

1. LA SEÑAL ECG

La señal Electrocardiográfica (ECG) es un registro de la actividad eléctrica cardiaca. En este apartado, se realizará una breve reseña de su origen y su formación.

1.1. El corazón y sus partes

El corazón es un músculo hueco, el cual está localizado entre los pulmones, más exactamente en el mediastino, protegido dentro de la cavidad torácica. Es una bomba muy fuerte, capacitada para hacer circular la sangre para su distribución a las otras partes del cuerpo. En la figura 1 se aprecia la posición del corazón en el cuerpo humano:

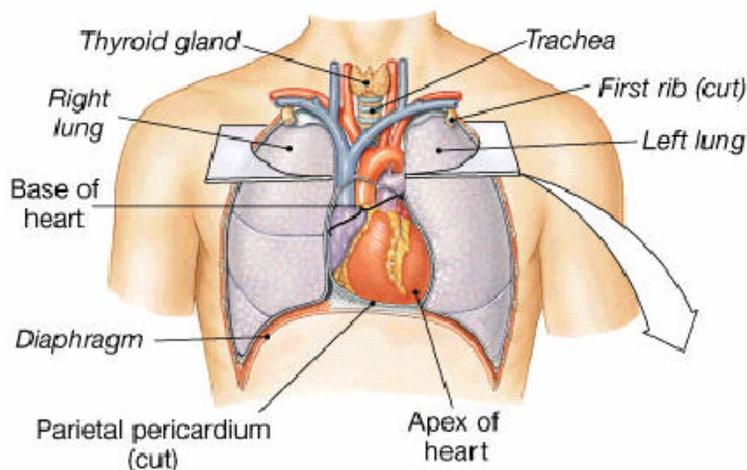


Figura 1. Posición del corazón dentro del tórax

FUENTE: GROSSMONT COLLEGE. En: Specialized Lectures. [En Línea] Estados Unidos, 2004

<<http://www.grossmont.edu/shina.alagia/lectures/145/Heart%20A%20and%20P.ppt>>

[Consulta: 4 de julio de 2004]

El corazón se divide en dos lados, cuatro cavidades y cuatro válvulas, a saber:

- Lado derecho: hace parte del circuito pulmonar, es el encargado de bombear sangre pobre en oxígeno hacia los pulmones para ser oxigenada
- Lado izquierdo: hace parte del circuito sistémico, el cual se encarga de llevar la sangre oxigenada hacia todas las partes del cuerpo.
- Dos aurículas: son las cámaras localizadas en la parte superior del corazón.

- Dos ventrículos: localizados debajo de las aurículas, son los encargados de bombear la sangre fuera del corazón.
- Válvulas atrioventriculares: están la tricúspide (AV derecha) y la mitral (AV izquierda). Su función es evitar que la sangre recién bombeada al ventrículo se regrese a la aurícula.
- Válvulas semilunares: están la pulmonar (permite el paso de la sangre del ventrículo derecho hacia los pulmones) y la aórtica (permite el paso de la sangre desde el ventrículo izquierdo hacia la aorta). Su función es evitar que la sangre bombeada hacia la arteria pulmonar y la aorta se regrese al ventrículo.

Una cualidad importante de las válvulas es que éstas se abren sólo cuando la sangre es bombeada a través de ellas.

La siguiente ilustración (figura 2) muestra en detalle la localización de las cámaras del corazón:

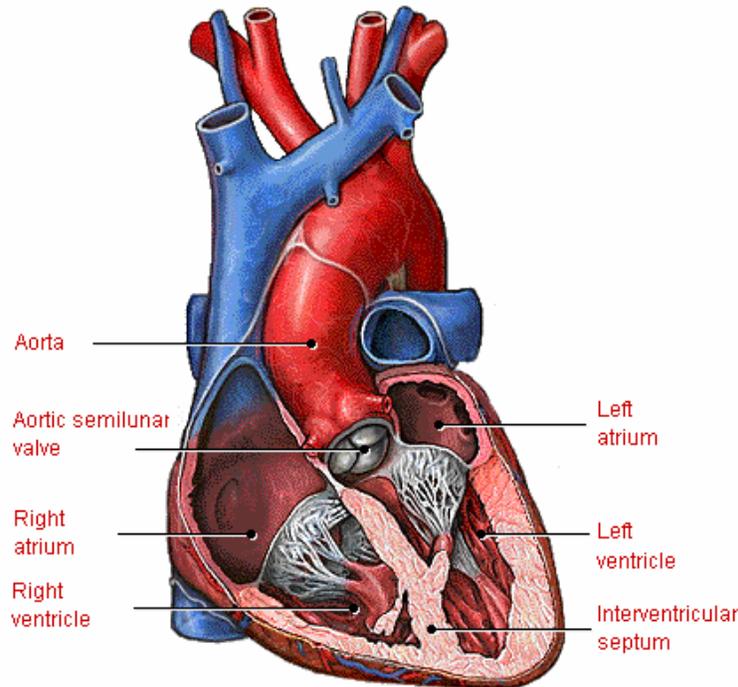


Figura 2. Localización de las cámaras en el corazón

FUENTE: BEJAMIN-CUMMINGS. Cardiovascular System. Anatomy Review. The Heart. Slide 5

En: Interactive physiology - A.D.A.M. Benjamin-Cummings [CD-ROM] Gran Bretaña.

Actualización: 2004

[Consulta: 4 de julio de 2004]

La figura 3 muestra la disposición de las válvulas enunciadas anteriormente en un corte transversal:

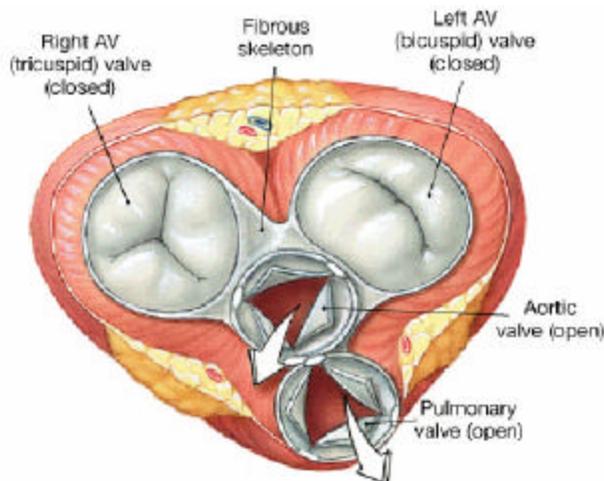


Figura 3. Localización de las válvulas del corazón en corte transversal.

FUENTE: GROSSMONT COLLEGE. En: Specialized Lectures. [En Línea] Estados Unidos, 2004
 <<http://www.grossmont.edu/shina.alagia/lectures/145/Heart%20A%20and%20P.ppt>>

Actualización: 2004

[Consulta: 4 de julio de 2004]

1.2. El ciclo cardiaco

El ciclo cardiaco incluye todos los eventos relacionados con el paso de la sangre a través del corazón durante un latido. En la siguiente ilustración (figura 4) se muestran las fases que se desarrollan durante el ciclo cardiaco:

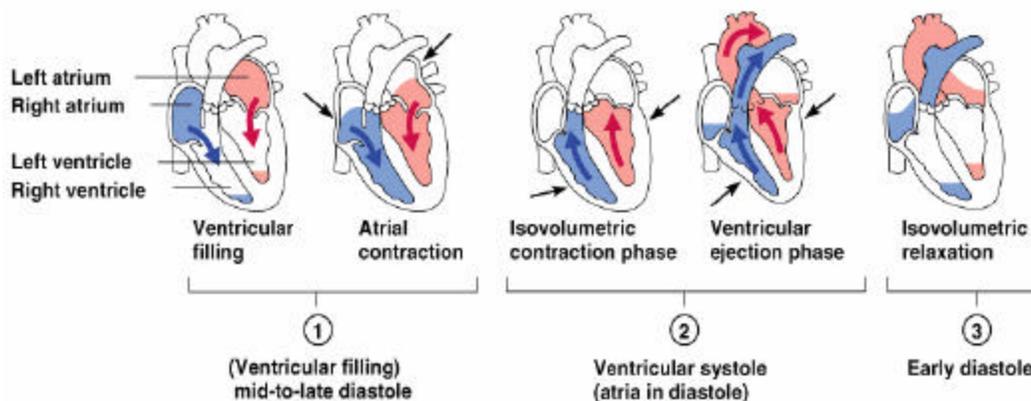


Figura 4. El ciclo cardiaco.

FUENTE: RICHMOND UNIVERSITY. En: Medical Assisting Technology. [En Línea] Estados Unidos. [2003] <[http://www.richmond.cc.nc.us/MedicalAssistingTechnology/Powerpoint/cardiocvascular\[2\].ppt](http://www.richmond.cc.nc.us/MedicalAssistingTechnology/Powerpoint/cardiocvascular[2].ppt)>

Actualización: 2003

[Consulta: 4 de julio de 2004]

Se distinguen 3 fases (cinco estados) en el ciclo cardiaco.

- Fase 1: Llenado ventricular:
 - Estado 1: la sangre fluye pasivamente desde las venas cavas hacia la aurícula y hacia los ventrículos a través de las válvulas AV abiertas, en donde la presión es menor.
 - Estado 2: La aurícula se contrae, forzando la sangre remanente a entrar en los ventrículos.
- Fase 2: Sístole ventricular:
 - Estado 3: Contracción isovolumétrica: los ventrículos se contraen y la presión intraventricular se eleva, lo cual cierra las válvulas AV. Por poco tiempo, los ventrículos están completamente cerrados.
 - Estado 4: expulsión ventricular: La presión ventricular en constante aumento fuerza las válvulas semilunares y las abre, por lo tanto, la sangre sale del corazón.
- Fase 3: relajación isovolumétrica: los ventrículos se relajan y la presión intraventricular cae, lo cual hace que la sangre se regrese y cierre las válvulas semilunares. Los ventrículos están totalmente cerrados.

Este ciclo cardiaco es realizado de forma coordinada. De otra forma, habría un mal funcionamiento. Las señales eléctricas juegan un papel importante en esta sincronización de movimientos. A continuación se expone el mecanismo que usa el corazón para poder realizar sus movimientos.

1.3. Sistema de conducción intrínseca:

1.3.1. Partes del sistema de conducción intrínseca:

El sistema de conducción intrínseca es el encargado de establecer el ritmo al cual el corazón late. Básicamente consiste en células autorítmicas cardíacas, las cuales inician y distribuyen potenciales de acción a través del corazón. Las células musculares se contraen sin intervención de impulsos nerviosos de una forma regular y continua. En el siguiente diagrama (figura 5) se presenta la ubicación de las células auto-rítmicas del sistema de conducción intrínseco del corazón:

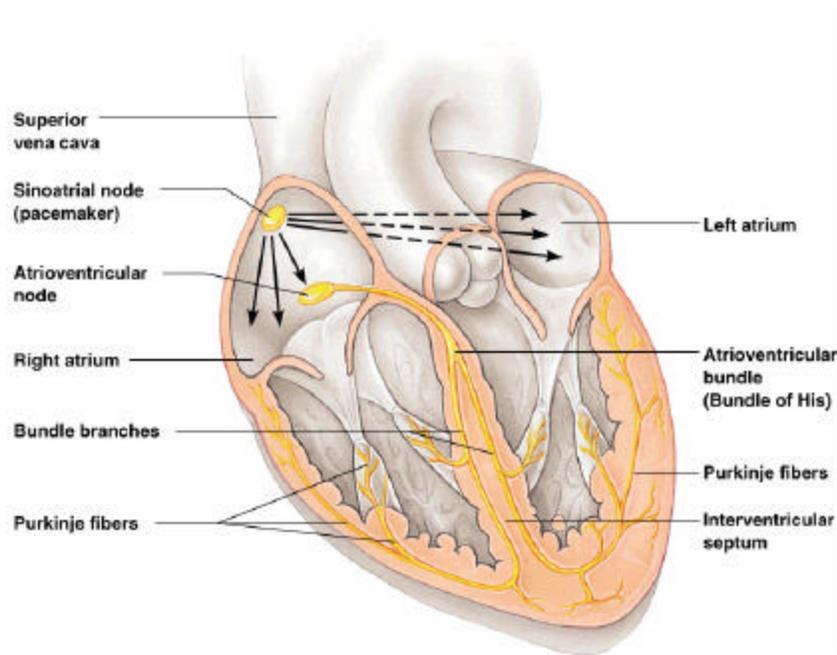


Figura 5. Localización de las células auto-rítmicas del sistema de conducción intrínseco del corazón

FUENTE: RICHMOND UNIVERSITY. En: Medical Assisting Technology. [En Línea] Estados Unidos. [2003] <[http://www.richmond.cc.nc.us/MedicalAssistingTechnology/Powerpoint/cardiovascular\[2\].ppt](http://www.richmond.cc.nc.us/MedicalAssistingTechnology/Powerpoint/cardiovascular[2].ppt)> [Consulta: 4 de julio de 2004]

Las células nodales auto-rítmicas son las siguientes:

- **Nodo SA (marcapasos):** grupo de células poco contráctiles y auto-rítmicas localizadas en la aurícula derecha cerca a la abertura de la vena cava superior. Es quien controla el ritmo del corazón, el cual cambia según ciertos parámetros fisiológicos y por estimulación del sistema nervioso autónomo. Inicia el impulso de despolarización, es decir, genera un potencial de acción que se distribuye hacia las aurículas y el nodo AV.
- **Vía internodal:** Une el nodo SA con el nodo AV, distribuyendo el potencial de acción hacia las células contráctiles de las aurículas.
- **Nodo AV (aurículo-ventricular):** Está constituido por células poco contráctiles y auto-rítmicas. Está cerca del centro del corazón. Retarda la acción del impulso eléctrico con el objetivo de asegurar que las aurículas se contraigan antes que los ventrículos. El potencial de acción se conduce al *AV bundle*.
- **AV bundle:** Es la única conexión eléctrica entre las aurículas y los ventrículos: permite que el potencial de acción se mueva del nodo AV hacia el Haz de Hiss.
- **Haz de Hiss:** transmite el potencial de acción hacia el septum interventricular

- Fibras de Purkinje: transmite el potencial de acción hacia las células contráctiles del ventrículo: primero en la parte inferior, luego se mueve hacia las aurículas.

Los potenciales de acción (que se derivan de las células autorríticas) son eventos eléctricos. La consecuente contracción de las células contráctiles es un evento mecánico que causa el latido del corazón.

La coordinación en las contracciones del corazón resulta de ciertos cambios eléctricos que suceden en las células cardiacas debidos al potencial de acción, como se verá en la siguiente sección.

1.3.2. El potencial de acción cardiaca:

El potencial de acción es generado por células autorríticas. Ése tipo de célula se caracteriza porque se despolariza a sí misma al tiempo que transmite el potencial de acción a través de ondas de despolarización. La despolarización se difunde a las células contráctiles cardiacas por intermedio de uniones de hendidura. La figura 6 muestra una célula autorrítica junto a una célula contráctil.

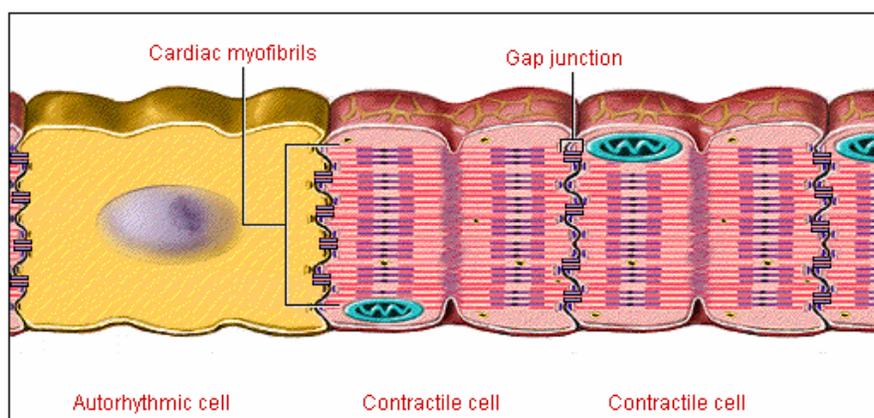


Figura 6. Célula autorrítica (en amarillo) y célula contráctil (rosado)

FUENTE: BEJAMIN-CUMMINGS. Cardiovascular system. Anatomy Review. Cardiac Action Potencial. Slide 4 En: Interactive physiology - A.D.A.M. Bejamin-Cummings [CD-ROM] Gran

Bretaña. Actualización: 2004

[Consulta: 4 de julio de 2004]

Cuando un potencial de acción se genera, las células se despolarizan, y su carga eléctrica pasa a ser positiva en el interior y negativa en el exterior, como se muestra en la figura 7:

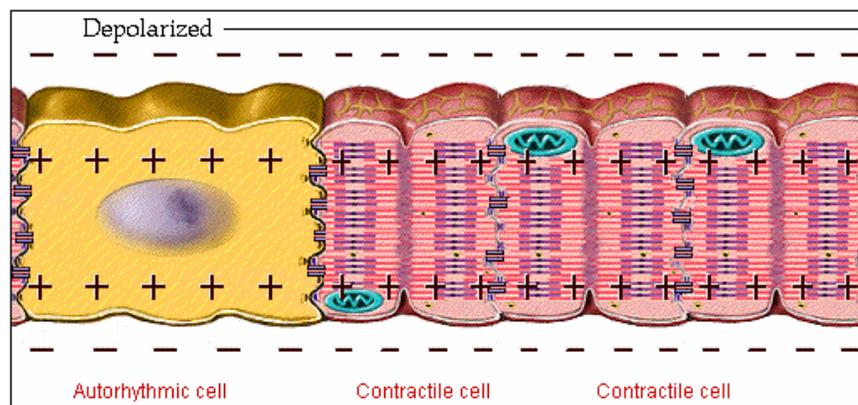


Figura 7. Proceso de despolarización de las células.

FUENTE: BEJAMIN-CUMMINGS. Cardiovascular system. Anatomy Review. Cardiac Action Potencial. Slide 4 En: Interactive physiology - A.D.A.M. Bejamin-Cummings [CD-ROM] Gran Bretaña. Actualización: 2004
[Consulta: 4 de julio de 2004]

Luego, las células se repolarizan, y su carga eléctrica pasa a ser positiva en el exterior tomando como referencia la carga eléctrica en el interior. Las células pasan a una etapa de relajación. La etapa de repolarización se ilustra en la siguiente ilustración (figura 8):

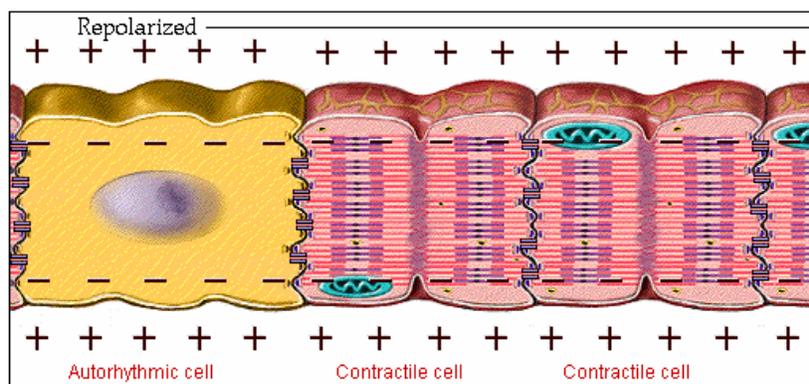


Figura 8. Proceso de repolarización de las células.

FUENTE: BEJAMIN-CUMMINGS. Cardiovascular system. Anatomy Review. Cardiac Action Potencial. Slide 4 En: Interactive physiology - A.D.A.M. Bejamin-Cummings [CD-ROM] Gran Bretaña. Actualización: 2004
[Consulta: 4 de julio de 2004]

Los cambios eléctricos en las células cardíacas se deben a intercambios iónicos entre el interior y el exterior de cada célula. A *Grosso modo* estos movimientos de iones se describen a continuación:

- En células auto-rítmicas:
 - El potencial de acción se debe a que iones de sodio entran a la célula, acompañados de una ligera salida de la célula de iones de potasio.
 - La despolarización e inversión de potencial de la membrana de la célula se debe a la entrada de iones de calcio a la célula
 - La Repolarización se debe a la salida de iones de potasio de la célula.
- En células contráctiles:
 - Los canales de entrada de sodio se abren por la entrada de iones positivos de la célula adyacente. La despolarización tiene lugar por la entrada de sodio a la célula
 - La meseta se produce por la entrada de sodio, balanceando la salida de potasio.
 - La repolarización se da por la salida de iones de potasio de la célula

1.4. Generación de la señal ECG

La naturaleza eléctrica de las señales que maneja el corazón para coordinar sus movimientos permite estudiar su comportamiento midiendo estas diferencias de potencial. Estos voltajes pueden registrarse desde distintos puntos de la superficie del cuerpo. Los electrocardiogramas son registros gráficos de las corrientes que circulan en el corazón. Éstos son útiles por que proveen información acerca de:

- Orientación anatómica del corazón
- Tamaño relativo de las cámaras
- Trastornos del ritmo y de la conducción
- Existencia y evolución de isquemias
- Alteración de los electrolitos.

El paso del potencial de acción a través de las células cardiacas genera formas de onda, las cuales, sumadas entre sí, generan una gráfica electrocardiográfica. La siguiente ilustración (figura 9) muestra los potenciales de acción de cada región del corazón:

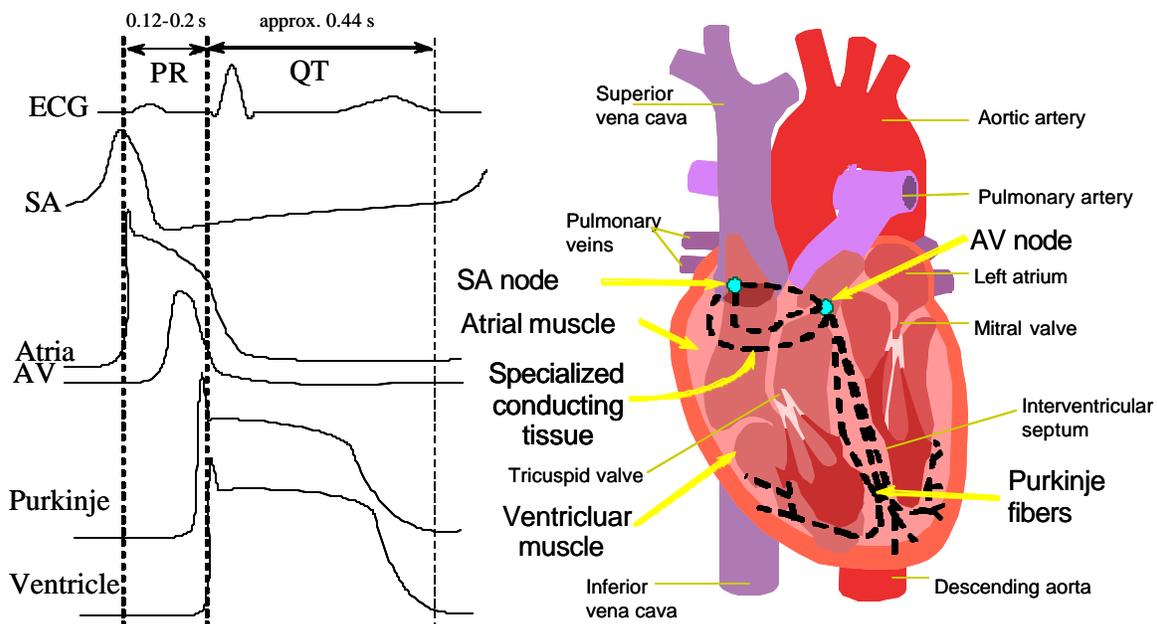


Figura 9. Potenciales de acción en el corazón.

FUENTE: ROCHESTER UNIVERSITY. Lectures on EKG. [En Línea] Estados Unidos, 2004.

<<http://tedlab.urmc.rochester.edu/PHP-03/PHP403-03-EKG.ppt>>

[Consulta: julio 7 de 2004]

Un esquema más ilustrativo sobre la formación de la onda ECG es el de la figura 10. Esta ilustración muestra sucesos que ocurren en el corazón y su correspondiente variación de voltaje:

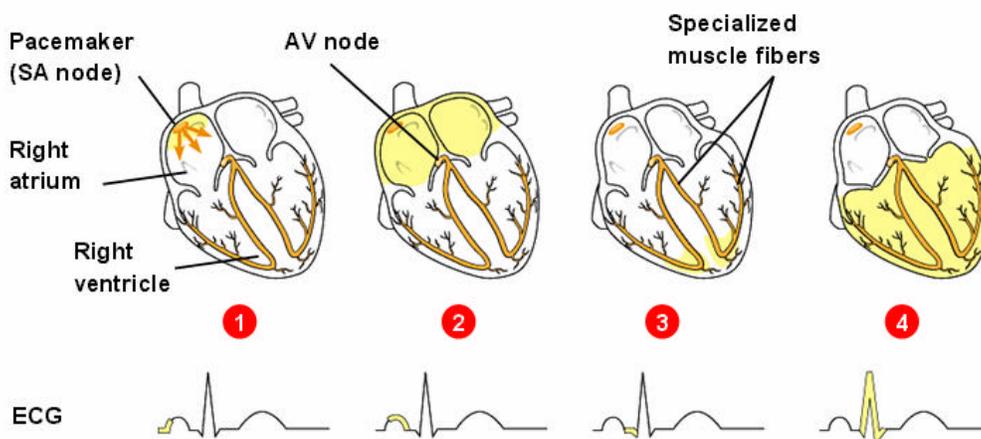


Figura 10. Generación de gráfica ECG según el ciclo cardiaco.

FUENTE: EDISON INSTITUTE. Lectures. [En Línea] Reino Unido, 2003.

<<http://www.edison.edu/faculty/klaser/bsc1005/23-CirculationPPT/Modules23-04to23-12.ppt>>

[Consulta: 7 de julio de 2004]

- Paso 1: El impulso sale del nodo SA
- Paso 2: las aurículas se contraen y el impulso llega al nodo AV
- Paso 3: el potencial de acción se bifurca y llega a las fibras de Purkinje
- Paso 4: los ventrículos se contraen

Un trazado electrocardiográfico general se muestra en la figura 11:

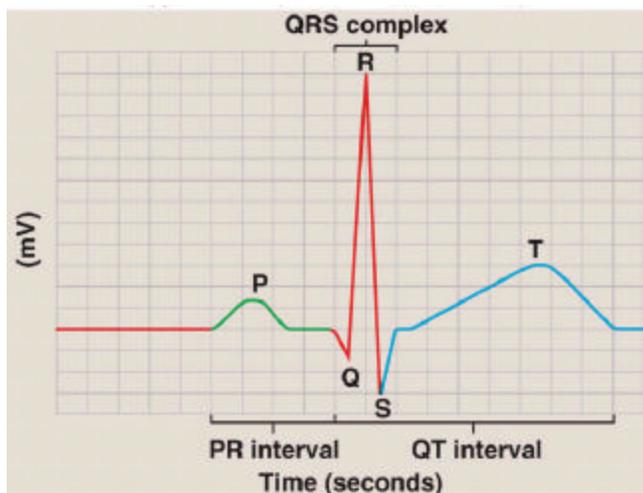


Figura 11. El trazado ECG y sus formas de onda más representativas.

FUENTE: IDFN UNIVERSITY. Lectures on cardiovascular problems. [En Línea] Estados Unidos, 2003 <<http://users.ipfw.edu/paladino/Cardiovascular.ppt>>

[Consulta: julio 7 de 2004]

En la gráfica anterior se observan las formas de onda más representativas: la onda P, el complejo QRS y la onda T. Viendo cada una con más detalle, desde el punto de vista eléctrico y mecánico:

- Onda P: El nodo SA genera el impulso y se da la despolarización de las aurículas, primero la aurícula derecha, luego la izquierda (evento eléctrico). Se produce la sístole auricular (evento mecánico). Dura entre 0.09 seg. y 0.11 seg.
- Intervalo P-Q: Es el espacio comprendido entre el fin de la onda P y el inicio del complejo QRS. Dura entre 0.11 seg. y 0.20 seg. Muestra el tiempo de conducción aurículo-ventricular, incluyendo el retardo fisiológico a través del nodo AV.
- Complejo QRS: El nodo AV reenvía el estímulo eléctrico y se da la despolarización de los ventrículos (evento eléctrico) y por esto, se da la sístole ventricular (evento mecánico). La aurícula se repolariza (evento eléctrico) y se genera la diástole auricular (evento mecánico) Dura entre 0.07 seg. y 0.11 seg.

- Segmento ST: Compreendida entre el fin del complejo QRS y el inicio de la onda T. Suele ser isoeléctrico en los ECG normales.
- Onda T: repolarización de ventrículos (evento eléctrico) y se genera una diástole ventricular (evento mecánico). Tiene igual polaridad al complejo QRS.

El perfil del ECG varía dependiendo de los puntos de referencia donde se coloquen los electrodos. Las diferentes posiciones que pueden tener los electrodos permiten apreciar mejor ciertas propiedades del corazón. A continuación se mostrarán las diferentes posiciones que pueden tomar los electrodos.

1.5. Las derivaciones

En el momento se dispone de un sistema de 12 derivaciones, los cuales permiten observar la actividad eléctrica desde 12 posiciones diferentes. Las derivaciones son las siguientes:

- Derivaciones bipolares: DI, DII, DIII
- Derivaciones unipolares: aVR, aVL, aVF
- Derivaciones precordiales: V1, V2, V3, V4, V5, V6

1.5.1. Derivaciones bipolares: registran la diferencia de potencial entre las extremidades del cuerpo de la siguiente forma:

- el brazo izquierdo (LA) y el brazo derecho (RA): DI
- la pierna izquierda (LF) y el brazo derecho (RA): DII
- la pierna izquierda (LF) y el brazo izquierdo (LA): DIII

La figura 12 presenta la ubicación de los electrodos para lograr medir las derivaciones bipolares:

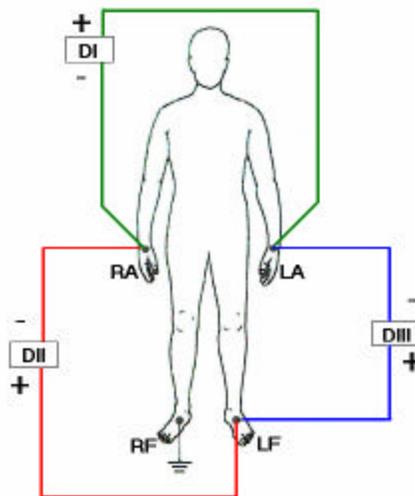


Figura 12. Ubicación de los electrodos para medir derivaciones bipolares.

Estas tres derivaciones forman un sistema triaxial, llamado triángulo de Einthoven.

1.5.2. Derivaciones unipolares: Forman el plano frontal. Se denominan aumentadas (a) porque miden los potenciales absolutos de las siguientes extremidades:

- brazo derecho: aVR
- brazo izquierdo: aVL
- pie izquierdo: aVF

La figura 13 ilustra la ubicación de los electrodos para medir la actividad eléctrica en el plano frontal:

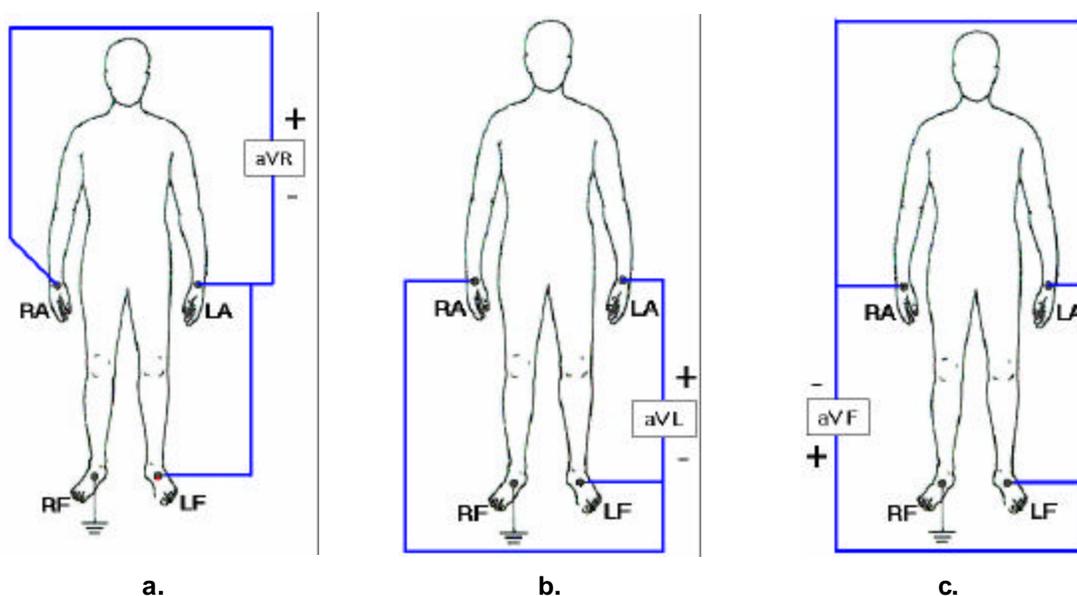


Figura 13. Derivaciones unipolares en plano frontal. La figura (a) corresponde a la derivación aVR, la figura (b) corresponde a la derivación aVL y la figura (c) corresponde a la derivación aVF

1.5.3. Derivaciones precordiales: Se localizan en el plano transversal. Las derivaciones son unipolares y los electrodos precordiales miden el potencial absoluto en la zona donde se encuentren ubicados. La figura 14 muestra la posición en la cual debe estar el electrodo respecto a la ubicación de las costillas para obtener las derivaciones precordiales:

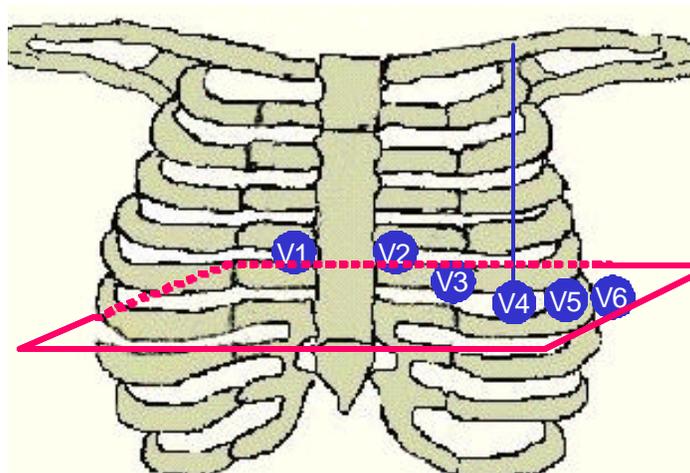


Figura 14. Ubicación en el pecho de las derivaciones precordiales.

FUENTE: TEXAS A&M UNIVERSITY. Cardiology Studies. [En Línea] Texas, Estados Unidos, 2003. <[http://jsgreen.tamu.edu/648%204%20ECG%20and%20Submax %20grad%20lab.ppt](http://jsgreen.tamu.edu/648%204%20ECG%20and%20Submax%20grad%20lab.ppt)>

[Consulta: julio 7 de 2004]

- V1: Cuarto espacio intercostal paraesternal derecho
- V2: Cuarto espacio intercostal paraesternal izquierdo
- V3: Punto intermedio entre V2 y V4
- V4: Quinto espacio intercostal izquierdo
- V5: Al nivel horizontal de V4 en la línea axilar anterior izquierda
- V6: Al nivel horizontal de V4 en la línea media axilar izquierda

Las derivaciones V1 y V2 registran actividad eléctrica en el ventrículo derecho; en V5 y V6 se registra la actividad eléctrica en el ventrículo izquierdo.

Cada una de ellas es un electrodo positivo, con el cuerpo entero actuando como polo negativo.

Por ahora, al conocer la ubicación de los electrodos en el cuerpo se puede saber qué área del corazón es la que se ve. En el siguiente apartado se expondrá la preparación que debe tener el paciente antes y durante una sesión de toma de señales electrocardiográficas.

1.6. Preparación del paciente para tomar un buen registro electrocardiográfico

Básicamente para tomar un buen registro electrocardiográfico se necesita tranquilidad por parte del paciente y preparar muy bien la piel en donde se pondrán los electrodos. Se recomienda seguir las siguientes indicaciones:

- Para comodidad del paciente, se debe quitar la camisa y acostarlo boca arriba.

- Identificar las áreas en donde irán puestos los electrodos
- Depilar las áreas en donde exista mucho vello. Luego, se debe quitar el exceso de grasa de la piel, esto se logra aplicando alcohol en la áreas seleccionadas.
- Realizar varias pasadas rápidas con un algodón impregnado con alcohol hasta que la piel quede enrojecida. Esto asegura que la electricidad fluya más fácilmente hacia el electrodo.
- Impregnar gel electrolítico en los electrodos y ubicarlos en el área previamente acondicionada. Se debe sujetar el electrodo firmemente usando correas o lazos. El electrodo de succión debe quedar sujeto firmemente.
- Conectar los electrodos a la máquina registradora. Realizar el procedimiento.

1.7. Impresión de la señal ECG

Habitualmente la señal ECG se imprime en papel especial milimetrado. Conocer este principio es básico aún si lo que se pretende es visualizar la señal ECG en una pantalla de cristal líquido (LCD). A continuación se explica cómo es el proceso de impresión tradicional de una señal ECG.

1.7.1. El papel ECG

La impresión de una señal ECG en papel permite tener una herramienta más robusta para analizar eléctricamente el corazón. Tener impresa la señal permite una medida más concienzuda de ritmo, intervalos, segmentos y formas de onda.

1.7.1.1. Escala temporal: El papel se mueve a 25 milímetros por segundo y tiene dibujada una cuadrícula, la cual se muestra en la figura 15:

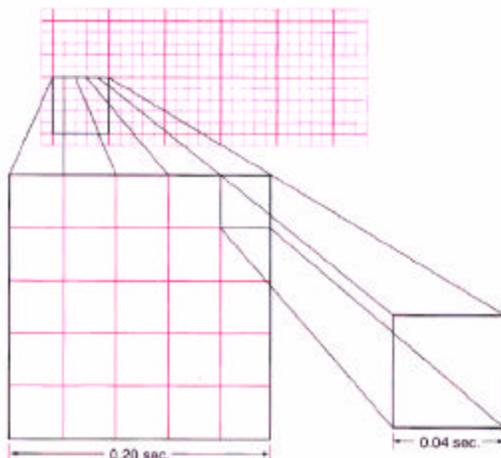


Figura 15. Muestra de la cuadrícula que está impresa en el papel para registros ECG.

FUENTE: SCHOOL OF AVIATION MEDICINE. Understanding ECG. Estados Unidos, 2004.

<http://usasam.amedd.army.mil/_fm_course/Study/UnderstandingECG.pdf>

[Consulta: julio 9 de 2004]

Como se observa en la figura, el papel se divide en pequeños cuadrados de 1 mm^2 , un cuadrado grande se resalta en línea más gruesa y lo conforman 5 mm^2 (5 cuadrados de 1 mm^2 .)

Ya conociendo que el papel corre a 25 mm/seg se pueden establecer las siguientes conversiones de espacio a tiempo:

$1 \text{ mm} = 1/25 \text{ seg.} = 0.04 \text{ seg.}$

$5 \text{ mm} = 1/5 \text{ seg.} = 0.2 \text{ seg.}$

$25 \text{ mm} = 1 \text{ seg.}$

1.7.1.2. Escala de magnitud: La altura del trazado electrocardiográfico está sujeta al voltaje que los electrodos captan. El estándar define que una altura de 10 mm . establece una diferencia de potencial de 1 mV . La altura de las formas de onda revela detalles del funcionamiento del corazón.

1.7.2. Medición de la frecuencia cardíaca con papel ECG:

Cuando ya se tiene un registro ECG en papel, se puede proceder a realizar un análisis de la señal.

Entre los parámetros de interés se encuentra la frecuencia cardíaca.

Para hallar el ritmo ventricular se tienen 3 métodos:

- Contar el número de ondas R en 6 segundos y multiplicar por 10
- Dividir 1500 entre el número de cuadros pequeños que hay entre ondas R consecutivas
- Dividir 300 entre el número de cuadrados grandes que hay entre ondas R consecutivas.