

# 1 Bases del diagnóstico electrocardiográfico

## 1.1 Bases electrofisiológicas de la electrocardiografía

### Consideraciones preliminares

- ▶ **Acoplamiento electromecánico:** en el marco del acoplamiento electromecánico, los iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) son la llave entre la activación eléctrica y el desplazamiento mecánico entre los elementos contráctiles.
- ▶ **Potencial de acción:** el potencial de acción describe los procesos eléctricos que se desarrollan en cada una de las células miocárdicas.

### Potenciales de membrana: resumen

- ▶ **Potencial de membrana de reposo:**
  - El potencial de membrana de reposo se origina por las diferentes concentraciones de iones entre los espacios intracelular y extracelular:
  - En el espacio intracelular predominan los iones de  $\text{K}^+$ , y en el espacio extracelular los iones de  $\text{Na}^+$ .
  - Los gradientes de concentración se mantienen por bombas de iones.
  - En reposo existe en la membrana una diferencia de potencial de aproximadamente  $-90$  mV.
- ▶ **Potencial umbral:**
  - El denominado potencial umbral está inducido por los flujos iónicos desencadenados por actividad espontánea o por estímulos externos.
  - Cuando se alcanza el potencial umbral, se dispara el potencial de acción.
- ▶ **Potencial de acción:**
  - Al comienzo del potencial de acción se produce una inversión breve de la tensión (despolarización).
  - Al final del potencial de acción se reestablece nuevamente el potencial de membrana de reposo a través de una nueva inversión de la tensión (repolarización).

### Fases del potencial de acción

- ▶ **Fase 0. Despolarización rápida:** se produce el cambio repentino del potencial de reposo a la despolarización por la entrada rápida de  $\text{Na}^+$ .
- ▶ **Fase 1. Repolarización rápida temprana:** distintos flujos iónicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) condicionan el retorno al potencial positivo de membrana alcanzando el equilibrio de la tensión.
- ▶ **Fase 2. Meseta:** la meseta, de aproximadamente 100-200 ms de duración, se produce por el flujo de salida constante de  $\text{K}^+$  con el ingreso adicional de  $\text{Ca}^{2+}$ . Durante esta fase, la mayoría de los canales de  $\text{Na}^+$  están inactivados.
- ▶ **Fase 3. Repolarización rápida tardía:** por la salida continua de iones de  $\text{K}^+$  se produce una marcada caída del potencial de membrana en dirección al potencial de membrana de reposo.
- ▶ **Fase 4: Potencial de membrana de reposo y despolarización diastólica:** en esta fase se intercambian iones de  $\text{Na}^+$  por iones de  $\text{K}^+$ . La distribución de los iones corresponde nuevamente a la de la situación inicial.

# 1.1 Bases fisiológicas de la electrocardiografía

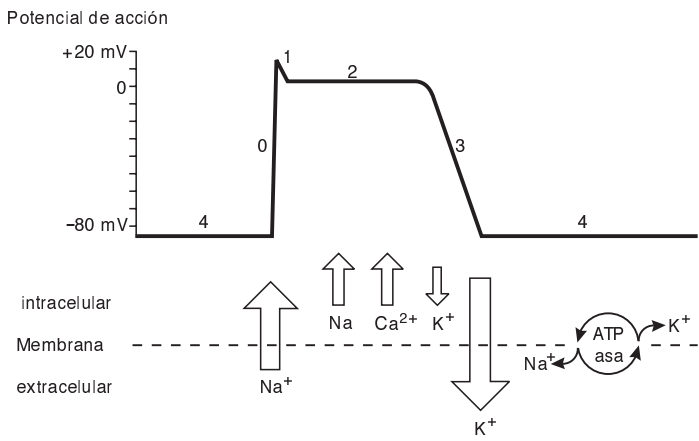


Fig. 1.1 • Potencial de acción. El potencial de acción se divide en 5 fases (0-4); los flujos iónicos diferentes son característicos de cada una de las fases.

## Marcapasos del corazón

- El **potencial umbral** se puede alcanzar espontáneamente en tres diferentes regiones del miocardio:
- **Nódulo sinusal:** marcapasos primario o principal
  - **Nódulo AV:** marcapasos secundario

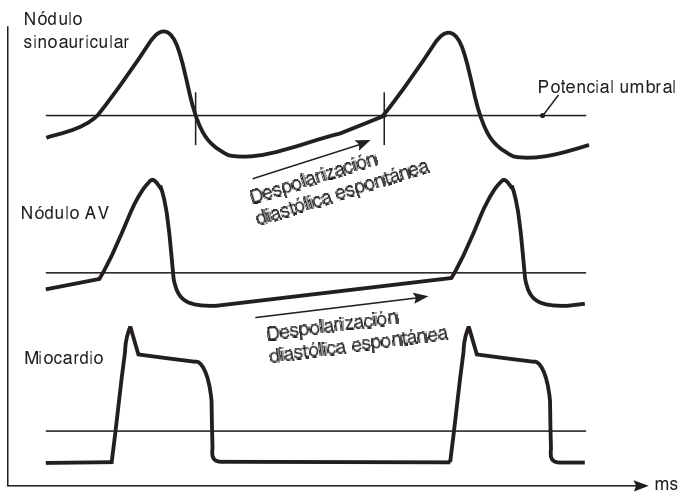


Fig. 1.2 • Marcapasos cardíacos: potenciales de acción del nódulo sinoaauricular, del nódulo AV y del miocardio. Obsérvese la despolarización diastólica espontánea del nódulo sinoaauricular y del nódulo AV en contraposición al potencial de acción del miocardio.

- **Miocardio ventricular** a nivel de las **fibras de Purkinje**: marcapasos terciario
- El **potencial de acción** se diferencia en estas tres regiones según su pendiente y su duración, véase Fig. 12. Estas diferencias se explican por la distribución diferente de los canales iónicos.
- **Frecuencia de los marcapasos**: Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 • Frecuencia de los marcapasos cardíacos

Marcapasos	Frecuencia
Nódulo sinoauricular	60 – 80 latidos/min
Nódulo AV	40 – 60 latidos/min
Miocardio ventricular	20 – 40 latidos/min

### Períodos refractarios

- **Definición**: durante el potencial de acción hay fases en las que las células miocárdicas no son excitables (períodos o fases refractarios). Estas dependen del estado de tensión de la célula miocárdica.
- **Se distinguen tres períodos refractarios**:
  - **Período refractario absoluto**: voltaje  $-50$  mV a  $0$  mV. En el período refractario absoluto no es posible lograr la excitación miocárdica. El período refractario absoluto corresponde a las fases 1 y 2 y al comienzo de la fase 3 del potencial de acción (compárese con la Fig. 1.3).
  - **Período refractario efectivo**: voltaje entre  $-50$  mV y  $-60$  mV. Las respuestas a los estímulos son potenciales de acción muy pequeños y planos.
  - **Período refractario relativo**: voltaje de  $-60$  mV hasta el potencial de membrana de reposo. Las respuestas a los estímulos son potenciales de acción efectivos, que tienen un ascenso más lento y un potencial positivo más pequeño, directamente después de la fase 0.

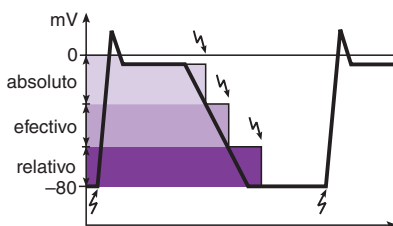


Fig. 1.3 • Períodos refractarios del potencial de acción. Según el momento de estimulación de la célula miocárdica, no se produce el potencial de acción (período refractario absoluto) o se produce un potencial de acción deformado (período refractario relativo). Recién después del final del período refractario se puede disparar un potencial de acción de configuración normal.

## Conducción de estímulos: teoría bipolar

### ► La activación celular se subdivide en

- La **formación del estímulo** en las células cardíacas con función de marcapasos (véase p. 2).
- La **conducción del estímulo** a través de un sistema de conducción específico.
  - Los principios de conducción del estímulo a nivel del miocardio y a nivel del sistema de conducción son iguales.
  - La **velocidad de conducción del estímulo del sistema de conducción específico es mayor que la del resto del miocardio.**

### ► Teoría bipolar:

- **Definición:** el dipolo describe la diferencia de cargas entre las células excitadas y no excitadas.
- La **conducción del estímulo** se basa en las propiedades bipolares de la célula aislada y del conjunto celular respectivamente.

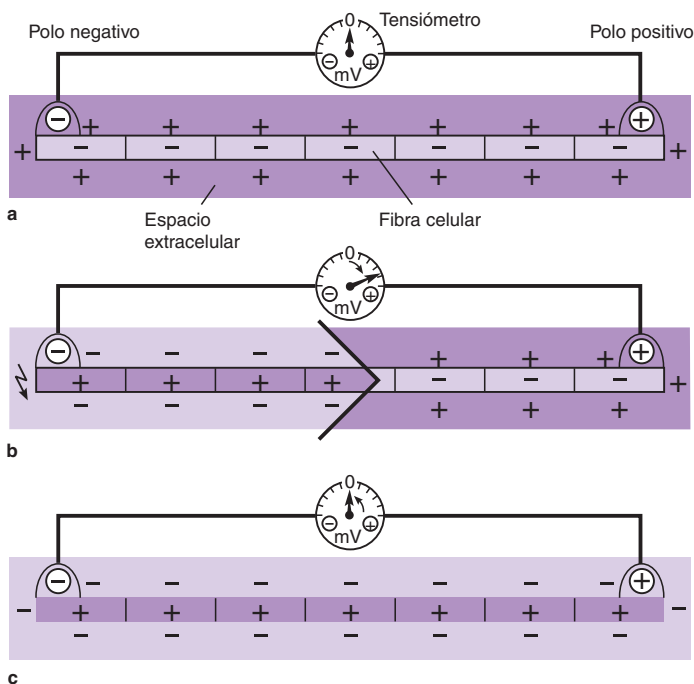


Fig. 1.4 • Medición del dipolo. Se representa una fibra miocárdica en cuyos dos extremos están colocados los polos del aparato de medición. Obsérvese la distribución respectiva de cargas entre los espacios intra y extracelular. a) Fibra miocárdica en reposo, distribución de cargas igual entre los espacios intra y extracelular en los dos polos de la fibra. b) El estímulo produce la excitación (polarización) de la fibra miocárdica. El frente de excitación aún no llegó al final de la unión celular. Entre los dos polos del aparato que mide la tensión, se puede medir una diferencia de cargas. c) Unión celular completamente excitada. No se mide diferencia de cargas entre los dos polos del medidor de tensión.

► **Bases de la medición bipolar:**

1. Se miden las diferencias de voltaje.
2. La excitación eléctrica se propaga desde las primeras células despolarizadas hacia el resto del tejido.
3. Entre las fases de despolarización y de repolarización hay una diferencia de tensión. Por lo tanto no hay una oscilación en el aparato de medición.

► **Significado del dipolo para el registro electrocardiográfico:**

- Despolarización:
  - Onda P: despolarización auricular.
  - Complejo QRS: despolarización ventricular
- Miocardio completamente excitado:
  - Segmento ST: en el miocardio sano no hay diferencias en el dipolo, el segmento ST es isoeléctrico.
- Repolarización:
  - Onda T: la onda T aparece en dirección inversa a la de la despolarización. Como las últimas células que se despolarizan son las primeras en repolarizarse, el complejo QRS y la onda T tienen polaridades congruentes en el ECG de superficie.

**Conducción del estímulo: teoría de los vectores**

- .....
- **Definición:** un vector eléctrico es una comunicación directa entre el punto de inicio y el punto final de una excitación eléctrica dentro de un intervalo de tiempo determinado.
  - Mientras que el dipolo sólo describe la diferencia de cargas entre células, el vector es la expresión del tamaño de las diferencias de carga y de voltaje respectivamente y de su ubicación en el espacio.
  - Este gradiente de voltaje se orienta en el espacio según la ubicación del frente excitatorio cardíaco. El vector siempre se dirige desde el origen del estímulo (polo negativo) hacia la última región excitada del miocardio (polo positivo).
  - El ECG de superficie se origina por la sumatoria de todos los vectores en el plano frontal.