

Bloque 2: Cardiología-Electrocardiograma

Introducción a la Electrofisiología

Luis Bote Curiel
Francisco Manuel Melgarejo Meseguer

DTSC

Curso 24-25



Índice

① Fisiología

② Electrocardiografía

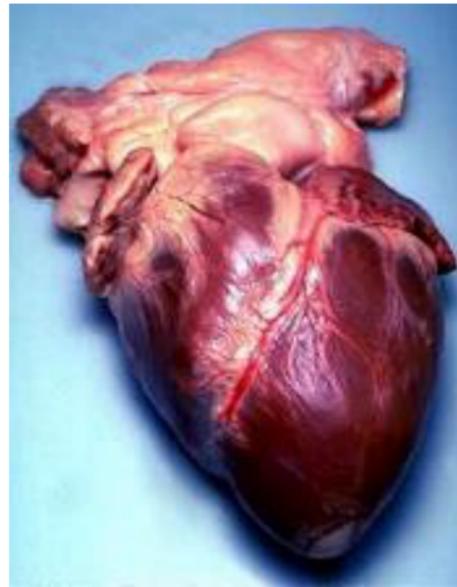
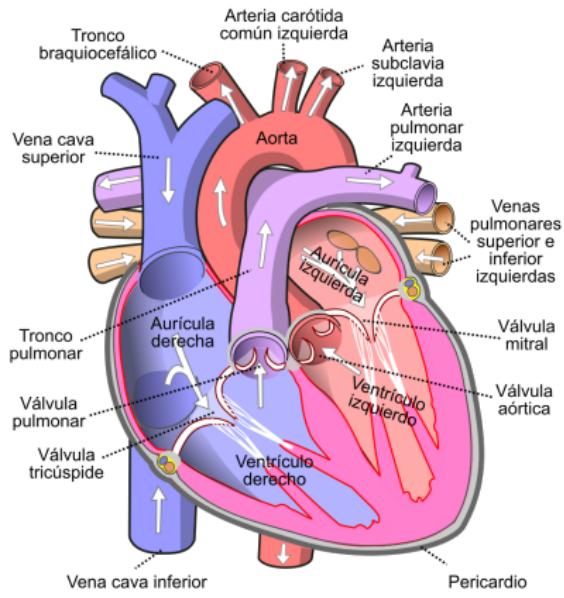
③ Bibliografía

Fisiología

¿Qué es el corazón?

- El corazón es un músculo hueco que bombea sangre a través de los vasos sanguíneos mediante contracciones repetidas y rítmicas.
- Está compuesto principalmente de músculo cardíaco y tejido conectivo.
- El músculo cardíaco es un tejido muscular estriado involuntario responsable de la capacidad del corazón para bombear sangre.
- El corazón humano tiene cuatro cámaras, dos aurículas superiores y dos ventrículos inferiores. Las aurículas son las cámaras receptoras y los ventrículos son las cámaras de descarga.
- El recorrido de la sangre a través del corazón humano consiste en un circuito pulmonar y un circuito sistémico.

El corazón humano



Sistema cardiovascular

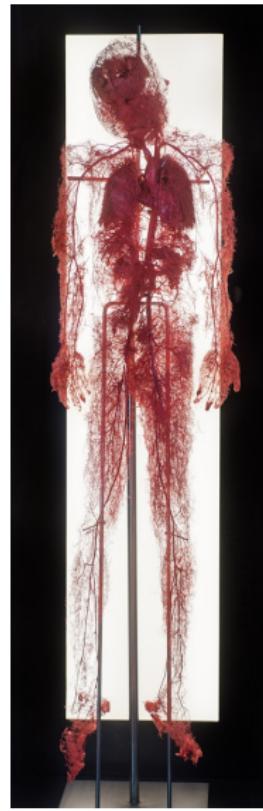
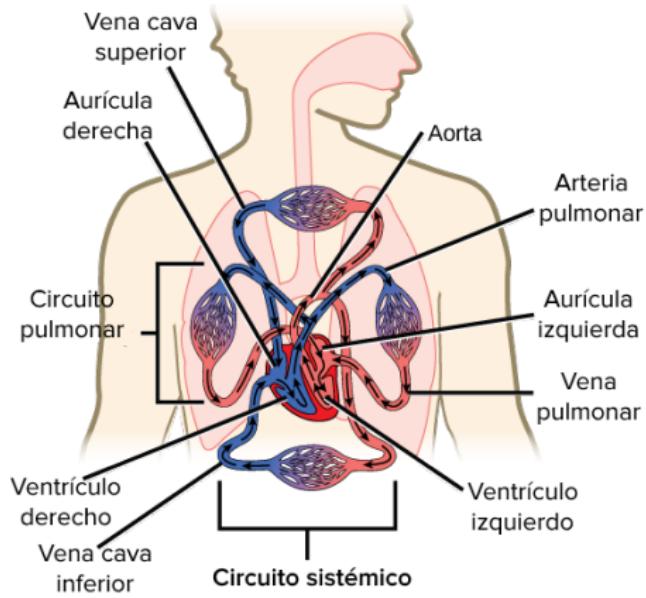
Descripción General

El sistema cardiovascular mantiene la homeostasis, transportando oxígeno, nutrientes, hormonas y desechos. Regula la temperatura, el pH y la defensa inmunológica.

Componentes Principales

- **Corazón:** Bomba muscular con cuatro cámaras (aurículas y ventrículos) que impulsa la sangre por los circuitos pulmonar y sistémico.
- **Vasos Sanguíneos:** Arterias (sangre oxigenada), venas (sangre desoxigenada) y capilares (intercambio de gases y nutrientes).
- **Sangre:** Plasma, eritrocitos (transporte de oxígeno), leucocitos (respuesta inmunológica) y plaquetas.

Sistema Cardiovascular

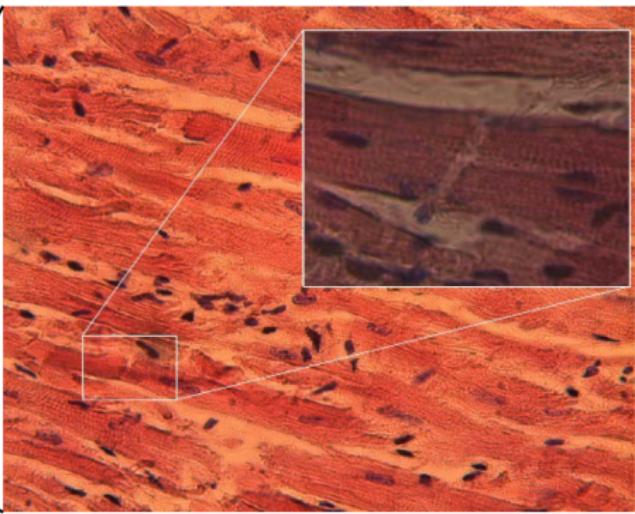
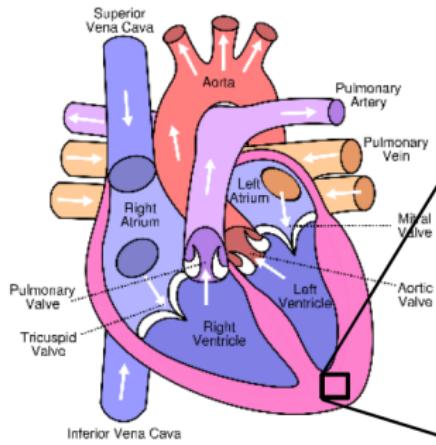


¿Cómo late el corazón?

Funcionamiento

- Un miocito (también conocido como célula muscular o fibra muscular) es el tipo de célula que se encuentra en el tejido muscular.
- El músculo cardíaco está compuesto por dos tipos de células musculares: los cardiomiositos y las células marcapasos cardíacas.
- Los cardiomiositos forman las aurículas y los ventrículos, y sus fibras pueden acortarse y alargarse, realizando las contracciones de un corazón que late. Los latidos del corazón son la acción mecánica de aproximadamente $2 \cdot 10^9$ cardiomiositos.
- Las células marcapasos cardíacas son capaces de generar y enviar impulsos eléctricos de manera espontánea.
- Los cardiomiositos son excitados por los impulsos eléctricos generados en los marcapasos cardíacos.

Cardiomiocitos

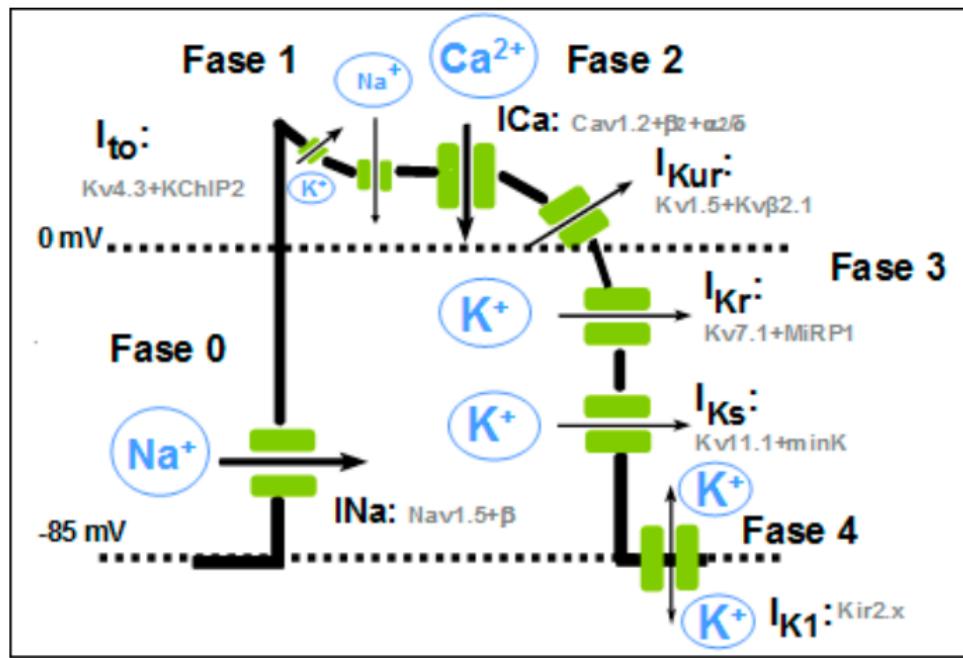


Potencial de acción cardíaco

¿Cómo laten las células cardíacas?

- El potencial de acción cardíaco tiene dos fases: reposo (relajada) y activa (contraída).
- En reposo, las células están polarizadas (-85 mV) con un equilibrio entre K^+ saliendo y Na^+ y Ca^{2+} entrando.
- Cuando se activan células vecinas, el Na^+ entra, aumentando el voltaje hasta -70 mV, abriendo canales rápidos de Na^+ y subiendo el voltaje a +20 mV. La célula se despolariza.
- A -20 mV, los canales de Na^+ se cierran y se abren los rápidos de K^+ , disminuyendo el voltaje a +5 mV.
- A +5 mV, se abren los canales de Ca^{2+} , equilibrando la salida de K^+ . La carga disminuye lentamente hasta el umbral.
- En el umbral, los canales de Ca^{2+} se cierran y la célula se repolariza a -85 mV cuando los canales rápidos de K^+ se cierran (fase de reposo). La célula se polariza de nuevo.

Potencial de acción



Modelos de células cardíacas

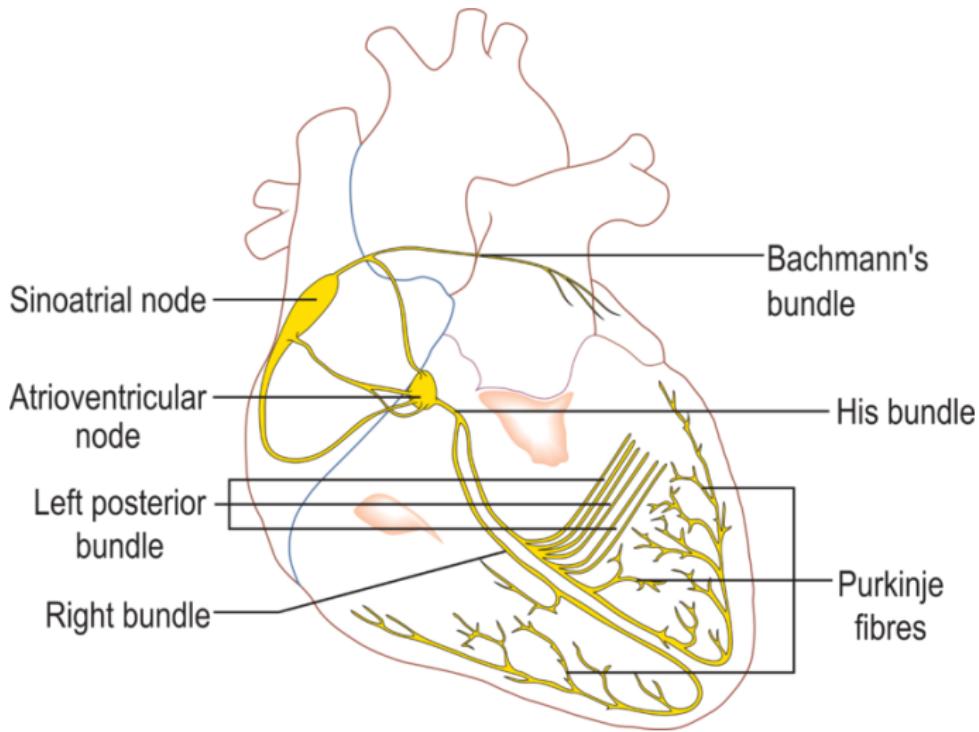
- **Modelo de Hodgkin-Huxley:** Describe cómo los potenciales de acción en las neuronas son iniciados y propagados, adaptado para cardiomiositos para explicar la dinámica de los canales iónicos.
- **Modelo de Noble:** Uno de los primeros modelos matemáticos de células cardíacas, que describe la actividad eléctrica de las células del nodo sinoauricular.
- **Modelo de Luo-Rudy:** Un modelo detallado de cardiomiositos ventriculares que incluye múltiples tipos de canales iónicos y sus cinéticas, utilizado para estudiar arritmias y otros fenómenos cardíacos.
- **Modelo de Courtemanche-Ramirez-Nattel:** Específico para células auriculares, este modelo se utiliza para investigar trastornos del ritmo auricular.

¿Cómo laten las células cardíacas?

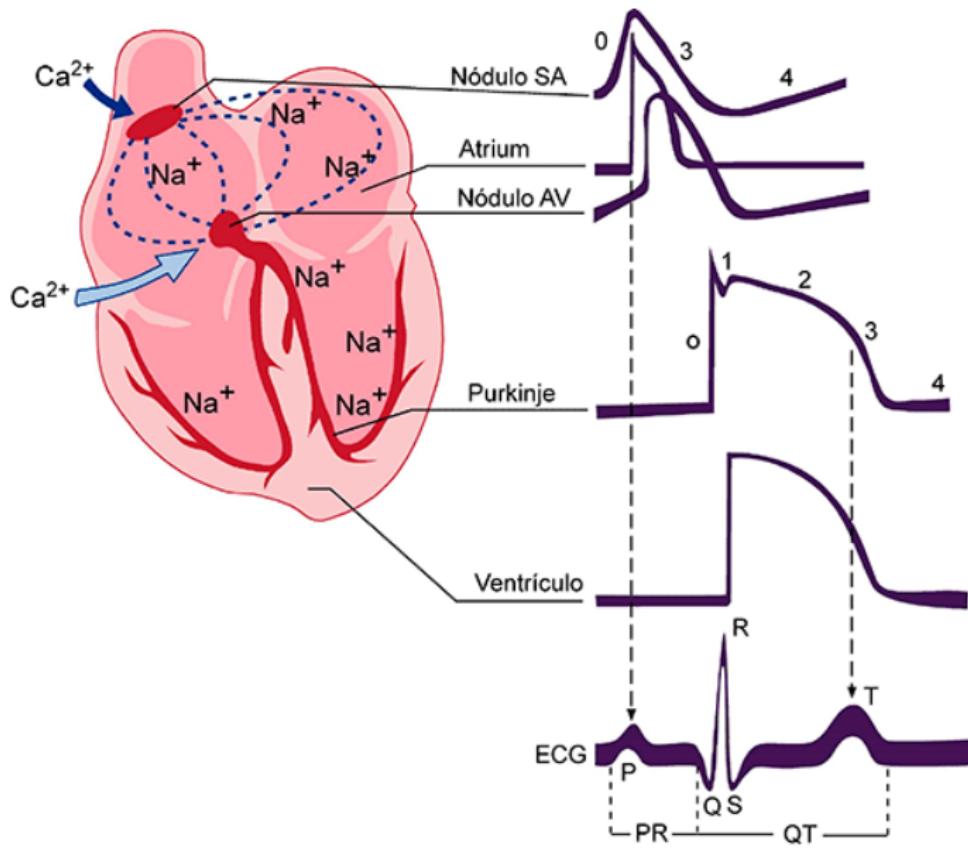
Mecanismo de Latido Cardíaco

- El **nodo sinoauricular (SA)** es el marcapasos cardíaco, capaz de generar y enviar impulsos eléctricos espontáneamente a la frecuencia adecuada.
- Este impulso eléctrico se propaga a través de la aurícula derecha y, mediante el **haz de Bachmann**, a la aurícula izquierda, estimulando el miocardio de las aurículas para que se contraigan.
- El impulso eléctrico del nodo SA llega al **nodo auriculoventricular (AV)** a través de los **tractos internodales**, después de un pequeño retraso para evitar la contracción simultánea de aurículas y ventrículos.
- El **haz de His** se divide en dos ramas para los dos ventrículos.
- Las dos ramas del haz se ramifican en numerosas **fibras de Purkinje**, que estimulan a grupos individuales de células miocárdicas para que se contraigan.

Sistema de conducción cardíaco



Potenciales para ECG



Electrocardiografía

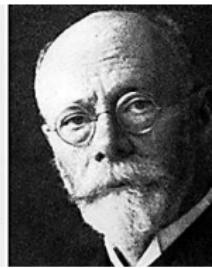
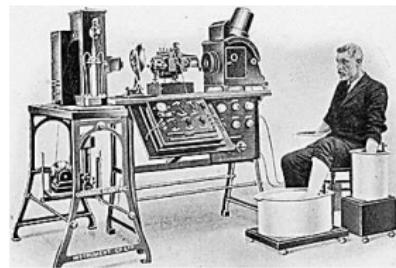
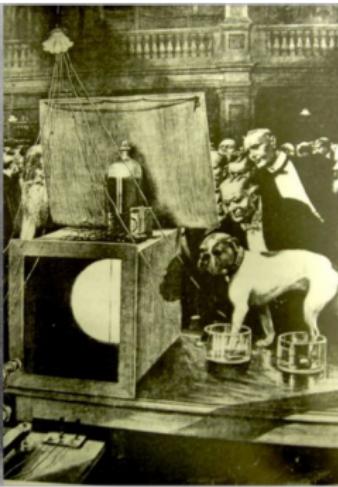
Introducción

Definición y Usos

La electrocardiografía es una interpretación transtorácica de la actividad eléctrica del corazón a lo largo del tiempo, detectada por electrodos en la piel y registrada por un dispositivo externo. El registro producido se denomina electrocardiograma (ECG o EKG). Un ECG se utiliza para medir la frecuencia y regularidad de los latidos, el tamaño y la posición de las cámaras, la presencia de daños en el corazón y los efectos de medicamentos o dispositivos como marcapasos.

Historia

Augustus Waller, pionero en el campo, registró el primer electrocardiograma humano en 1887 utilizando un electrómetro capilar. **Willem Einthoven** desarrolló los principios del ECG moderno con el galvanómetro de cuerda que inventó en 1901, describiendo características de varios trastornos cardiovasculares. Recibió el Premio Nobel de Medicina en 1924.



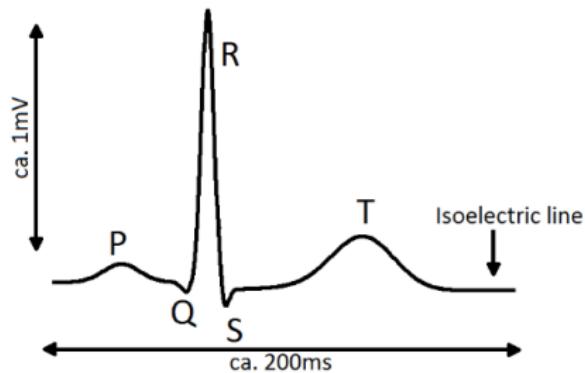
Electrocardiograma (ECG)

Definición

Un ECG es la suma de los potenciales de acción de aproximadamente 2×10^9 cardiomiositos. El electrocardiograma registra estas actividades a partir de electrodos colocados en diferentes partes del cuerpo. En total, se calculan doce derivaciones utilizando diez electrodos.

Componentes del ECG

- **Onda P:** Resulta de la activación auricular.
- **Complejo QRS:** Resulta de la despolarización ventricular.
- **Onda T:** Resulta de la repolarización ventricular.



Electrocardiografía

Definición de "lead"

- Puede referirse al cable que conecta los electrodos al registrador de ECG (10 electrodos estándar en un ECG de *12 derivaciones*).
- También puede referirse al trazado de la diferencia de voltaje entre dos electrodos, producido por el registrador de ECG (por ejemplo, *derivación I* es el voltaje entre el electrodo del brazo derecho y el del brazo izquierdo).

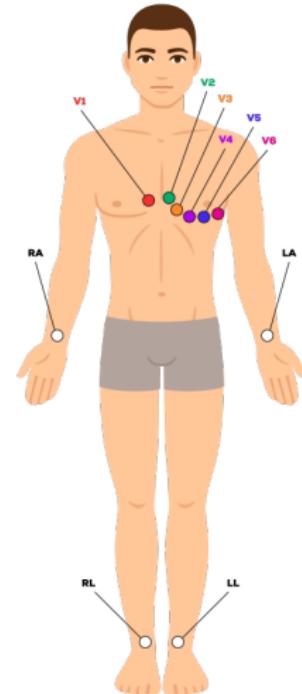
Confusión adicional

- El término *derivaciones de las extremidades* generalmente se refiere a los trazados de las derivaciones I, II y III, no a los electrodos en las extremidades.
- Se utilizan diez electrodos para un ECG de 12 derivaciones, consistentes en un gel conductor en una almohadilla autoadhesiva. Están etiquetados y colocados en el cuerpo del paciente como sigue:

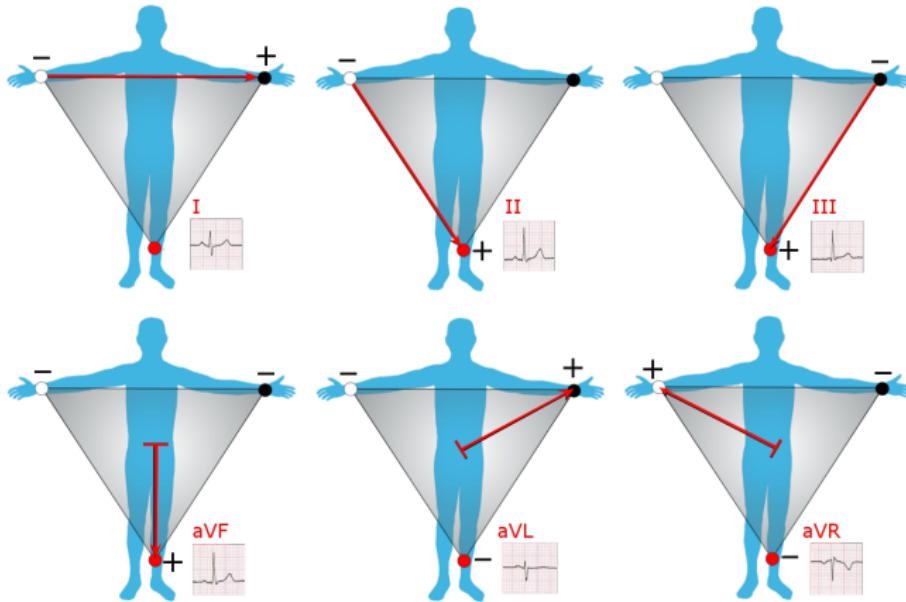
Etiquetado

Leads

- RA: Brazo derecho.
- LA: Brazo izquierdo, misma ubicación que RA.
- RL: Pierna derecha.
- LL: Pierna izquierda, misma ubicación que RL.
- V1: Cuarto espacio intercostal derecho, junto al esternón.
- V2: Cuarto espacio intercostal izquierdo, junto al esternón.
- V3: Entre V2 y V4.
- V4: Quinto espacio intercostal, línea medio clavicular.
- V5: A la altura de V4, línea axilar anterior izquierda.
- V6: A la altura de V4 y V5, línea medio axilar.



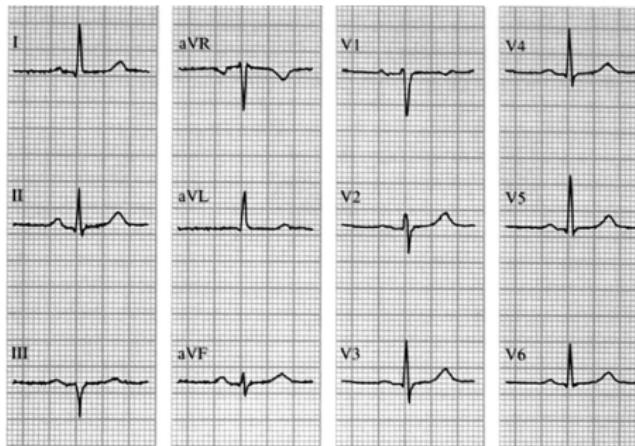
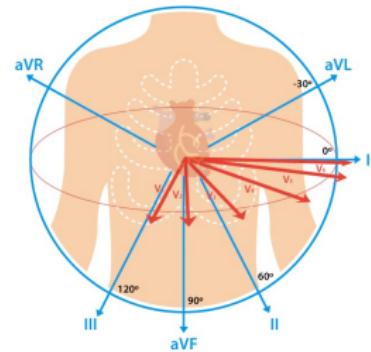
Triangulo de Einthoven



Perspectiva de las Derivaciones

Luces, Cámaras y Acción

Puedes imaginar estas derivaciones como cámaras mirando al corazón. Cada derivación o cámara está mirando desde su propia posición y, por lo tanto, cada derivación te brinda información única desde su perspectiva específica.



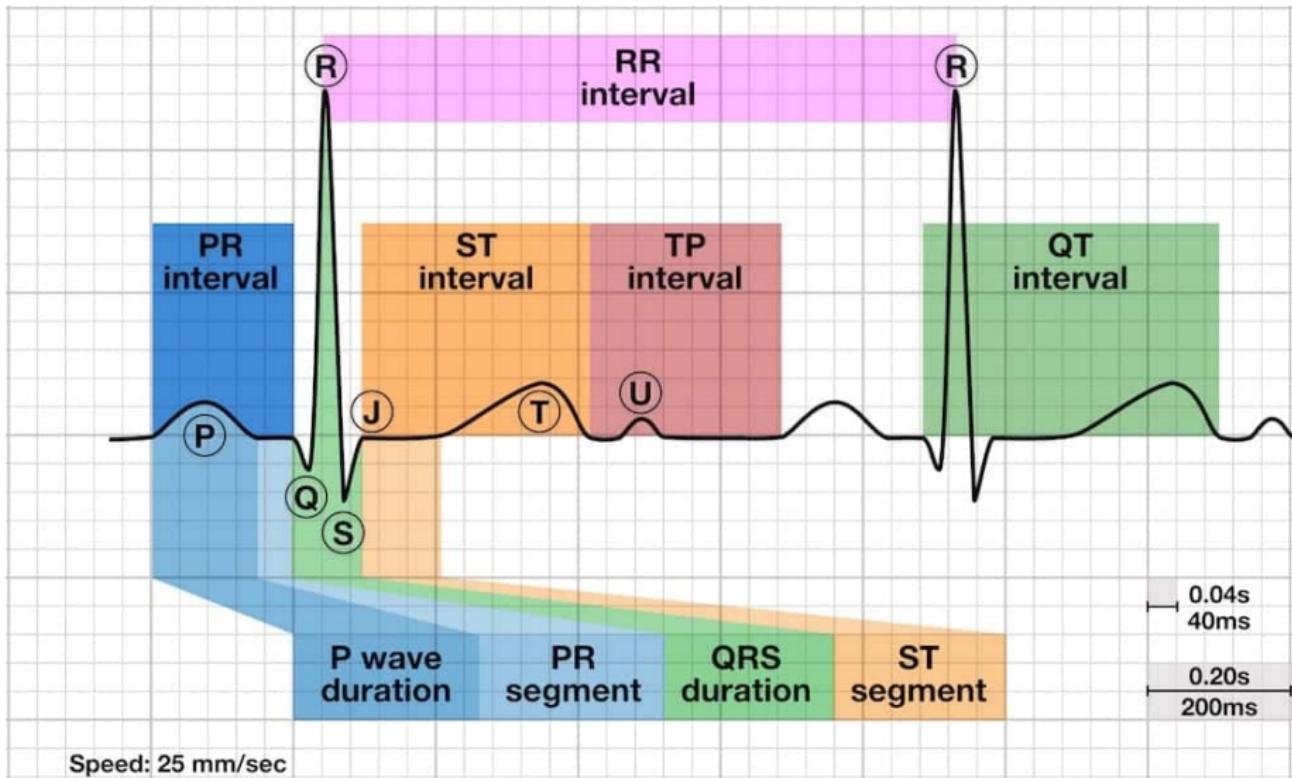
Intervalos y segmentos

- **Intervalo PR:** Desde el comienzo de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS. Refleja el tiempo entre la activación del nodo SA y la despolarización AV (120 a 200 ms).
- **Intervalo ST:** El intervalo ST se mide desde el punto J hasta el final de la onda T (320 ms).
- **Intervalo QT:** El intervalo QT se mide desde el comienzo del complejo QRS hasta el final de la onda T (hasta 420 ms con una frecuencia cardíaca de 60 bpm).
- **Segmento ST:** Tiempo entre el final de la despolarización ventricular y el comienzo de la repolarización ventricular. Desde el final del complejo QRS hasta el comienzo de la onda T (0.08 a 0.12 ms).
- **Segmento PR:** Desde el final de la onda P hasta el comienzo del complejo QRS. Retraso entre las aurículas y los ventrículos.
- **Intervalo RR:** El intervalo entre una onda R y la siguiente onda R: Duración normal en reposo: 0.6 a 1.2 s.

Ondas y otros puntos fiduciales

- **Onda P:** Actividad eléctrica sobre las aurículas después de la activación del nodo SA (80 ms).
- **Onda Q:** Despolarización desde la región arterioseptal de izquierda a derecha. Primera deflexión hacia abajo después de la onda P (40 ms).
- **Onda R:** Despolarización temprana de los ventrículos. Primeras deflexiones hacia arriba después de la onda P.
- **Onda S:** Despolarización tardía de los ventrículos. Primera deflexión hacia abajo después de la onda R (independientemente de si actúa la onda Q o no).
- **Complejo QRS:** Despolarización rápida de los ventrículos derecho e izquierdo (0.06 a 0.1 ms).
- **Onda T:** Repolarización de los ventrículos (160 ms).
- **Onda U:** Sigue a la onda T y su origen es controvertido.
- **Punto J:** Pequeña onda secundaria después del complejo QRS. También controvertido.

Morfología del latido



Arritmias

- **Bradicardia:** Frecuencia cardíaca más lenta de lo normal, generalmente menos de 60 latidos por minuto.
- **Taquicardia:** Frecuencia cardíaca más rápida de lo normal, generalmente más de 100 latidos por minuto.
- **Fibrilación Auricular:** Ritmo cardíaco irregular y a menudo rápido que puede llevar a la formación de coágulos sanguíneos en el corazón.
- **Flutter Auricular:** Arritmia en la que las aurículas del corazón laten muy rápido, pero de manera regular.
- **Extrasístoles:** Latidos adicionales que se originan en alguna parte del corazón y ocurren antes del siguiente latido normal.

Alteraciones morfológicas

- **Contracción Ventricular Prematura(PVC):** PVCs son el resultado de un foco ventricular irritable. Pueden ser uniformes (forma idéntica) o multiformes (formas diferentes). Típicamente, el PVC es seguido por una pausa compensatoria completa porque el nodo sinusal no se interrumpe. El ritmo es irregular cuando ocurre PVC. El PVC no está relacionado con la onda P y el intervalo PR. El QRS dura más de 0.1 s.
- **Contracción Auricular Prematura (APC):** APC, también llamado PAC en la literatura, es otra arritmia cardíaca importante. Una contracción única ocurre antes de la contracción sinusal estimada. Después del APC, el ritmo sinusal típicamente se reanuda. La onda P está presente y puede tener varias formas. El intervalo PR también está presente y varía en PAC. La duración del QRS es normal, de 0.06 a 0.1 s.

Alteraciones morfológicas

- **Bloqueo de rama derecha (RBBB):** La tercera arritmia cardíaca más frecuente es RBBB. El complejo QRS dura más de 0.10 s. El eje QRS puede ser normal pero también puede desviarse a la derecha. Su patrón RSR en la derivación V1 con R es más alto que el patrón R QRS en V5 y V6. ST-T es borroso y en dirección inversa al segmento terminal de QRS (esto no es elevación ST o depresión ST).
- **Bloqueo de rama izquierda (LBBB):** La cuarta arritmia que se discutirá es LBBB. Es similar a RBBB. El complejo QRS dura más de 0.1 s. Es principalmente negativo en las derivaciones V1 y V2 y positivo en V5 y V6. Se observa la ausencia de pequeñas ondas Q normales en I, aVL, V5 y V6. Sus amplias ondas R monofásicas se encuentran en I, aVL, V1, V5 y V6.

Bibliografía

Bibliografía

- Agradecimiento a los profesores Javier Gimeno Blanes y Alberto Rodríguez Martínez.
-  L. Sörnmo and P. Laguna, *Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications*. Academic Press series in biomedical engineering, Elsevier Science, 2005.