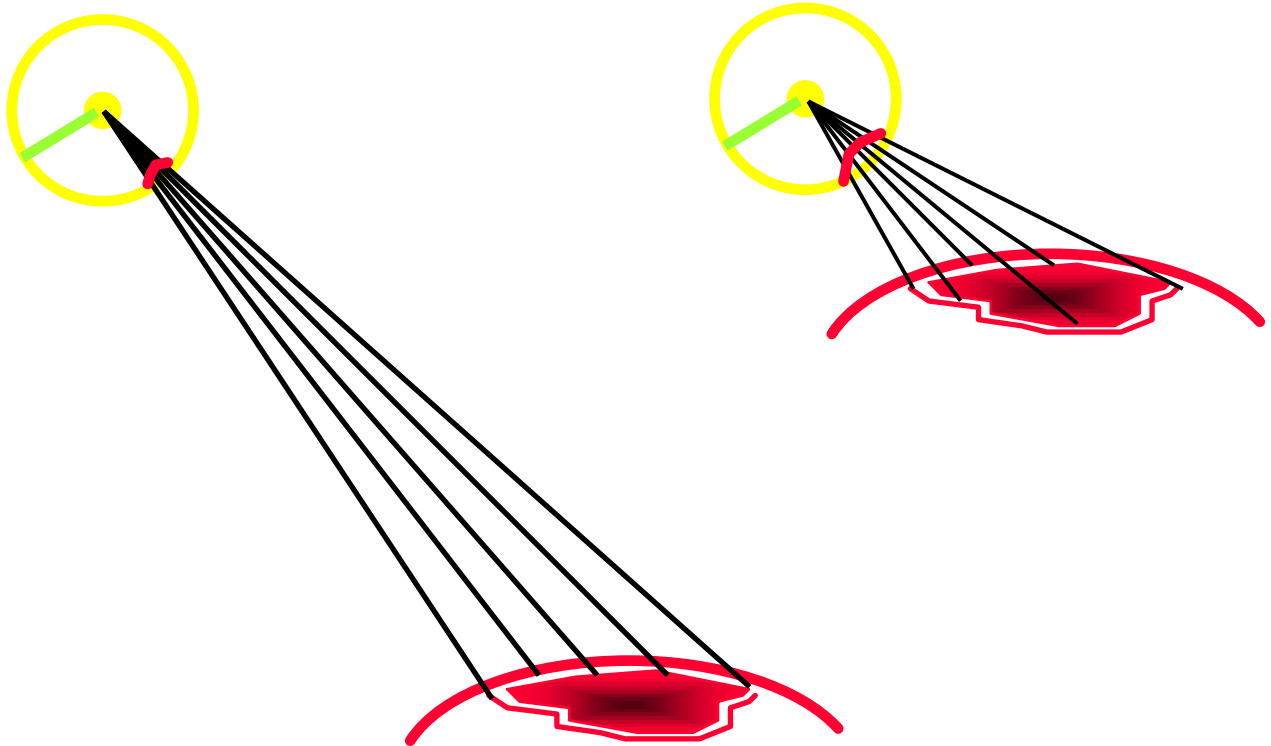
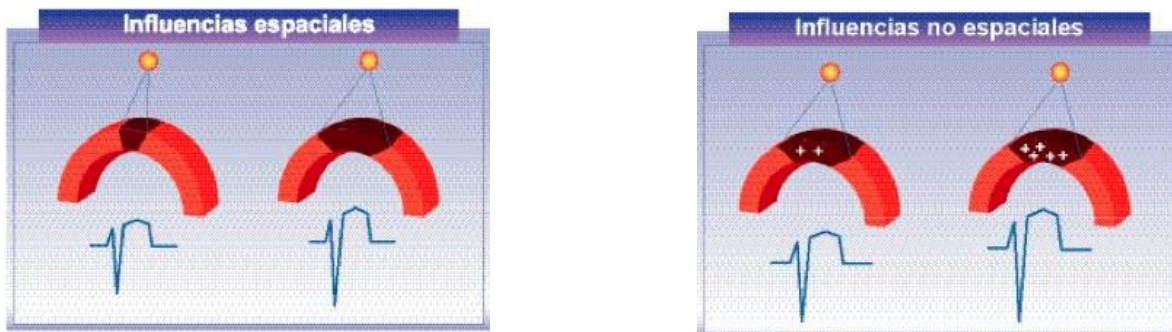


Figura No. 43. A mayor distancia entre el punto explorador y el punto explorado menor será el ángulo sólido. A menor distancia, mayor será el ángulo sólido.

Existen dos maneras de influir sobre el potencial obtenido en el electrodo explorador: 1. Modificando el tamaño del área (límites de activación) y 2. Modificando la diferencia de potenciales en los límites del área explorada.

1. **Modificación del tamaño del área explorada:** Si se aumenta el tamaño del área se aumenta la magnitud del potencial registrado en el electrodo explorador (**Ver Fig. 44**). Esto es lo que se conoce con el nombre de “*influencia espacial*”. Es una influencia netamente geométrica e independiente del potencial de acción de las células cardíacas.



Figuras No. 44 y 45. Influencia espacial (izquierda) y no espacial (derecha) del ángulo sólido. Ver explicación en el texto.

2. **Modificación de la diferencia de potenciales del área explorada:** Sin necesidad de aumentar el tamaño de la zona explorada, se puede aumentar la magnitud del potencial registrado con el sólo hecho de aumentar la diferencia entre los voltajes de transmembrana ($V_{m1} - V_{m2}$) de la zona **explorada** (Ver Fig. 44). A este fenómeno se le llama **“influencia no espacial”**, porque es independiente de la geometría cardíaca y sólo tiene que ver con el potencial de acción.

De acuerdo con lo anterior, la magnitud de la elevación del segmento ST registrada en un electrodo durante un proceso coronario agudo, es función de: el ángulo sólido que se crea entre los límites del área isquémica y la localización del electrodo (influencias espaciales, **figura 44**) y de la diferencia de potenciales de transmembrana de la zona enferma con respecto a la normal (influencias no espaciales).

VECTOCARDIOGRAFÍA

La palabra **“vector”** es un término técnico para representar a la fuerza que al ser aplicado a la electrocardiografía significa **“fuerza eléctrica”**. Como toda la electrocardiografía tiene que ver exclusivamente con fuerzas eléctricas, toda la electrocardiografía por lo tanto es necesariamente vectorial. Sin embargo, el término **“vectocardiografía”** ha sido reservado para aquella forma de electrocardiografía en la cual las fuerzas eléctricas del corazón son representadas por **“flechas”** y **“asas”** en vez de por ondas y complejos.

La vectocardiografía espacial implica que las flechas o asas estén dispuestas en un plano tridimensional y no en forma bidimensional como lo están las ondas y los complejos de la electrocardiografía convencional, también llamada **“Electrocardiografía Escalar”**. El asa sustituye las flechas por una línea continua y se obtiene al unir las puntas de todas las flechas (Ver Fig. 46).

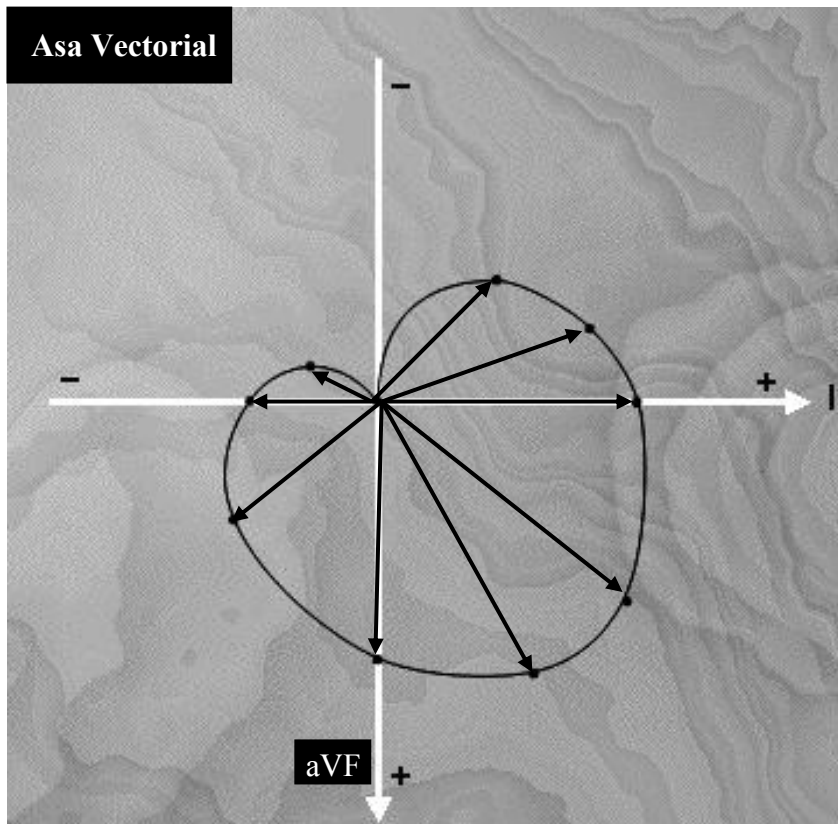


Figura No. 46. Vectocardiografía: representada por asas y flechas.

Como cualquier otra fuerza, un vector tiene tamaño y dirección. Estas dos características pueden ser representadas por una flecha, cuya longitud y grosor sea proporcional al tamaño de la fuerza y su orientación sea dada por la dirección a la que señala la punta (**Ver Fig. 47**). Para la vectocardiografía, la despolarización ventricular genera 10 vectores (producto de la sumatoria de todos los vectores instantáneos que se generan durante la despolarización de la masa ventricular). La sumatoria de los vectores de despolarización cardíaca auricular producen una resultante: el vector de la onda P (más conocido como *Eje de la onda P*) y la sumatoria de la despolarización ventricular: el vector del complejo QRS (más conocido como *Eje del QRS*).

Principios vectoriales

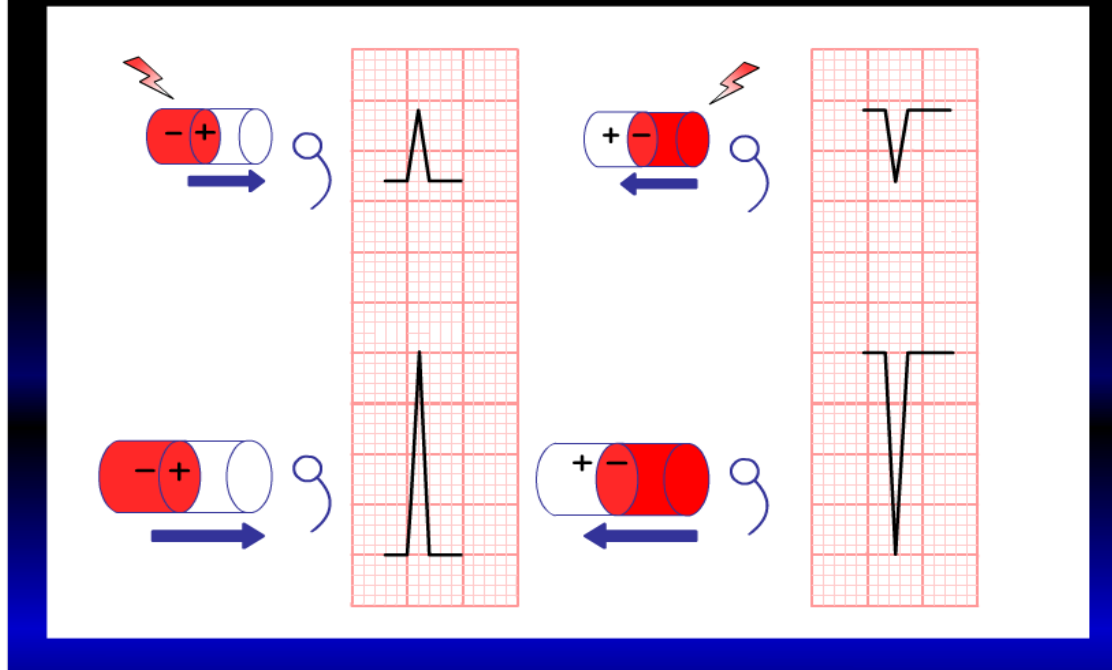


Figura No. 47. Vectores de diferente tamaño y dirección. Note que cuando el vector se aleja del electrodo positivo se produce una deflección negativa y cuando se dirige hacia el electrodo positivo se produce una deflección positiva. Si el tamaño del vector es grande, la deflección será de alto voltaje (figuras inferiores), si es un vector de tamaño pequeño, la deflección será de bajo voltaje (figuras superiores).

Con base en el análisis vectocardiográfico de los pacientes con infarto anteroseptal en presencia de bloqueo de rama izquierda, o infarto inferior en presencia de hemibloqueo anterosuperior o hemibloqueo anterosuperior en presencia de hipertrofia ventricular izquierda, se ha logrado obtener excelentes criterios que aplicados a la electrocardiografía escalar permiten hacer el diagnóstico diferencial entre estas patologías a través de la interpretación del ECG de superficie.

INTERPRETACIÓN O “LECTURA” DEL ELECTROCARDIOGRAMA

El siguiente derrotero es el que más se utiliza para interpretar correctamente un electrocardiograma: Ritmo cardíaco, frecuencia cardíaca, eje eléctrico de la onda P, del QRS y de la onda T, onda P, intervalo PR, intervalo QRS, complejo QRS, segmento ST, onda T, onda U e intervalo QTc.

RITMO CARDÍACO

El ritmo cardíaco normal se conoce con el nombre de “**Ritmo Sinusal**”. Este ritmo se produce cuando la despolarización cardíaca se origina en el nodo sinusal y se conduce hasta la red de Purkinje.

Los criterios para definir un ritmo como sinusal son: (Ver Fig. 48)

1. Onda P que precede a cada complejo QRS.
2. Onda P sin variación de la morfología en una misma derivación.
3. Intervalo PR constante.
4. Intervalo PP constante con intervalo RR constante.
5. Onda P positiva en DI-DII y aVF (eje inferior por despolarización de arriba-abajo).

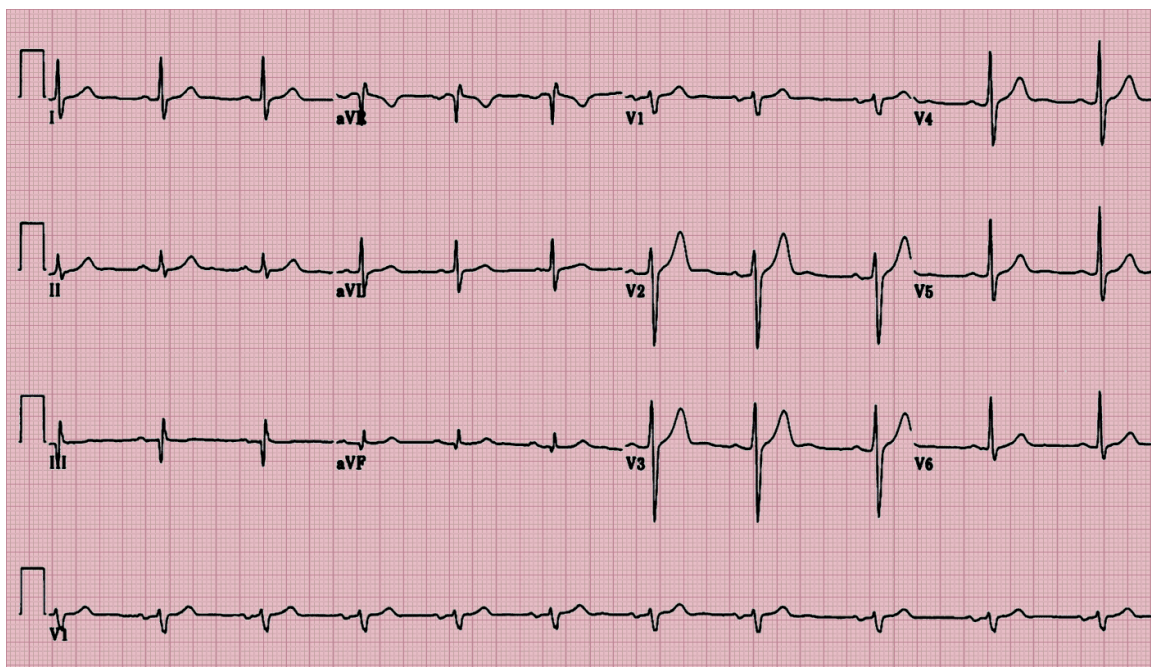


Figura No. 48. Ritmo sinusal normal. Observe que cumple con todas las características arriba mencionadas. Además, presenta una variación del intervalo RR de 80 mseg. entre los primeros complejos y los últimos que se puede apreciar fácilmente en la derivación V1 larga lo que hace el diagnóstico de arritmia sinusal respiratoria.

Arritmia Sinusal: La arritmia sinusal puede ser de dos tipos: **1. Arritmia Sinusal Respiratoria**, en la cual la frecuencia cardíaca aumenta con la inspiración (acorta el intervalo RR) y disminuye con la espiración (alarga el intervalo RR), al parecer se debe a cambios en el tono vagal secundarios a un reflejo de la vasculatura pulmonar y sistémica que sucede durante la respiración. Si la variación es menor de **160 mseg.** se denomina arritmia sinusal respiratoria (Ver Fig. 48) y **2. Arritmia Sinusal No Respiratoria:** se llama así cuando la variación es mayor de **160 mseg.** y no guarda relación con la fase de la respiración. Esta arritmia usualmente se observa en los pacientes que reciben digital o morfina o en pacientes con edad avanzada y enfermedad cardíaca o después de infarto agudo de miocardio (IAM) inferior o durante la convalecencia de una enfermedad aguda o cuando hay un aumento de la presión intracraneana.

Otros Tipos de Ritmo Cardíaco

Ritmos de Escape: Cuando por alguna razón el nodo sinusal pierde el comando sobre la actividad eléctrica cardíaca se presentan los ritmos de escape con el fin de evitar un paro cardíaco y por ende un desenlace fatal. Los dos ritmos de escape más frecuentes cuando esto sucede son *el Ritmo Idiojuncional* y *el Ritmo Idioventricular*.

Ritmo Idiojuncional: Cuando el nodo sinusal deja de funcionar adecuadamente, el tejido de la unión auriculoventricular (AV) manifiesta su automatismo o capacidad de dispararse espontáneamente y se apodera del ritmo cardíaco.

Características del Ritmo Idiojuncional: (Ver Fig. 49)

1. Ausencia de onda P normal o presencia de bloqueo AV completo con onda P normal e intervalo PP constante que no coincide con el intervalo RR también constante (disociación AV).
2. Ocasionalmente se pueden observar latidos de captura (cuando el nodo sinusal produce un latido completo, es decir, captura el ritmo cardíaco por un sólo latido).
3. Frecuencia cardíaca entre 40 y 60 latidos por minuto (lpm).
4. Intervalos RR constantes con complejos QRS de características normales.



Figura No. 49. Ritmo idiojuncional. Note la ausencia de onda P, intervalos RR constantes con complejos QRS de características normales y frecuencia cardíaca de 56 lpm.

Ritmo Idioventricular: Cuando el nodo sinusal deja de funcionar adecuadamente y el tejido de la unión por alguna razón no es capaz de reaccionar en forma oportuna, se aumenta el automatismo del tejido de Purkinje Ventricular y se produce el ritmo de escape idioventricular.

Características del Ritmo Idioventricular: (Ver Fig. 50)

1. Ausencia de onda P normal o presencia de bloqueo AV completo con onda P normal e intervalo PP constante que no coincide con el intervalo RR también constante (disociación AV).
2. Frecuencia cardíaca entre 15 y 40 lpm.
3. Intervalos RR constantes con complejos QRS de aspecto ventricular (semejan a una extrasístole ventricular, es decir, anchos y con la onda T opuesta al complejo QRS).

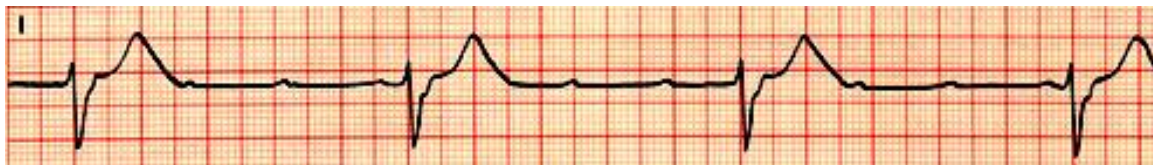


Figura No. 50. Ritmo idioventricular. Se observan ondas P que no conducen por presencia de bloqueo AV completo (disociación AV). El ritmo de escape es de tipo ventricular con complejos QRS anchos y onda T opuesta al QRS y la frecuencia es de 30 lpm.

Estos ritmos se llaman de escape porque es la forma como el corazón “*escapa*” de la asistolia, el bloqueo sinoatrial completo, el bloqueo AV completo y la bradicardia sinusal severa.

El ritmo puede ser *regular* o *irregular*. El ritmo sinusal se considera regular cuando los intervalos PP y RR son iguales y constantes. El ritmo idiojuncional y el ritmo idioventricular se consideran regulares cuando los intervalos RR son constantes sin importar la presencia de las ondas P. Los ritmos irregulares se caracterizan por tener intervalos RR variables y pueden o no ser de origen sinusal.

Causas de Ritmos Irregulares: (Ver Fig. 51 a 53)

1. Presencia de extrasístoles supraventriculares o ventriculares (bien sea aisladas, en pares o en bigeminismo).
2. Presencia de Fibrilación Atrial.

3. Presencia de Taquicardia Atrial Multifocal.
4. Presencia de bloqueos AV de segundo grado.
5. Presencia de Arritmia Sinusal.



Figura No. 51. Ritmo sinusal irregular interrumpido por un complejo atrial prematuro (extrasístole supraventricular). Observe que el quinto complejo QRS sucede con una distancia menor que los precedentes, la onda P es de diferente morfología a las previas y el complejo QRS es de características normales.



Figura No. 52. Ritmo sinusal irregular por la presencia de arritmia sinusal respiratoria y de un complejo ventricular prematuro (extrasístole ventricular). Observe que el complejo QRS número 9 de izquierda a derecha, tiene morfología y dirección diferente a los previos y no tiene onda P precedente.



Figura No. 53. Ritmo irregular por la presencia de fibrilación atrial. Note la ausencia clara de ondas P que han sido reemplazadas por ondas "f" y la marcada variabilidad del intervalo RR. En este caso el ritmo no es de origen sinusal.

FRECUENCIA CARDÍACA

La frecuencia cardíaca puede ser medida de las siguientes formas utilizando el electrocardiograma:

1. En la parte superior del papel se encuentra una marca cada 3 segundos. Para utilizar este método se cuenta el número de complejos QRS que haya en un intervalo de 6 segundos y este valor se multiplica por 10. Este es un método útil especialmente cuando el intervalo RR es muy irregular (como en la fibrilación atrial) o cuando la frecuencia cardíaca es mayor de 100 lpm.
2. El método más exacto de medir la frecuencia cardíaca utilizando el ECG consiste en contar el número de cajoncitos pequeños que existen entre un complejo QRS y otro (intervalo RR) y dividir a 1.500 por ese valor. Ej: si entre un complejo QRS y otro se cuentan 10 cajoncitos, se divide $1.500/10 = 150$. La frecuencia cardíaca en este ejemplo es de 150 lpm. La constante 1500 proviene de que el electrocardiógrafo recorre 1500 cajoncitos en 1 minuto cuando se utiliza una velocidad de 25 mm/seg.
3. También, se puede contar el número de cajones grandes que existan entre un complejo QRS y otro (intervalo RR) y ese número divide a 300. Ej: Si en un intervalo RR hay 2 cajones grandes, se divide $300/2 = 150$. El valor obtenido será la frecuencia cardíaca calculada, 150 lpm.
4. Finalmente, una forma fácil de calcular la frecuencia cardíaca consiste en memorizar cuanto vale cada raya oscura del papel del electrocardiograma y se empieza a contar a partir de la raya oscura que sigue a un complejo QRS que cae exactamente sobre la raya oscura previa. El valor para estas rayas oscuras es: 300, 150, 100, 75, 60, 50, 43, 37, 33 y 30. Cuando el segundo complejo QRS no cae exactamente sobre una raya oscura hay que tener en cuenta que entre cada raya oscura hay cinco cajoncitos de diferencia y el valor de estos cajoncitos variará de acuerdo a entre que números se encuentre. Ej: entre las dos primeras rayas oscuras, 300 y 150, hay 5 cajoncitos que equivalen a 150 ($300 - 150 = 150$). De donde cada cajoncito pequeño vale

30 ($30 \times 5 = 150$). Entre 150 y 100, hay 5 cajoncitos que equivalen a 50 ($150 - 100 = 50$). De donde cada cajoncito pequeño vale 10 ($10 \times 5 = 50$). (Ver Fig. 54).

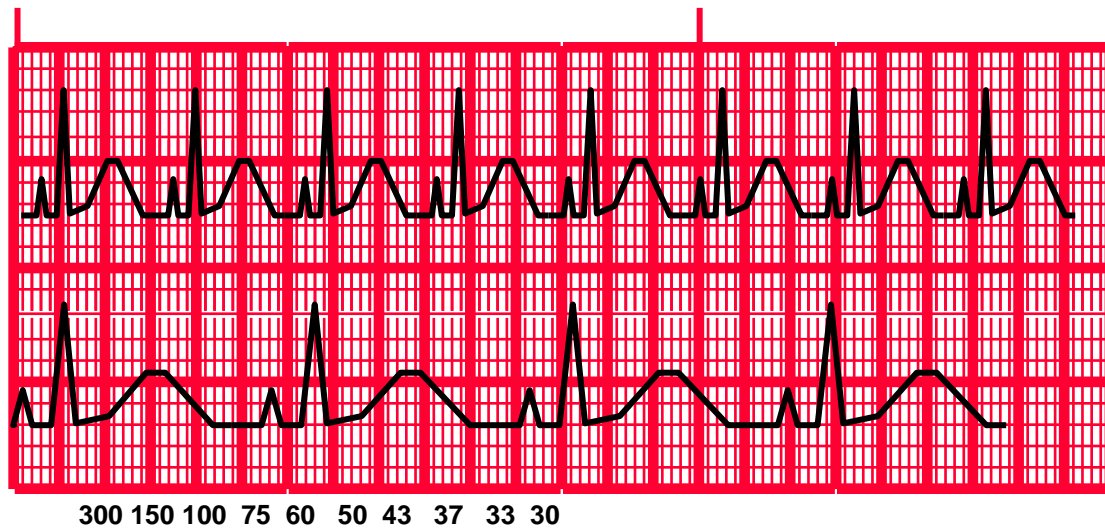


Figura No. 54. Medición de la frecuencia cardíaca. En el trazo superior si se toma el primer complejo QRS se puede determinar que la frecuencia cardíaca es de 100 lpm pues el siguiente complejo QRS cae en la tercera línea oscura. En el trazo inferior la frecuencia cardíaca es de 54 lpm.

EJE ELÉCTRICO DEL QRS

Para calcular el eje eléctrico del complejo QRS (eje eléctrico de la despolarización ventricular) hay que conocer primero las teorías del triángulo de Einthoven y del sistema hexoaxial.

Triángulo de Einthoven: Einthoven partió de la premisa de que el cuerpo humano representa un conductor de gran volumen que tiene la fuente de la actividad cardíaca eléctrica en su centro. Para demostrar utilizó un sistema triaxial (tres ejes) tomando como ejes a las 3 derivaciones estándar, DI, DII y DIII (Ver Fig. 55).

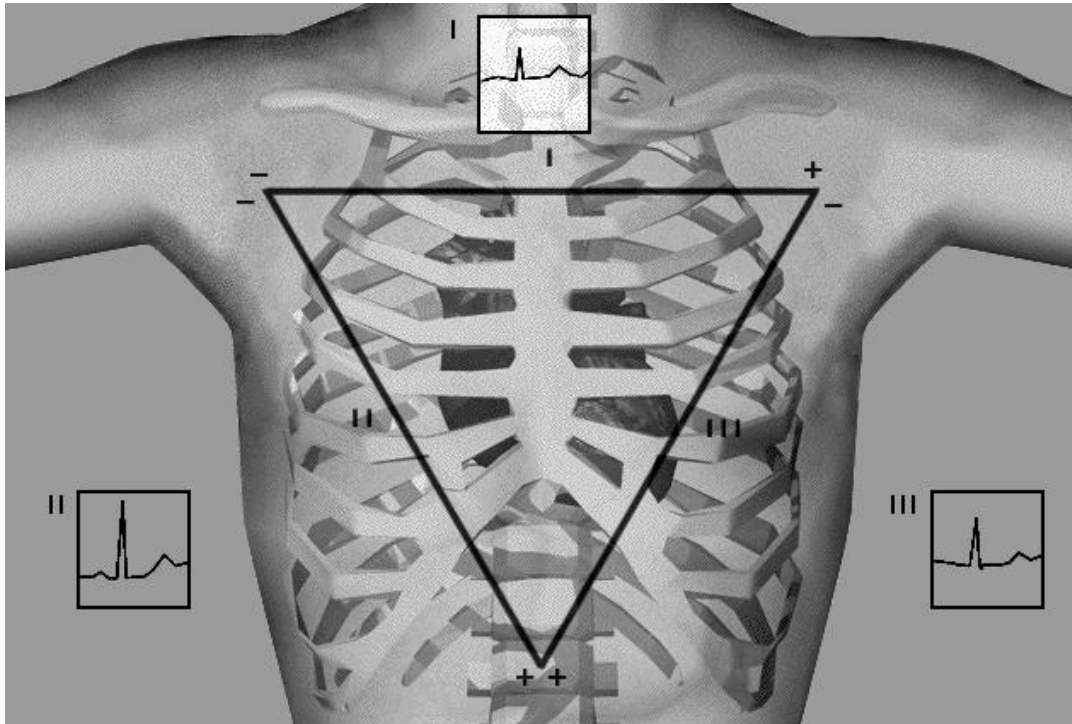


Figura No. 55. Triángulo de Einthoven. Note que el corazón ocupa el centro de este triángulo.

Sistema Hexoaxial: Posteriormente, este sistema triaxial se unió con las 3 derivaciones unipolares de las extremidades representadas en un plano cartesiano y se obtuvo el sistema hexoaxial. El sistema hexoaxial está conformado por las 6 derivaciones del plano frontal, DI, DII, DIII, aVR, aVL y aVF. Desde un principio se estipuló que la asignación de grados se haría desde $+0^\circ$ hasta $+180^\circ$ partiendo del eje horizontal en el sentido de las manecillas del reloj y desde -0° hasta -180° partiendo del eje horizontal en el sentido contrario de las manecillas del reloj. Hay que tener en cuenta que 180° puede ser $+180^\circ$ ó -180° y por eso se puede representar como $\pm 180^\circ$. Las derivaciones conservaron el signo $+$ ó $-$ en la misma dirección que llevan en el cuerpo humano (Ver Fig. 56).

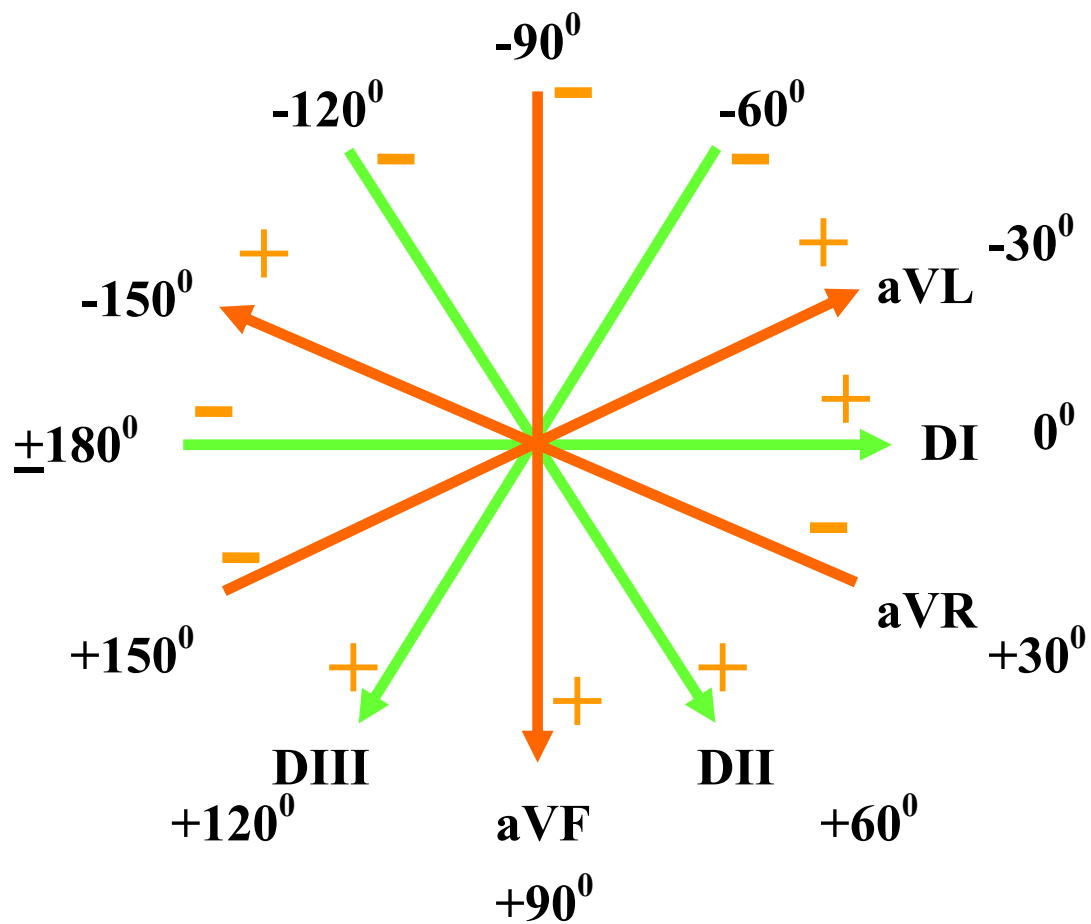


Figura No. 56. Sistema hexoaxial. Note que los signos del valor en grados no dependen de los signos de las derivaciones.

Con el fin de analizar mejor la dirección de las corrientes eléctricas en el corazón es muy útil siempre que se piense en el sistema hexoaxial considerar que éste se debe interpretar como si estuviera montado sobre el pecho del paciente (Ver Fig. 57).

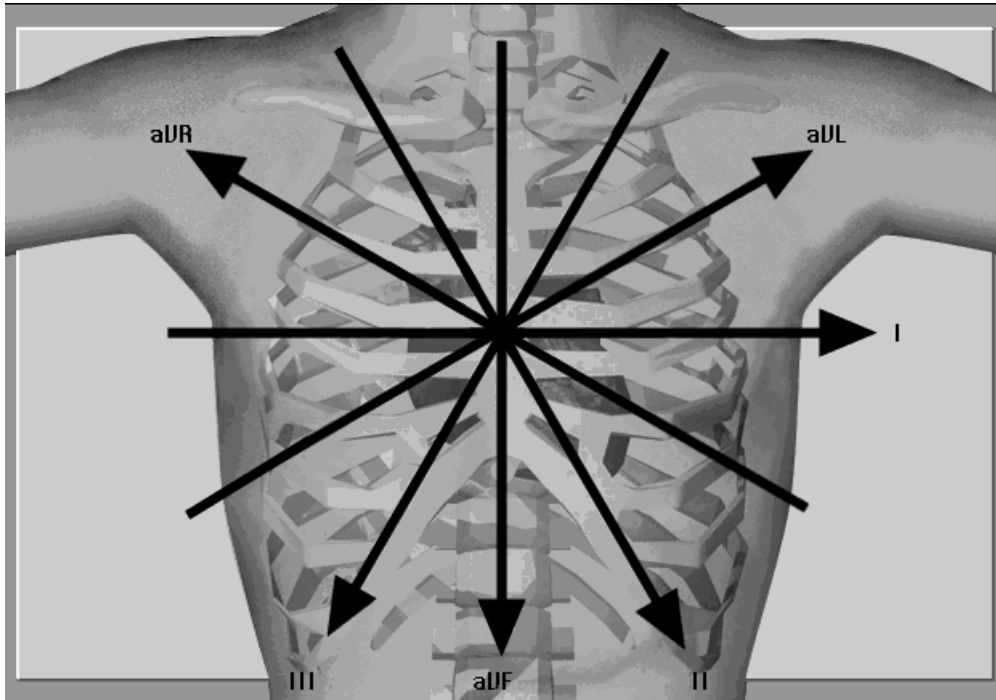


Figura No. 57. Sistema hexoaxial localizado sobre el tórax con el punto central que coincide con el centro eléctrico del corazón.

El eje del QRS normalmente se encuentra entre 0 y + 90 grados (algunos autores aceptan como normal valores entre -30 y + 120°). Sin embargo, la mayoría de las personas tienen el eje eléctrico del QRS aproximadamente en + 60°. De acuerdo con este rango las desviaciones del eje del QRS se clasifican así:

Desviación leve del eje a la izquierda:	0 a -30°
Desviación marcada del eje a la izquierda:	-30 a -90°
Desviación leve del eje a la derecha:	+90 a +120°
Desviación marcada del eje a la derecha:	+120 a ±180°

Las desviaciones leves del eje hacia la izquierda se presentan en los pacientes con hipertrofia ventricular izquierda (HVI) y en los pacientes obesos. Las desviaciones marcadas a la izquierda se presentan en los pacientes con hemibloqueo anterosuperior e HVI marcada. Las desviaciones leves del eje hacia la derecha son normales en los niños menores de 2 años y en forma patológica se observan en los pacientes con hipertrofia ventricular derecha. Las desviaciones marcadas a la derecha se presentan en los pacientes con hemibloqueo posteroinferior.

Los 4 cuadrantes que se forman en el sistema hexoaxial son:

1. Inferior izquierdo: Entre 0 y +90°
2. Inferior derecho: Entre +90 y ±180°
3. Superior izquierdo: Entre 0 y -90°
4. Superior derecho: Entre -90 y ±180°

El cuadrante superior derecho (-90 y ±180°) se conoce también con el nombre de **“La Tierra de Nadie”** ya que cuando el eje del QRS se encuentra en ese cuadrante nadie es capaz de definir por donde llegó; es decir, si fue por una desviación extrema izquierda o extrema derecha. Cuando el eje se encuentra en este cuadrante es posible que el electrocardiograma esté mal tomado o que el paciente tenga una patología cardiopulmonar muy severa.

DETERMINACIÓN DEL EJE

Una vez familiarizados con el sistema hexoaxial es posible determinar con exactitud en que cuadrante y en que grados se encuentra el eje del QRS en el plano frontal (no es rutinario obtener el eje en el plano horizontal). El primer paso a seguir consiste en determinar en que cuadrante se localiza el eje. La forma más fácil consiste en

observar la positividad o negatividad de las derivaciones DI y aVF en el electrocardiograma que se está interpretando. Con base en este análisis se obtienen cuatro cuadrantes posibles:

DI (+) y aVF (+): Cuadrante inferior izquierdo (0 a $+90^\circ$)

DI (+) y aVF (-): Cuadrante superior izquierdo (0 a -90°)

DI (-) y aVF (+): Cuadrante inferior derecho ($+90$ a $\pm 180^\circ$)

DI (-) y aVF (-): Cuadrante superior derecho (-90 a $\pm 180^\circ$)

En el segundo paso, se busca en el plano frontal una derivación que sea isodifásica perfecta (es decir que la onda R mida lo mismo que la onda S en voltaje) y el eje estará en la derivación perpendicular a ella (**Ver Fig. 58**) en el cuadrante predeterminado en el primer paso. Si en el plano frontal no existe una derivación isodifásica perfecta, se busca la derivación que tenga el voltaje más bajo y el eje estará cerca a la derivación perpendicular a ella, en el cuadrante predeterminado o se busca la derivación que tenga el voltaje más alto y en este caso el eje estará o paralelo o en la misma derivación (**Ver Fig. 59**). Se debe recordar que en electrofisiología un impulso eléctrico produce la deflexión más grande (de mayor voltaje) en la derivación que siga su recorrido en paralelo y la deflexión más pequeña (de menor voltaje) en la derivación perpendicular.

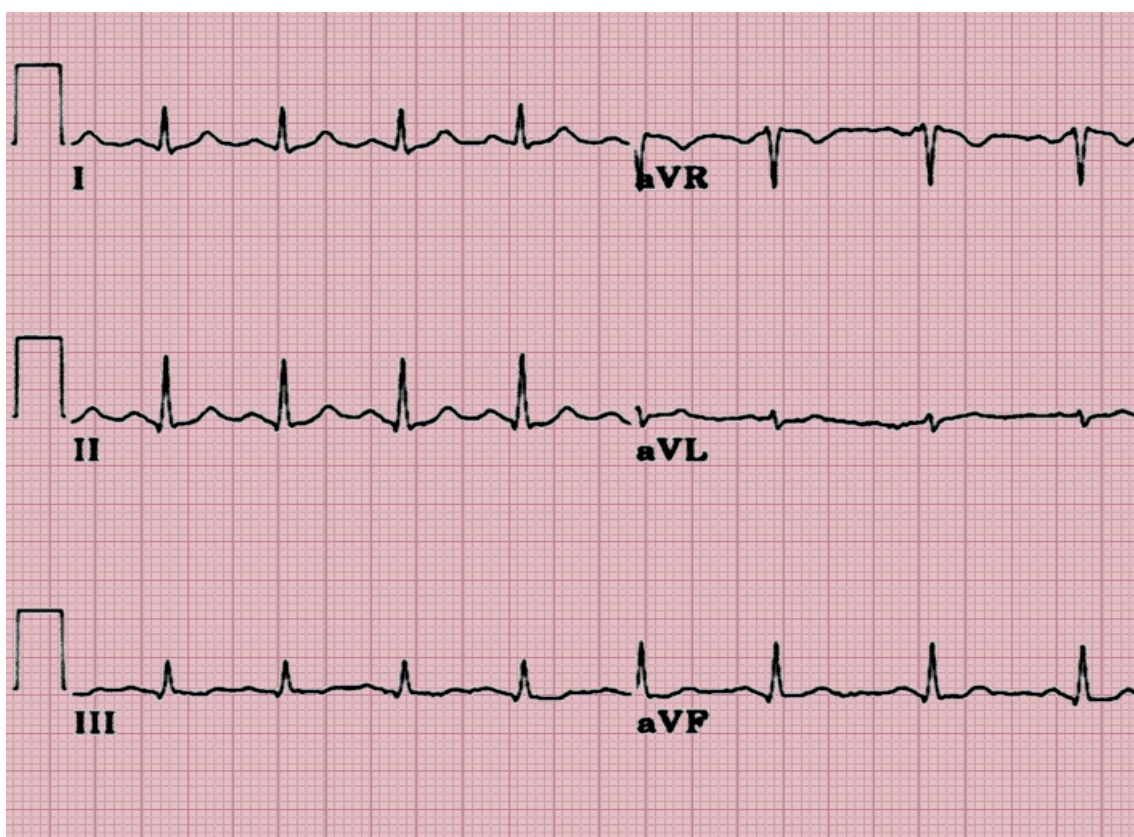


Figura No. 58. Determinación del eje eléctrico del QRS. Las derivaciones DI y aVF son positivas lo que hace que el cuadrante se encuentre localizado en la región inferior izquierda (0° a $+90^\circ$). Note que la derivación aVL tiene una morfología isodifásica perfecta del complejo QRS por lo cual el eje eléctrico del QRS estará localizado en la derivación DII ($+60^\circ$) que es la perpendicular a aVL.

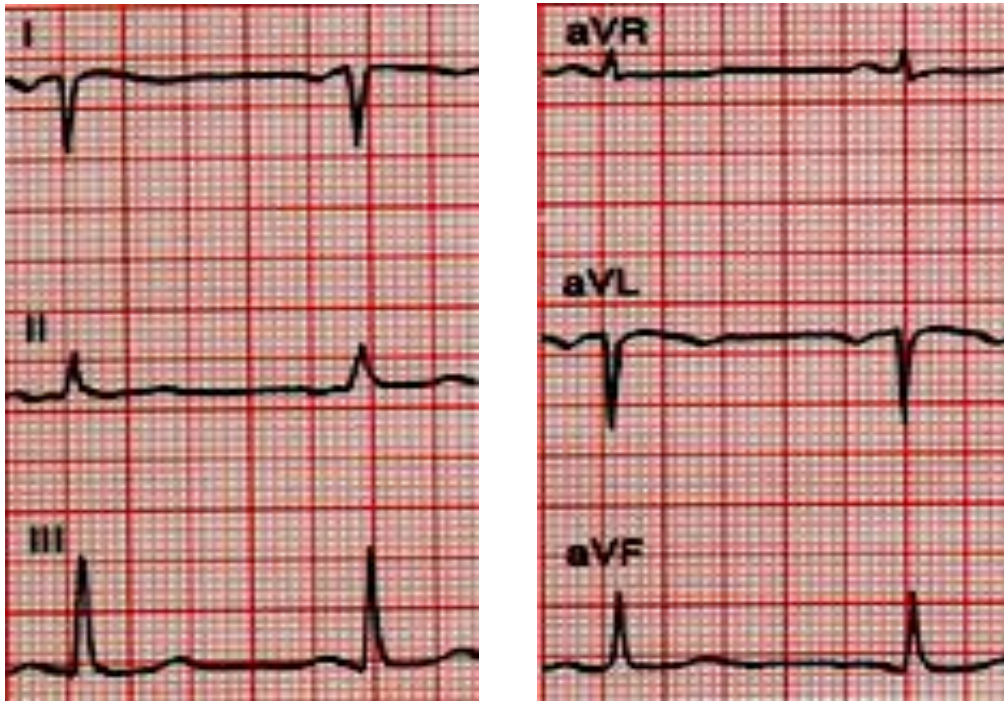


Figura No. 59. Determinación del eje eléctrico del QRS. La derivación DI es negativa y aVF es positiva, por lo tanto el cuadrante del eje estará localizado en la región inferior derecha ($+90^\circ$ a $\pm 180^\circ$). No existe ninguna derivación isodifásica perfecta por lo cual se debe tomar la derivación con el más alto voltaje ya que hacia ella estará dirigido el eje. En este caso la derivación de más alto voltaje es DIII lo que sugiere que el eje eléctrico del QRS está en $+120^\circ$ o cerca de este valor. Igualmente, la derivación de menor voltaje es aVR y la perpendicular es DIII.

CAUSAS DE DESVIACIÓN DEL EJE DEL QRS

Desviación a la izquierda:

1. Variación normal.
2. Desviaciones mecánicas: cualquier fenómeno que eleve los hemidiafragmas (embarazo, espiración, ascitis y tumores abdominales).
3. Hipertrofia ventricular izquierda (HVI).
4. Bloqueos: Hemibloqueo anterosuperior (HAS) y Bloqueo de rama izquierda (BRI).
5. Defectos del cojín endocárdico: Cardiopatías congénitas.
6. Síndrome de Wolff-Parkinson-White (WPW).

Desviación a la derecha:

1. Variación normal.
2. Desviaciones mecánicas: Cualquier fenómeno que deprima los hemidiafragmas: Inspiración profunda y enfisema.
3. Hipertrofia ventricular derecha (HVD).
4. Dextrocardia.
5. Síndrome de WPW.

EJE INDETERMINADO

Cuando el complejo QRS es isodifásico en todas las derivaciones del plano frontal se dice que el eje es indeterminado. En estos casos se puede determinar el eje inicial de las ondas R y posteriormente el eje terminal de las ondas S y sacar un promedio. Esto sucede frecuentemente en los pacientes que presentan bloqueo de rama derecha en el ECG.

EJE DE LA ONDA P

El eje normal de la onda P en el plano frontal varía entre 0 y +80°. Se determina buscando la derivación del plano frontal que tenga la onda P más plana o aplanada y el eje estará en la perpendicular a ella. El cuadrante se determina de acuerdo con la positividad o negatividad de la onda P en DI y aVF similar al eje del QRS.

EJE DE LA ONDA T

El eje normal de la onda T en el plano frontal varía entre 0 y +90°. El eje de la onda T debe conservar una dirección muy similar a la del eje del QRS. En el plano horizontal el eje de la onda T varía entre -45 y +45° alrededor del eje del QRS. En el plano frontal se determina buscando la derivación con la onda T más plana o aplanada y el eje estará en la perpendicular a ella. El cuadrante se determina de acuerdo con la positividad o negatividad de la onda T en DI y aVF. En el plano horizontal el eje de la onda T en términos generales se puede determinar evaluando la positividad o negatividad de la onda T en V1 y V6. Si la onda T es positiva en V1 y V6 el eje estará en +45° y si en V1 es negativa y en V6 es positiva, el eje estará en -45°.

ONDA P

Su valor normal es de 80-110 mseg. de duración (anchura) y menor de 0.25 mV (2.5 mm) de voltaje (amplitud). Normalmente es positiva en DI, DII, aVF y de V4 a V6, negativa en aVR y variable en DIII, aVL y de V1 a V3. Es normal que sea isodifásica en DIII y V1. Cuando la onda P es isodifásica, su porción negativa terminal no debe ser mayor de 0.1 mV de amplitud ni de 40 mseg. de duración, para ser considerada como normal.

Anormalidades de la onda P

1. **Onda P invertida:** Cuando el impulso eléctrico viaja a través de la aurícula por una vía diferente a la normal puede producir una onda P invertida a lo que normalmente debería ser en una determinada derivación (Ej. Onda P negativa en DI). El ritmo auricular ectópico, la taquicardia atrial ectópica, el ritmo idiojuncional y el marcapaso migratorio son las causas más frecuentes de este hallazgo (**Ver Fig. 60**).
2. **Onda P ancha y/o mellada:** Esta onda se conoce con el nombre de “**P Mitrale**”. Se observa principalmente en el crecimiento aislado de la aurícula izquierda como sucede principalmente en los pacientes con valvulopatía mitral (estenosis mitral) pero también puede ser observada en otras causas de crecimiento auricular izquierdo. La onda P se considera ancha cuando su duración es >110 mseg. y mellada cuando entre pico y pico de la melladura hay más de 40 mseg. de distancia (**Ver Fig. 60**). Este tipo de onda P es de mayor voltaje en DI (derivación izquierda) que en DIII (derivación derecha).
3. **Onda P alta y picuda:** Se observa principalmente en el crecimiento de la aurícula derecha secundario a enfermedades pulmonares por lo cual se conoce con el nombre de “**P Pulmonale**”. Tiene una anchura normal y un voltaje >0.25 mV. Este tipo de onda P es de mayor voltaje en la derivación DIII que en DI (**Ver Fig. 60**).
4. **Onda P difásica:** Es la onda P que presenta una porción inicial positiva y terminal negativa. Se puede observar normalmente en DIII y V1 debido a que estas derivaciones son derechas y por lo tanto inscriben una deflexión positiva durante la despolarización de la aurícula derecha (el vector se acerca) y una deflexión negativa durante la despolarización de la aurícula izquierda (el vector se aleja). (**Ver Fig. 60**). La porción negativa de esta onda debe ser menor de 40 mseg. de ancho y menor de 0.1 mV de voltaje para ser considerada como normal.
5. **Ausencia de onda P:** Se presenta en aquellos pacientes con bloqueo sinoatrial completo o incompleto y en algunos pacientes con ritmo de escape idiojuncional (**Ver Fig. 61**).

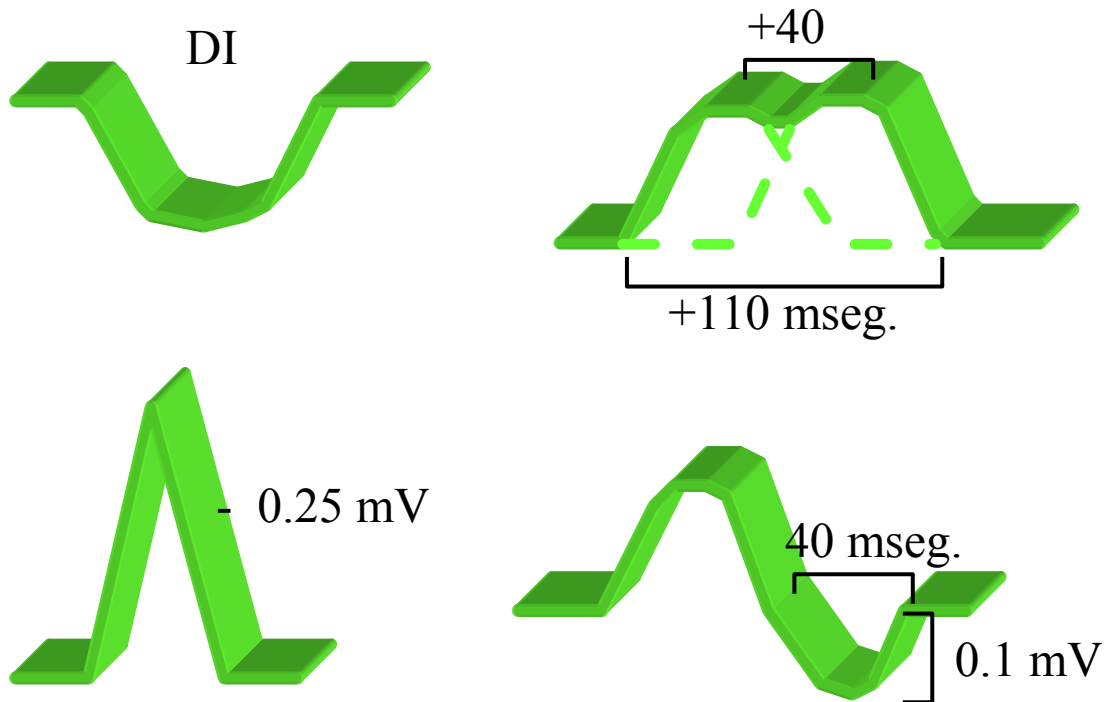


Figura No. 60. Diferentes morfologías de la onda P. Arriba izquierda: onda P invertida en derivación DI. Arriba derecha: onda P mitrale. Abajo izquierda: onda P pulmonale y Abajo derecha: onda P difásica.



Figura No. 61. Ausencia de onda P debido a la presencia de un ritmo de escape de la unión con una respuesta ventricular muy lenta.

ONDA T_p ó T_a: Representa la fase de repolarización auricular. Normalmente se inscribe al mismo tiempo que el complejo QRS por lo cual no se ve al ECG. Su polaridad es opuesta a la de la onda P. Se puede observar en los pacientes con intervalo PR prolongado (bloqueo AV de primer grado) y en los pacientes con bloqueo AV completo (**Ver Fig. 22**).

INTERVALO PR

Tiene una duración normal entre 120 y 200 msec., lo cual se debe a que la conducción normal entre el nodo sinusal y el nodo AV se demora de 20 a 40 msec., en el nodo AV el impulso se retarda entre 70 y 120 msec., y el His se demora entre 35 y 55 msec. para llevar el impulso hasta el Purkinje (**Ver Fig. 23**).

Causas de intervalo PR corto

1. Síndromes de preexcitación: WPW y Long-Ganong-Levine (LGL).
2. Ritmo idiojuncional o auricular bajo.
3. Variación normal
4. Otros: Hipertensión arterial, feocromocitoma y enfermedades de depósito de glicógeno.

Causas de intervalo PR prolongado

1. Bloqueo AV de primer grado.
2. Variación normal.

3. Miocarditis (como sucede en la fiebre reumática).

SEGMENTO PR

Es la línea de base entre el final de la onda P y el inicio del complejo QRS. Representa el retardo fisiológico en el nodo AV. Normalmente es isoelectrico, pero puede sufrir desplazamiento en el infarto auricular y en la pericarditis aguda (**Ver Fig. 23**). Se puede utilizar como línea isoelectrica en los casos en que no se observe claramente la línea TP (taquicardias).

INTERVALO Y COMPLEJO QRS

El **intervalo QRS** se mide desde el inicio del complejo QRS, exista o no onda Q, hasta el inicio del segmento ST y representa el tiempo que se tarda la despolarización de ambos ventrículos. Normalmente este intervalo mide entre 50 y 100 mseg. y en algunas derivaciones precordiales puede medir hasta 110 mseg. y ser normal (**Ver Fig. 62**).

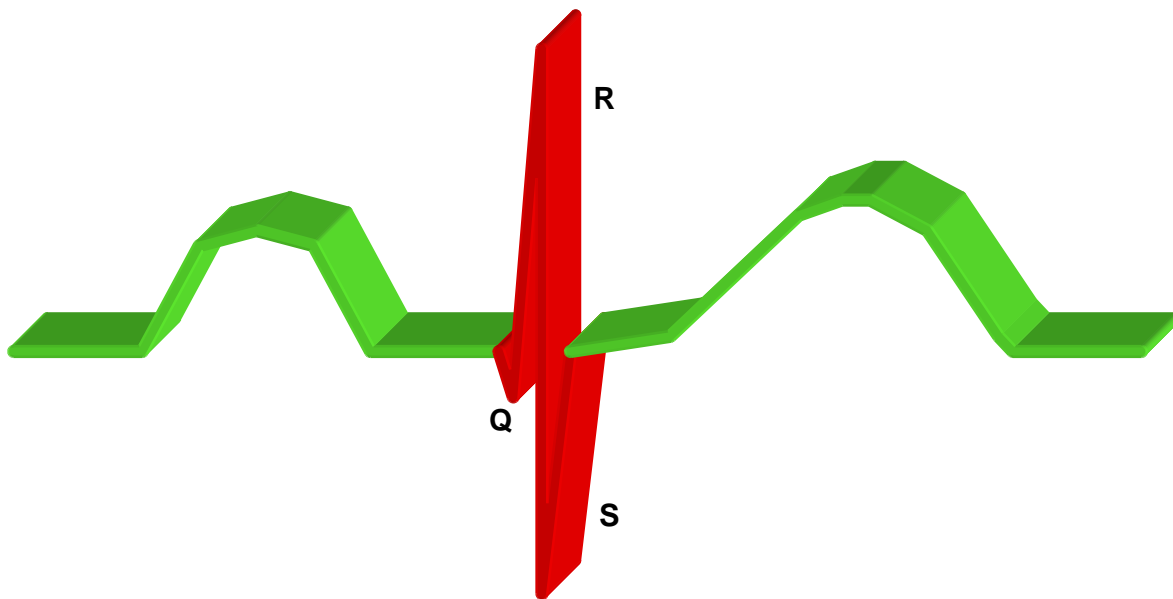


Figura No. 62. Intervalo QRS. Ver explicación en el texto.

El **complejo QRS** está conformado por 3 ondas, Q, R y S, que representan el orden vectorial de despolarización biventricular. La onda Q representa al primer vector de despolarización ventricular que corresponde a la despolarización del septum interventricular, por lo cual también es conocida como vector septal. Normalmente, se puede observar en DI, aVL, V5 y V6 y su valor normal debe ser menor de 30 mseg. de duración y < 0.1 mV de voltaje. Cuando las ondas R son de muy alto voltaje se observan ondas Q con una duración menor de 30 mseg. pero con un voltaje mayor de 0.1 mV. En estos casos se le permite a la onda Q un valor $< 25\%$ del voltaje total de la onda R.

Las ondas R y S representan la despolarización de la pared libre del ventrículo derecho, el ápex cardíaco y la pared libre del ventrículo izquierdo, dependiendo de la derivación que esté registrando el fenómeno. Es decir, en la derivación V1 el complejo QRS usualmente consta de sólo dos ondas ("rS"), en donde la onda "r" representa a la despolarización del septum interventricular y de la pared libre del ventrículo derecho y la onda S la despolarización del ápex y la pared libre del ventrículo izquierdo. En la derivación V6, el complejo QRS usualmente está conformado por dos ondas ("qR"), en donde la onda "q" representa la despolarización del septum interventricular y de la pared libre del ventrículo derecho y la onda R la despolarización del ápex y la pared libre del ventrículo izquierdo (**Ver Fig. 37**).

Términos a tener en cuenta:

1. Voltaje normal del complejo QRS: El mínimo voltaje aceptado para las ondas del complejo QRS en las derivaciones precordiales: 5mm en V1 y V6, 7mm en V2 y V5 y 9mm en V3 y V4.

2. Bajo Voltaje: Si las ondas del complejo QRS son menores que los valores anteriores se dice que hay un bajo voltaje en las derivaciones precordiales. Si el promedio del voltaje en las derivaciones del plano frontal es menor de 5 mm y el de las precordiales es menor de 10 mm se dice que hay un bajo voltaje generalizado. Las causas más comunes de bajo voltaje generalizado son la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) de predominio enfisematoso, la enfermedad coronaria difusa, el derrame pericárdico, la presencia de neumotórax, la obesidad, el aumento de espesor de la pared torácica (hipertrofia muscular), la falla cardíaca, la anasarca, el mixedema y la amiloidosis.

3. Alto voltaje: No existe una definición muy precisa para alto voltaje en el ECG debido a que hay una gran variación dentro de la población normal. En términos generales, se acepta que las derivaciones del plano frontal tienen alto voltaje cuando superan los 20 mm y las del plano horizontal cuando superan los 25 mm.

4. Pobre progresión de la onda R: El término pobre progresión de la onda R en las derivaciones precordiales se utiliza cuando la onda R de V3 es menor de 3 mm y representa usualmente la amputación del voltaje normal de la onda R en aquellos pacientes que han sufrido un infarto de miocardio anteroseptal previo o en algunas ocasiones podría representar la pérdida normal de la progresión de la onda R en las derivaciones precordiales que se observa en los pacientes con hipertrofia ventricular izquierda y que semeja a un infarto de miocardio anteroseptal.

SEGMENTO ST

Las dos características más importantes de este segmento son el nivel y la forma:

El nivel: Se compara con respecto a la línea de base (TP). Normalmente debe estar al mismo nivel de la línea TP, es decir isoelectrico, o sólo levemente por encima o por debajo. En las derivaciones del plano frontal se le permite una elevación normal de hasta 0.1 mV y en el plano horizontal hasta 0.2 mV., pero nunca se le permite una depresión “normal” mayor de 0.5 mV en ninguna de las derivaciones (**Ver Fig. 63**). La elevación del segmento ST por encima de los valores normales sugiere un evento coronario agudo en evolución o una pericarditis. La depresión del ST > 0.5 mV sugiere una isquemia de tipo subendocárdica (**Ver Fig. 63**).

La forma: Normalmente el segmento ST termina en una curva imperceptible con la onda T, no debe formar un ángulo agudo ni seguir un curso completamente horizontal. Es decir, el segmento ST debe iniciar isoelectrico y terminar ligeramente ascendente. Si el segmento ST es completamente recto (como trazado con regla) se conoce con el nombre de **depresión plana** del ST o **rectificación** del ST. Este hallazgo se observa frecuentemente en los pacientes con hipertensión arterial esencial o con enfermedad cardíaca isquémica (**Ver Fig. 63**).

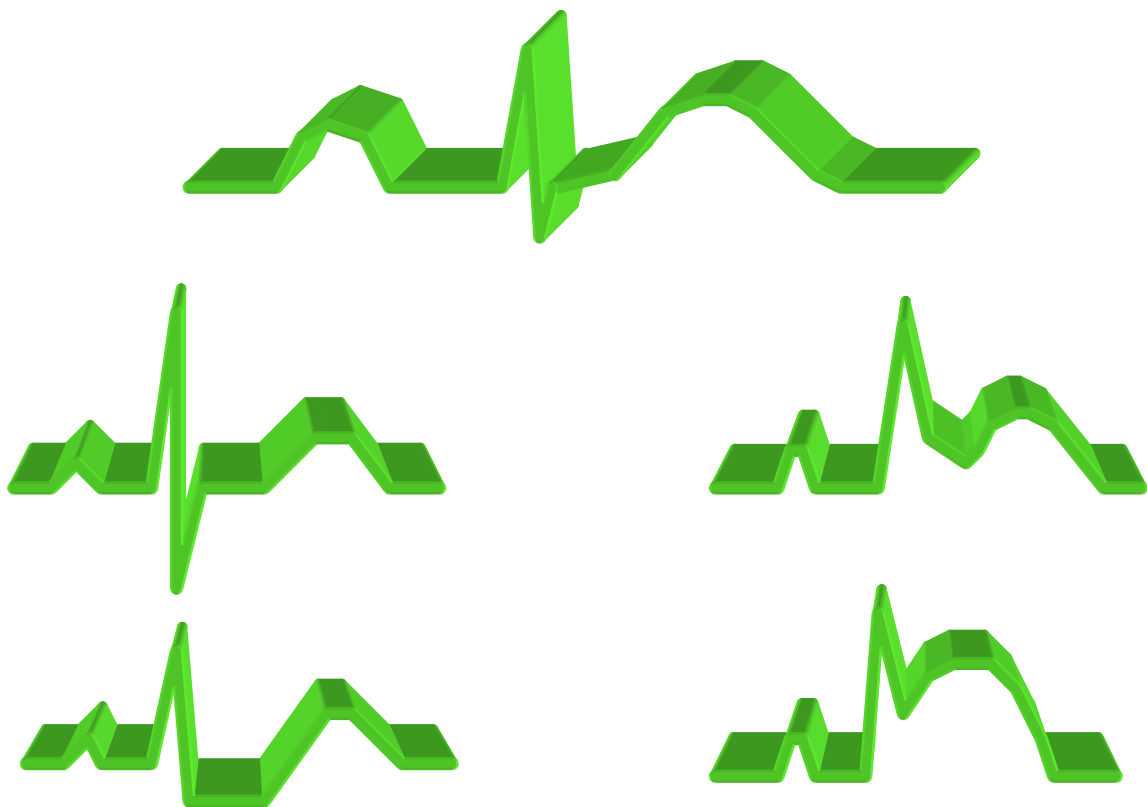


Figura No. 63. Segmento ST. Arriba centro: segmento ST normal que inicia isoelectrico y termina ligeramente ascendente. Arriba izquierda: ST rectificado; arriba derecha: elevación del ST de concavidad superior; abajo izquierda: depresión plana del ST; abajo derecha: elevación del ST de convexidad superior.

Patrón de Repolarización Precoz: Se caracteriza por la elevación del segmento ST en una o más derivaciones precordiales, la cual puede ser de hasta 4 mm y no se correlaciona con ninguna anomalía específica. Se considera un hallazgo normal y es más común observarlo en hombres jóvenes de raza negra (**Ver Fig. 64**).

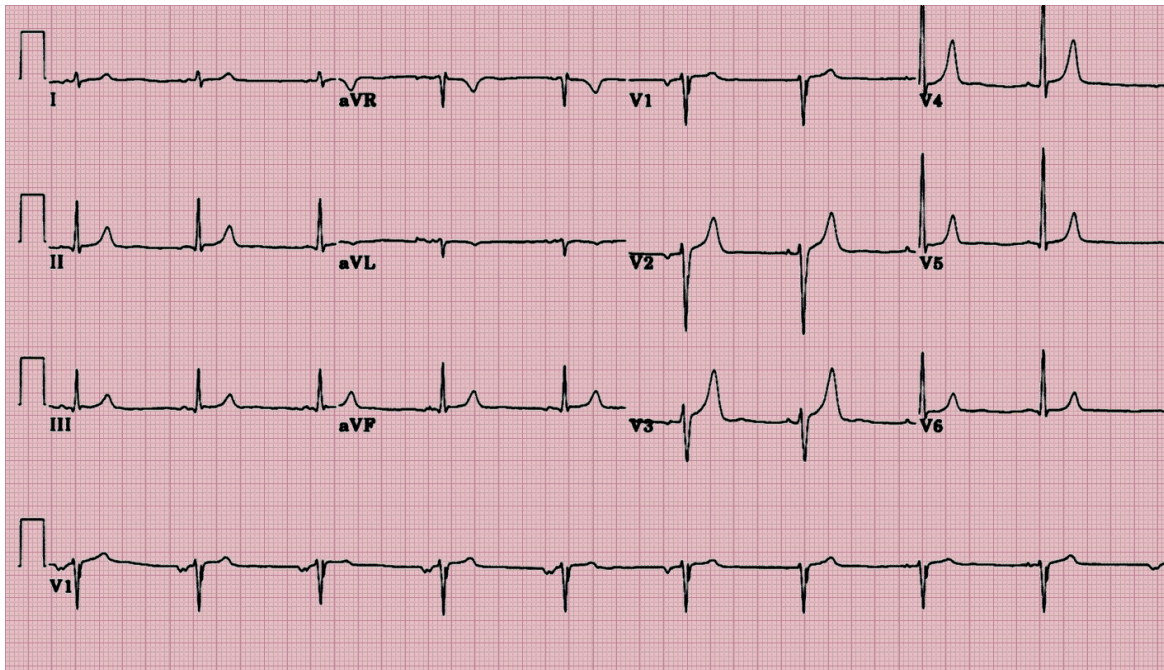


Figura No. 64. Patrón de repolarización precoz en las derivaciones precordiales.

ONDA T

Las tres características principales de la onda T son la dirección, la forma y el voltaje.

La Dirección: La onda T normalmente es positiva en DI, DII y de V3 a V6, es negativa en aVR y puede ser variable en DIII, aVL, aVF, V1 y V2. Pero existen ciertas reglas para la variabilidad: es positiva en aVL y aVF si el complejo QRS es mayor de 5mm y negativa si es menor de 5mm (en personas sin desviación del eje). Es normalmente negativa en V1 y ocasionalmente en V2. Si la onda T es positiva en V1 debe ser de menor voltaje que la onda T de V6 para ser considerada como normal. En las mujeres es normal encontrar ondas T negativas de V1 a V3 y no se sabe el porqué. En los ancianos la onda T puede ser positiva en todas las precordiales. En niños y adolescentes la onda T puede ser negativa en las derivaciones V1 a V4 y ser normal y esto se conoce con el nombre de “**patrón juvenil de la onda T**” (Ver Fig. 65). En los pacientes con eventos cerebrovasculares agudos (ECV) se pueden observar ondas T hiperagudas o negativas que no significan evento coronario agudo.

La Forma: La onda T normal es ligeramente redondeada y ligeramente asimétrica. La onda T mellada en los niños es normal y en los adultos es un signo indirecto de pericarditis. La onda T puntuda, simétrica y positiva se conoce con el nombre de “**onda T hiperaguda**” y se presenta en la fase más aguda del infarto de miocardio en evolución. Se debe diferenciar de la onda T de la hiperkalemia y de la sobrecarga diastólica del ventrículo izquierdo (Ver Fig. 66).

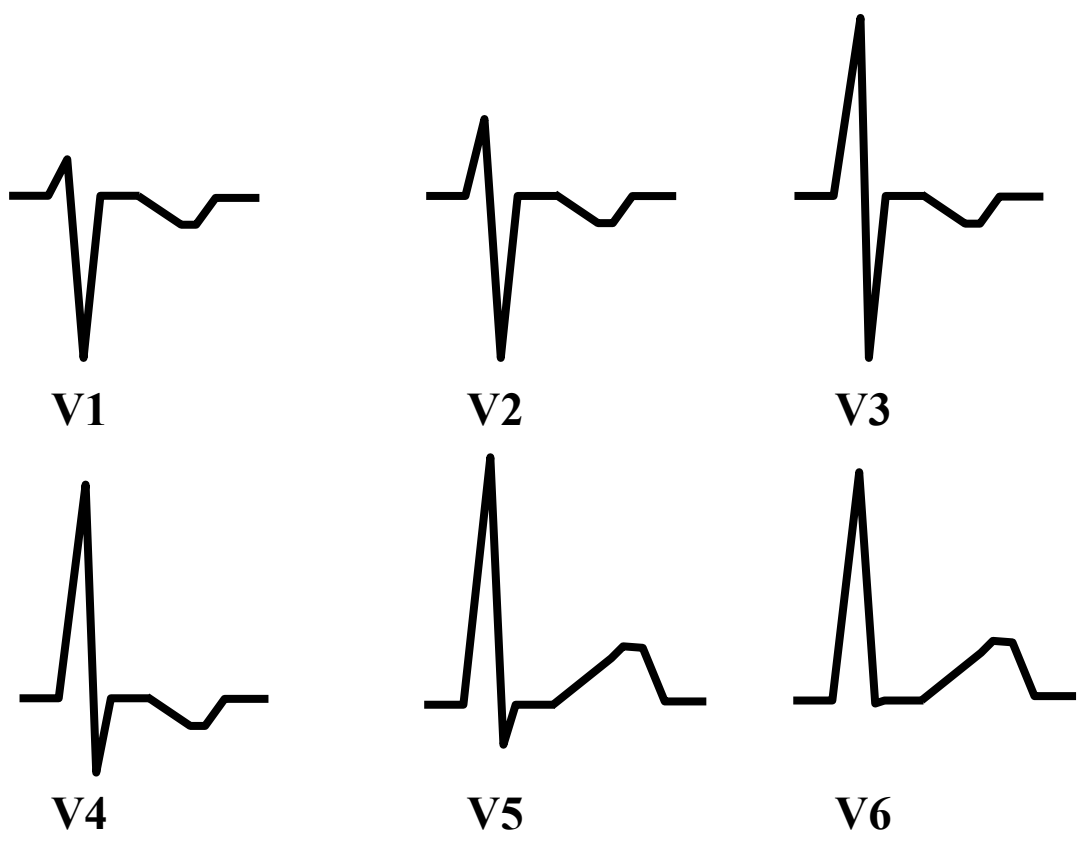


Figura No. 65. Patrón juvenil de la onda T en las derivaciones precordiales.



Figura No. 66. Diferentes morfologías de la onda T. Arriba centro: onda T normal, ligeramente redondeada y ligeramente asimétrica; arriba izquierda: onda T negativa puntuda y simétrica sugestiva de ischemia; arriba derecha: onda T hiperaguda; abajo izquierda: onda T negativa asimétrica sugestiva de sobrecarga y abajo derecha: onda T mellada.

El Voltaje: El voltaje normal de la onda T debe ser menor de 5mm en las derivaciones del plano frontal y de 10mm en las derivaciones del plano horizontal. En los pacientes con complejos QRS de muy alto voltaje las ondas T pueden ser hasta del 35% del voltaje del complejo QRS.

SEGMENTO QT

Este segmento representa el tiempo que se demora la despolarización y repolarización ventricular. Su duración normal es entre 320 y 400 mseg. Sin embargo, su duración se ve afectada por factores como la edad, el sexo y la frecuencia cardíaca. Debido a esto es mejor utilizar el valor del segmento **QTc (QT corregido)**.

La corrección del segmento QT para las variaciones de la frecuencia cardíaca se hacen con base en la fórmula de **Bazett**. Bazett propuso que el segmento QTc es igual al segmento QT medido en el paciente dividido por la raíz cuadrada del intervalo RR (**Ver Fig. 67**). El valor normal del segmento QTc es de 400 mseg. \pm 20 mseg. Una vez corregido para la frecuencia cardíaca se debe corregir para el sexo, a las mujeres se les acepta como normal hasta 430 mseg. y para la edad, a los mayores de 50 años se les acepta hasta 10 mseg. más por encima de estos valores. De esta manera un hombre menor de 50 años debe tener un segmento QTc < 420 mseg. y si es mayor de 50 años el QTc debe ser < 430 mseg. En una mujer menor de 50 años se acepta como normal hasta 430 mseg. y si es mayor de 50 años hasta 440 mseg.

$$QT_c = \frac{QT \text{ paciente}}{\sqrt{RR}}$$

Figura No. 67. Fórmula de Bazett para corregir el Intervalo QT con respecto a la frecuencia cardíaca. Para esta fórmula se deben utilizar valores en segundos. La raíz cuadrada del intervalo RR se refiere a la raíz cuadrada del valor en segundos que exista entre dos ondas R consecutivas.

La prolongación del segmento QTc se presenta como un fenómeno congénito o adquirido. Las causas más comunes de QTc prolongado congénito (idiopático) son el síndrome de Romano Ward y el síndrome de Jervell y Lange-Nielsen. Las causas más comunes de QTc prolongado adquirido son: enfermedad coronaria, miocarditis, insuficiencia cardíaca congestiva, enfermedad cerebrovascular, trastornos hidroelectrolíticos (hipokalemia con hipocalcemia e hipomagnesemia) y uso de medicamentos (antiarrítmicos de las clases I y III, antihistamínicos tipo astemizoles, fenotiacinas, antidepresivos tricíclicos y otros). Un intervalo QTc prolongado indica que hay un retardo de la repolarización ventricular y por lo tanto mayor predisposición para las arritmias que se generan por el mecanismo de reentrada y por actividad desencadenada (post despolarizaciones tempranas).

ONDA U

Es la última onda que se observa al ECG en un latido cardíaco. Sigue a la onda T pero generalmente es de más bajo voltaje y conserva su misma dirección (polaridad). Se observa en personas normales y es más común verla en las derivaciones precordiales principalmente en V3 (**Ver Fig. 68**). Esta onda coincide en el ciclo cardíaco con la fase de excitabilidad supranormal durante la repolarización ventricular que es la fase en donde ocurren la mayoría de las extrasístoles ventriculares. Su polaridad se invierte en la isquemia aguda y en la sobrecarga del ventrículo izquierdo. La presencia de ondas U negativas en las derivaciones precordiales son muy sugestivas de estenosis significativa de la arteria descendente anterior (ADA) (**Ver Fig. 69**). Su voltaje se aumenta en los pacientes con enfermedad cerebrovascular tipo hemorragia intracraneana, tirotoxicosis, hipercalcemia, hipokalemia y con el uso de medicamentos tipo digital, quinidina y epinefrina.

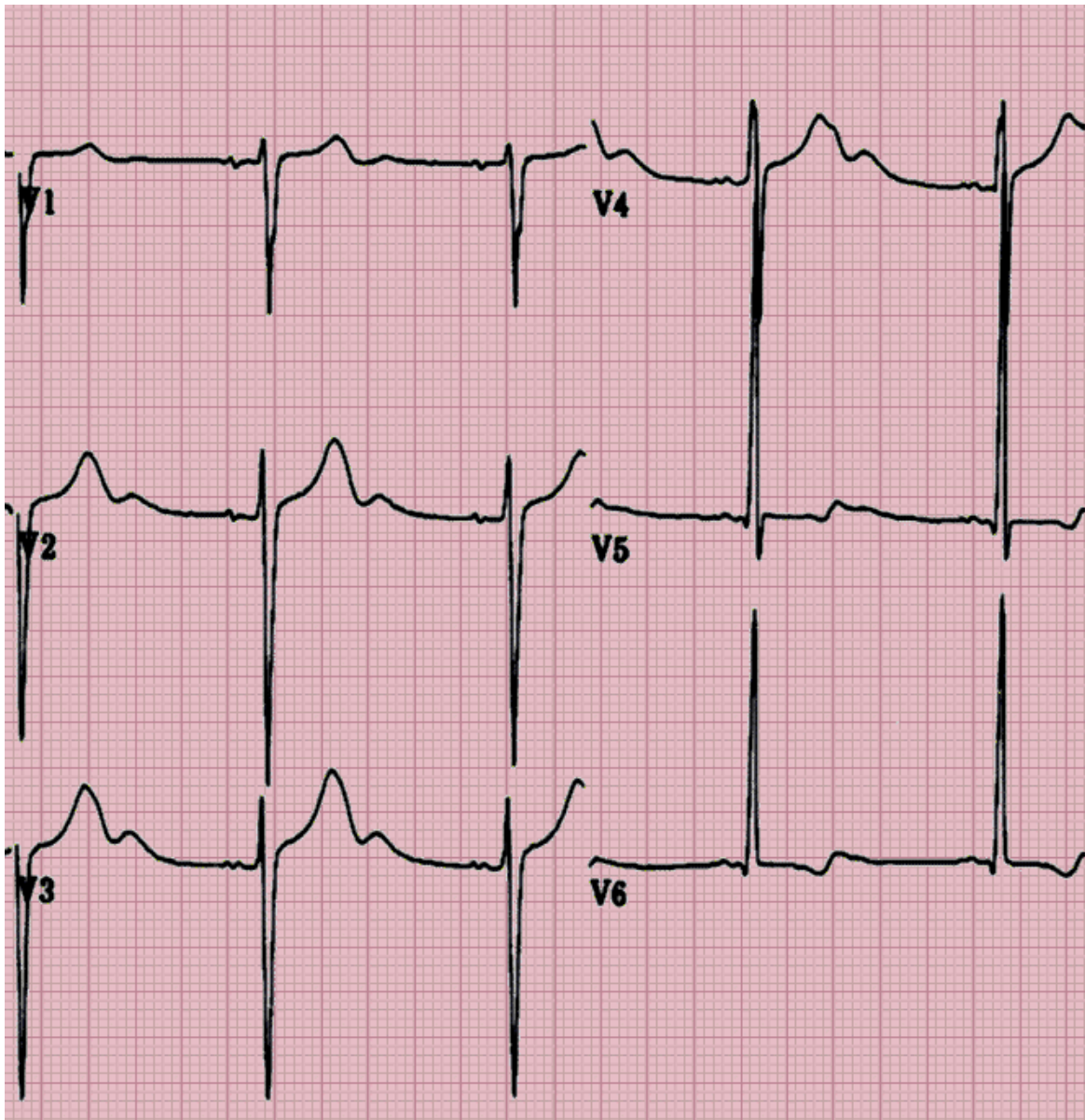


Figura No. 68. Onda U. Note la presencia de ondas U positivas en las derivaciones precordiales, más aparente de V1 a V4. En este caso cumple con los requisitos para ser un hallazgo normal.

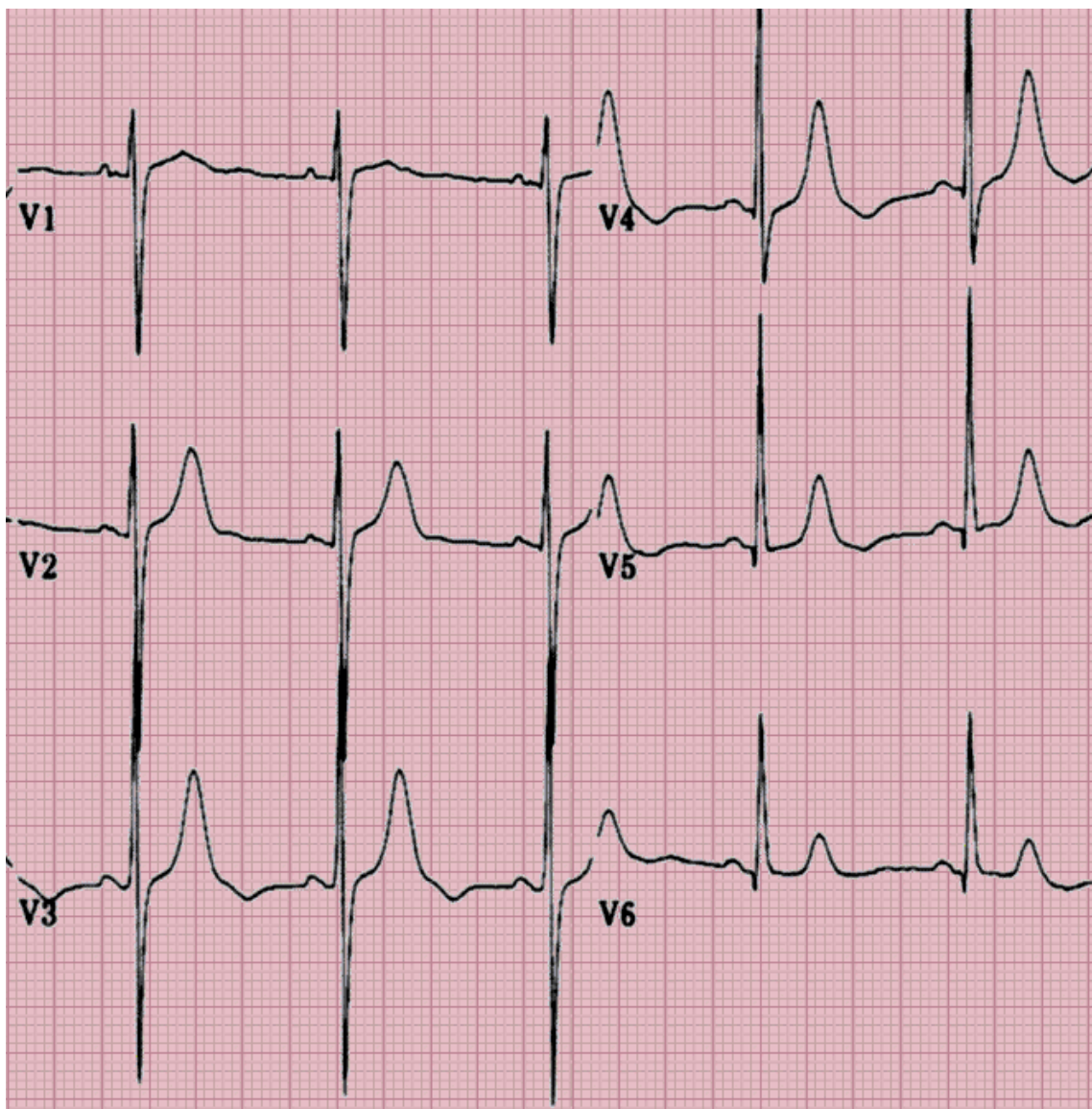


Figura No. 69. Note la presencia de ondas U negativas con onda T positiva (polaridad opuesta) en las derivaciones precordiales de V3 a V5. Este hallazgo en reposo sugiere enfermedad coronaria por probable estenosis de la arteria descendente anterior.

Declaración de derechos sobre las figuras: todas las figuras utilizadas son tomadas y/o modificadas de las bibliografías propias de los autores y cuentan con nuestra autorización para ser utilizadas en internet.

Referencias Bibliográficas

1. Uribe, William, Duque, Mauricio y Medina, Eduardo. Electrocardiografía y arritmias. Autores 1 ed. Editorial P.L.A Export, Editores Ltda, 2005.
2. Gutiérrezdepiñeres Oscar, Matiz Hernando, Duque Mauricio, Uribe William, Medina Eduardo. Editores de Electrofisiología Celular y arritmias cardíacas: del trazado al paciente. Editorial Distribuna. Bogotá, 2006. ISBN 958-97875-2-5.
3. Electrocardiografía. Libro publicado por la Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Editores principales: Mauricio Duque y Boris Vesga, Editores asociados: Fernando Manzur, William Uribe, Jorge Marín y Luis E. Medina. 1 ed. 2008. ISBN 978-958-98393-0-0.

Preguntas:

1. Cual es la causa para que al EKG no se observe la onda T_p de repolarización auricular:
 - a. Que no tiene suficiente voltaje
 - b. Que se inscribe durante el complejo QRS**
 - c. Que la repolarización auricular no produce onda al EKG
 - d. Que se inscribe durante la onda T de repolarización ventricular
2. Cual de las siguientes **NO** es causa de ritmo irregular al EKG?
 - a. Presencia de extrasístoles supraventriculares o ventriculares (bien sea aisladas, en pares o en bigeminismo)
 - b. Presencia de Fibrilación Atrial
 - c. Presencia de Taquicardia Atrial Multifocal
 - d. Presencia de taquicardia por reentrada intranodal**
3. Se considera que el eje eléctrico del QRS en el plano frontal es indeterminado cuando:
 - a. Se presentan complejos isodifásicos de V1 a V6
 - b. Cuando el eje se encuentra localizado en el cuadrante de la "tierra de nadie"
 - c. Se presentan complejos isodifásicos en todas las derivaciones del plano frontal**
 - d. Cuando no es posible determinar el eje debido a un bloqueo de rama
4. Con respecto a la onda U, señale la afirmación falsa:
 - a. Puede corresponder a la repolarización del sistema de Purkinje
 - b. Puede corresponder a la repolarización de los músculos papilares
 - c. Puede corresponder a un origen mecánico porque coincide con la fase de relajación isovolumétrica del ventrículo

- d. Puede corresponder a una despolarización tardía del sistema de conducción
- 5. Con respecto a la onda Q del complejo QRS, escoja la afirmación verdadera:
 - a. Puede ser producida por el vector de despolarización septal o por un infarto de miocardio
 - b. Siempre representa la cicatriz de un infarto de miocardio
 - c. Nunca se observa en los pacientes con corazón estructuralmente sano
 - d. Se considera patológica y positiva para necrosis cuando su anchura es menor de 30 mseg y su voltaje es mayor de 0.1 mV