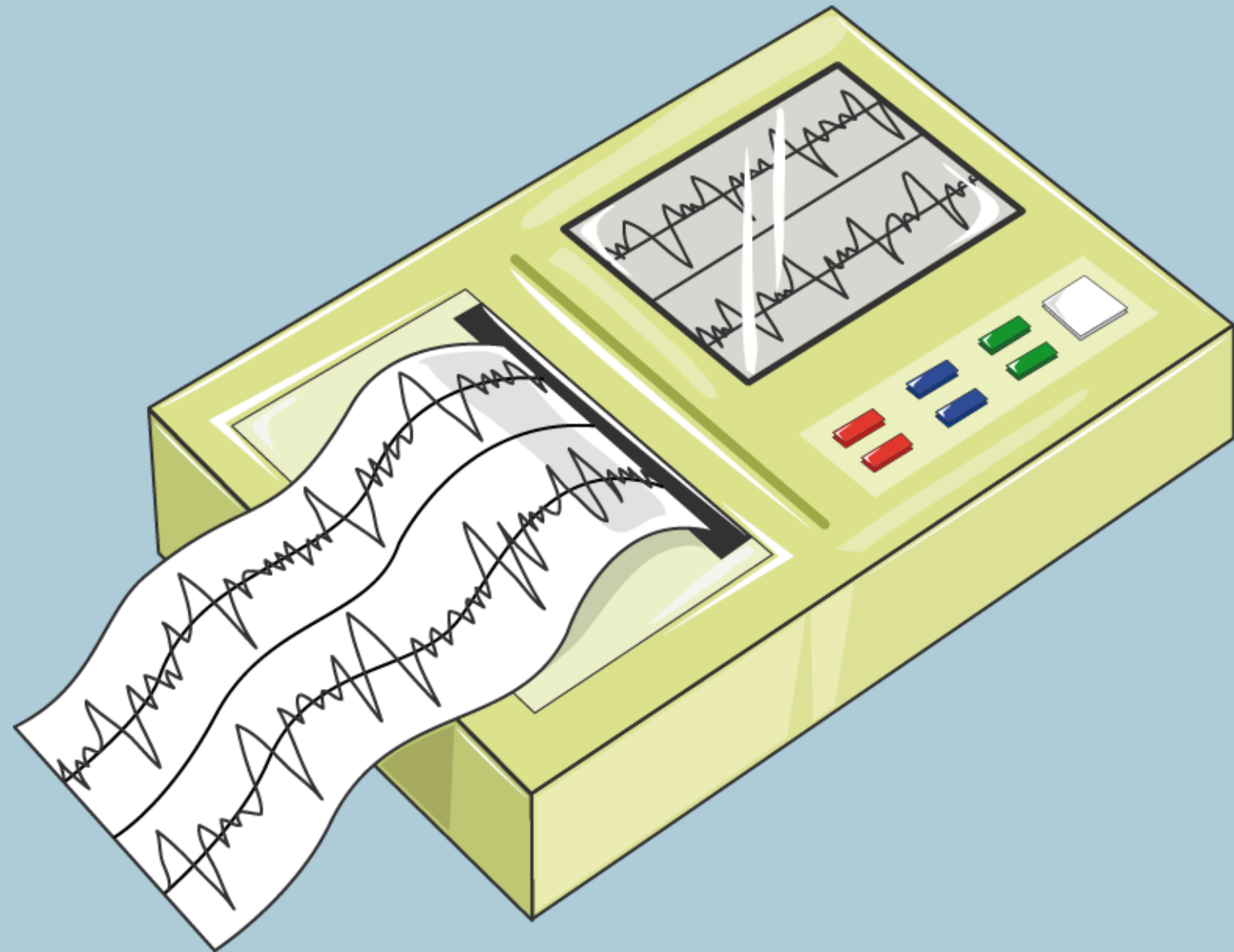


Fisiología cardíaca



Repaso

Dr. Francisco Xavier Pérez Vilchis “CardioXavi”

Vaso	Tipo	Función	Características	Ejemplos
Arteria grande	Elástico	Llevar la sangre a presión hacia las arterias de conducción	Tejido elástico prominente en la capa adventicia y muscular	Aorta abdominal, tronco braquiocefálico, aorta ascendente, arco aórtico
Arterias medianas	De conducción	Distribuyen la sangre a sus tejidos respectivos	Túnica muscular prominente	Arterias coronarias, arteria braquial, arteria radial, arteria ulnar
Arteriola	De resistencia	Se oponen al flujo sanguíneo para regularlo	Menor diámetro, mayor presencia de colágeno en la adventicia	N/A
Capilar	De intercambio	Permiten el paso de nutrientes, gases y desechos entre la sangre y los tejidos	Carece de adventicia y túnica media. Solo tienen la íntima. En algunos casos carecen de membrana basal y/o están fenestrados.	N/A
Vénulas y venas	De capacitancia	Almacenan la sangre al actuar como reservorios	Presencia alta de tejido colágeno y fibras elásticas irregulares	Todas las venas con nombre

Las cinco propiedades funcionales del corazón

Término	Nombre	Concepto
Cronotropismo	Automatismo	Capacidad de generar sus propios potenciales de acción, de manera rítmica
Inotropismo	Contractilidad	Capacidad de contraerse y producir tensión
Badmotropismo	Excitabilidad	Capacidad de la célula de poder ser estimulada por otra y generar una respuesta (potencial de acción)
Dromotropismo	Conducción	Capacidad de transmitir los potenciales de acción de una célula a otra
Lusitropismo	Relajación	Capacidad de los miocitos de relajarse después de una contracción

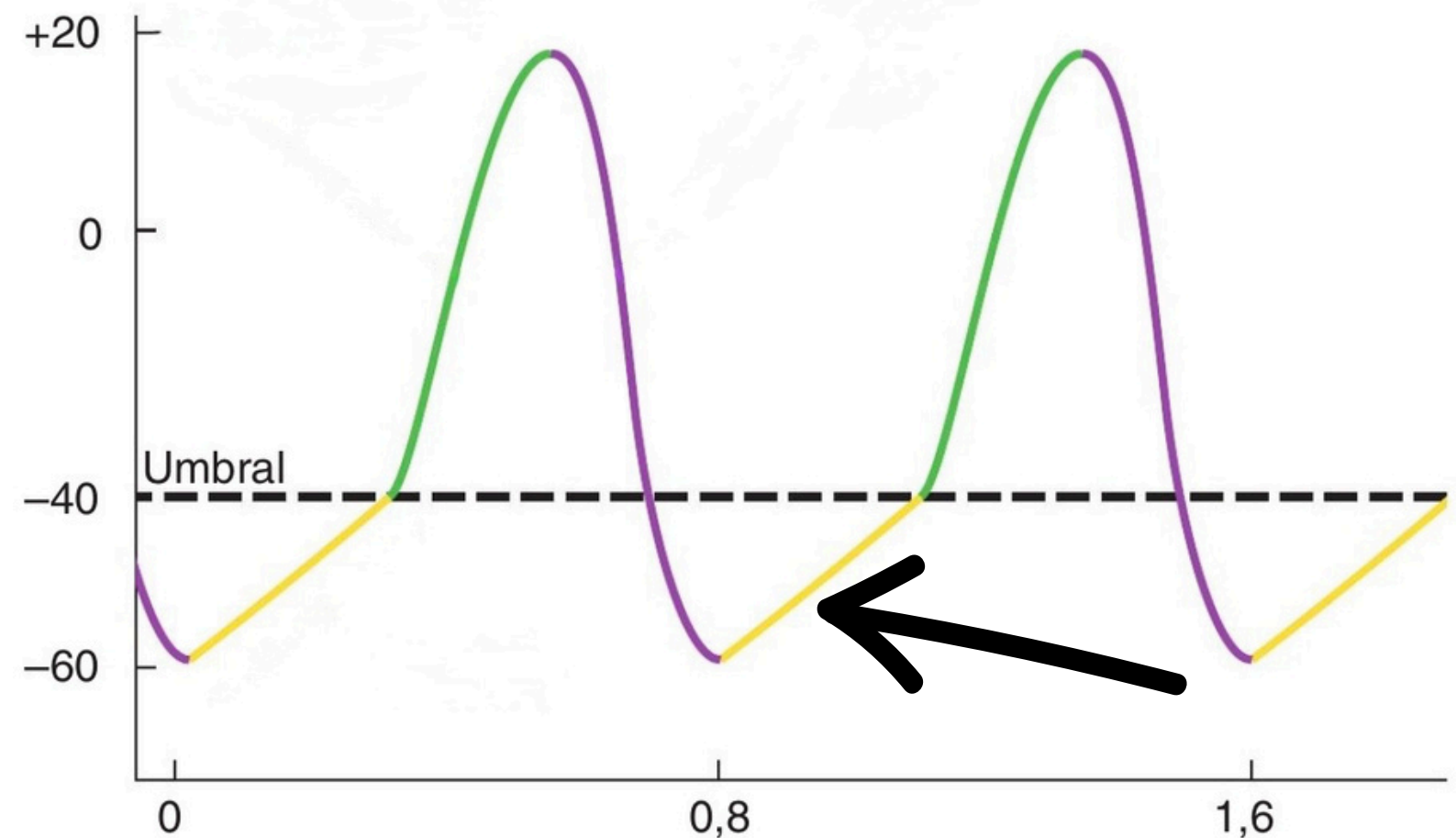
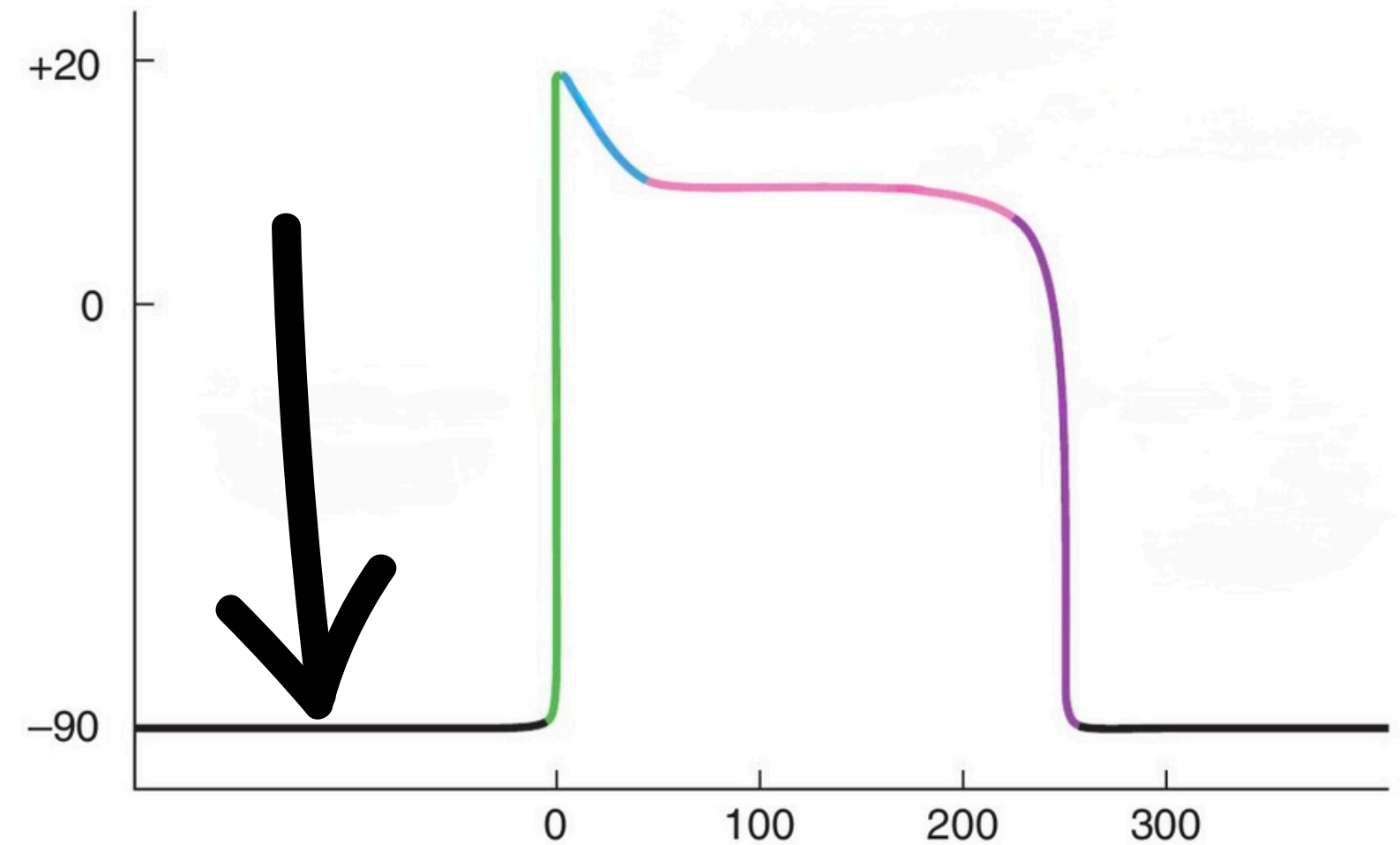
Excitabilidad: origen y conducción de la actividad eléctrica del corazón

Potencial de membrana en reposo

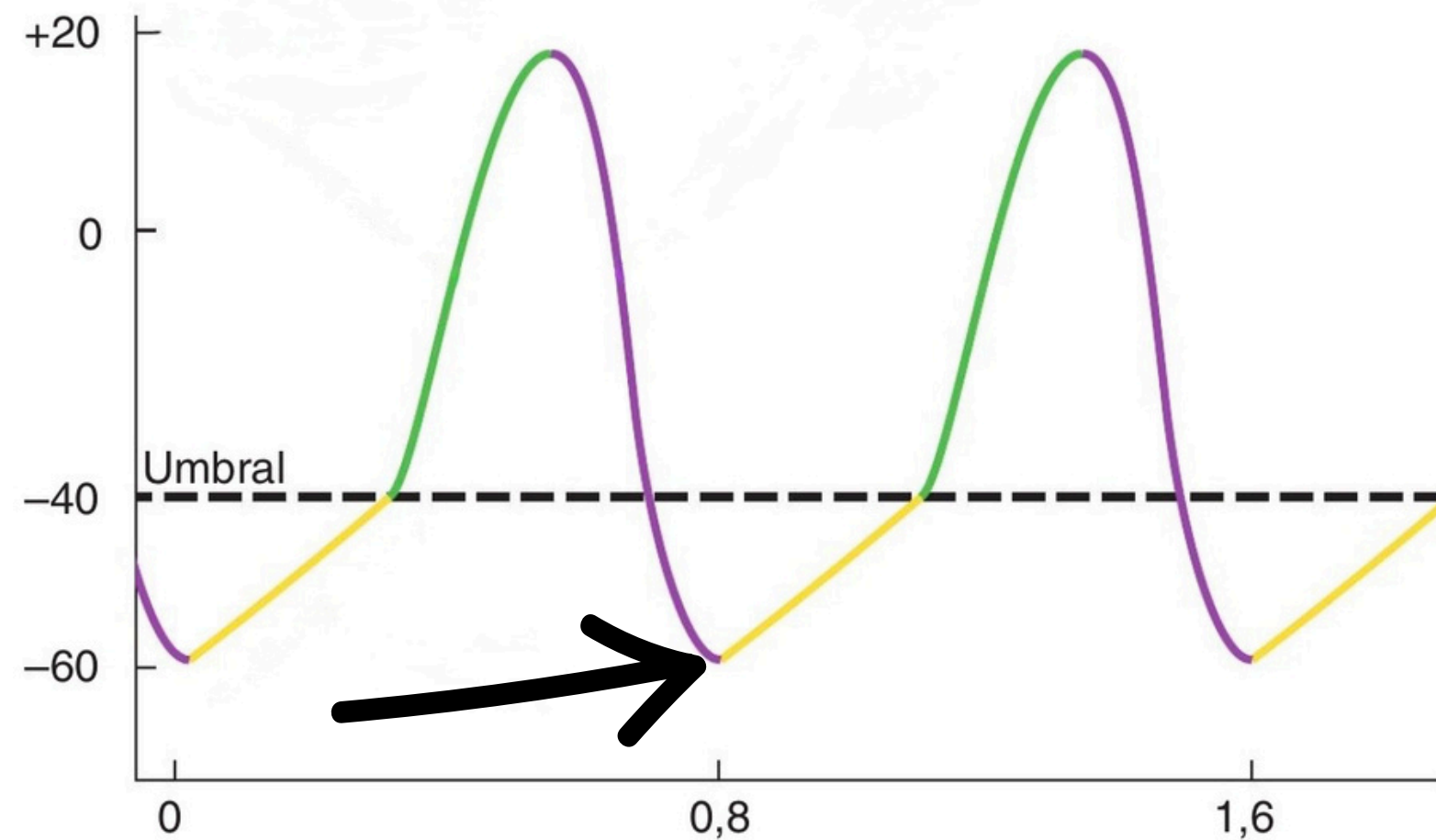
Es la diferencia de cargas que existentes entre el lado externo e interno de la membrana celular.

Células contráctiles: -90 mV. Es la fase 4 del potencial de acción.

Células autorrítmicas: -60 mV



Potencial diastólico máximo (PDM)

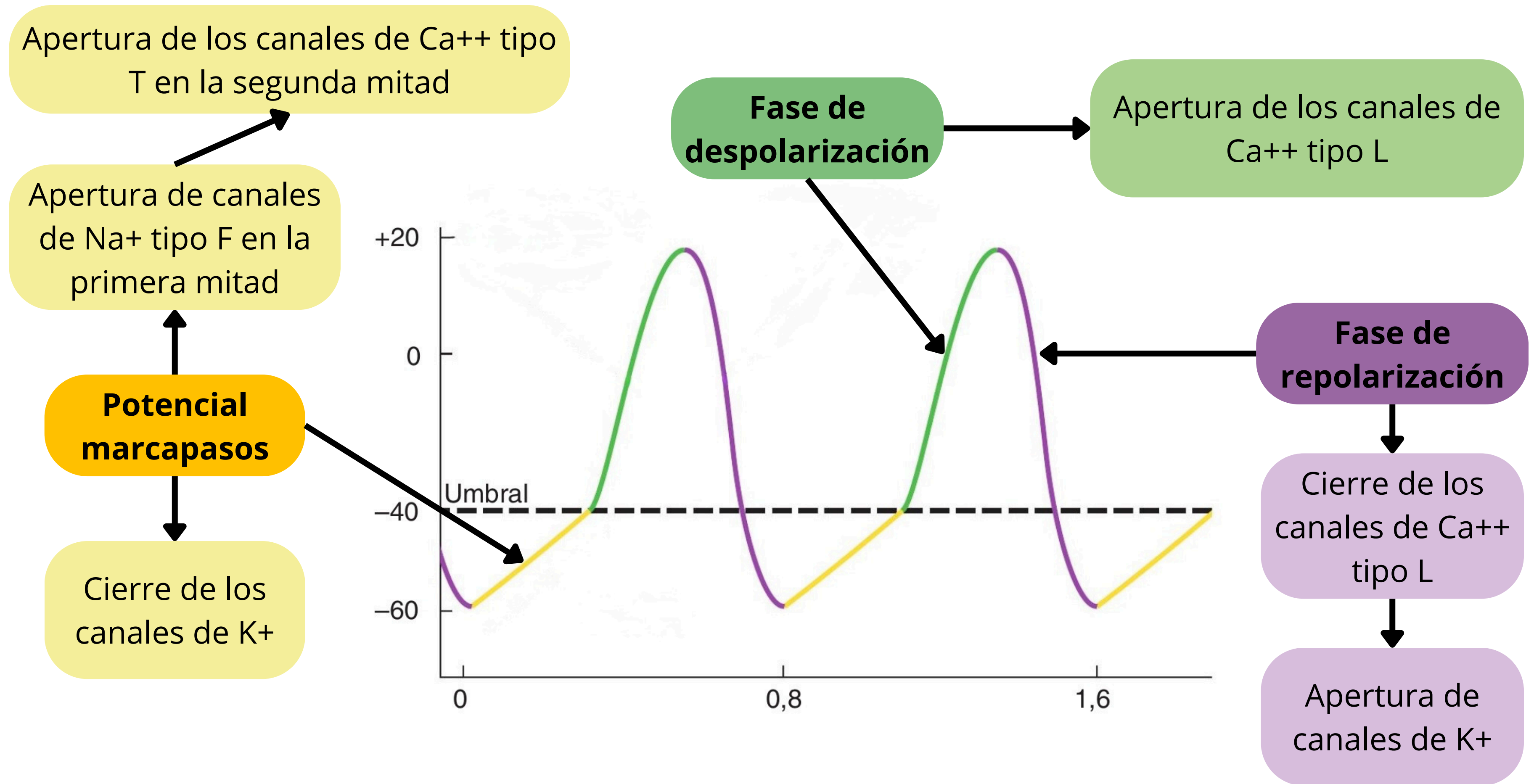


Punto de máxima negatividad del potencial de membrana durante la diástole.

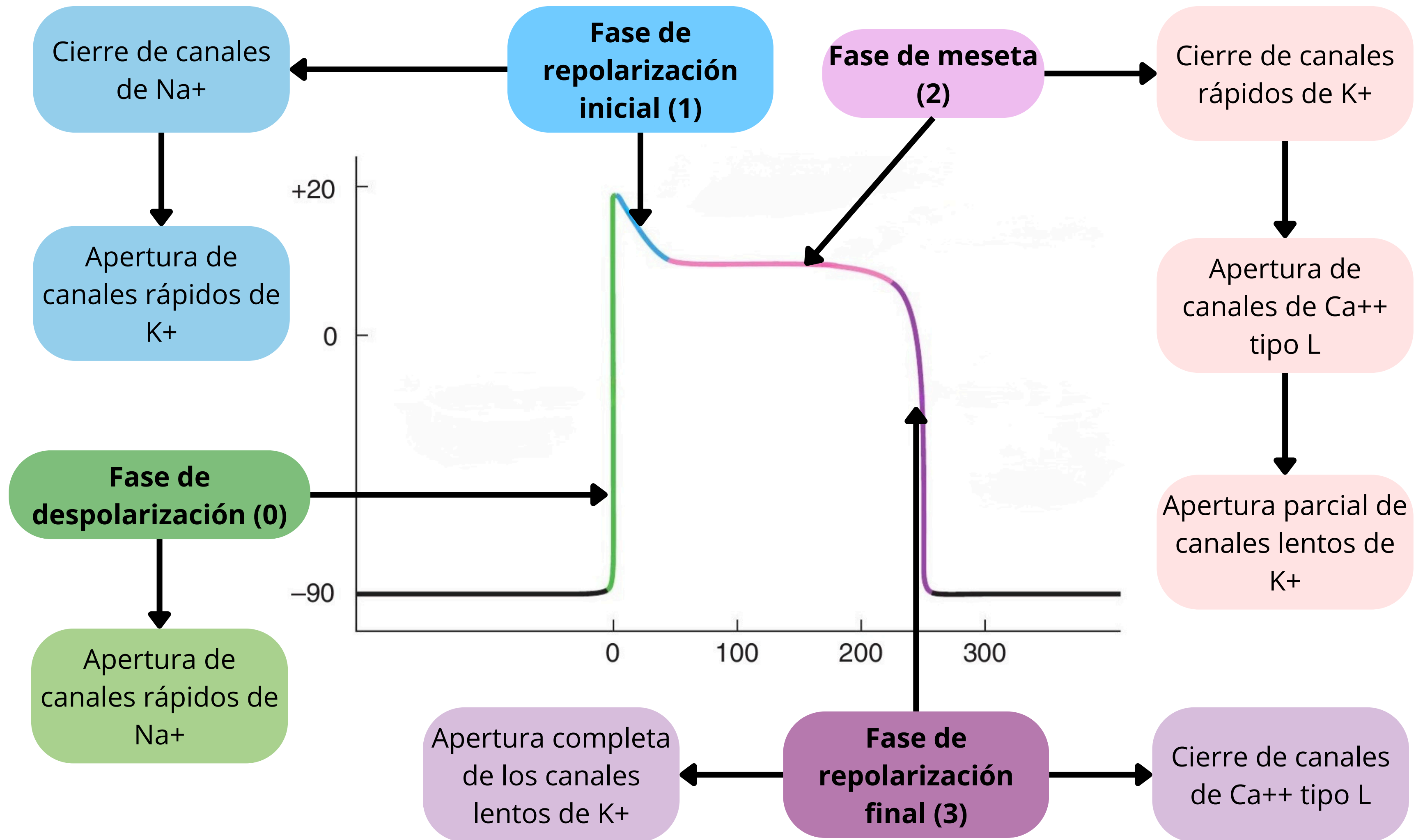
Base del automatismo.

Células autorritmicas: -60 a -65 mV

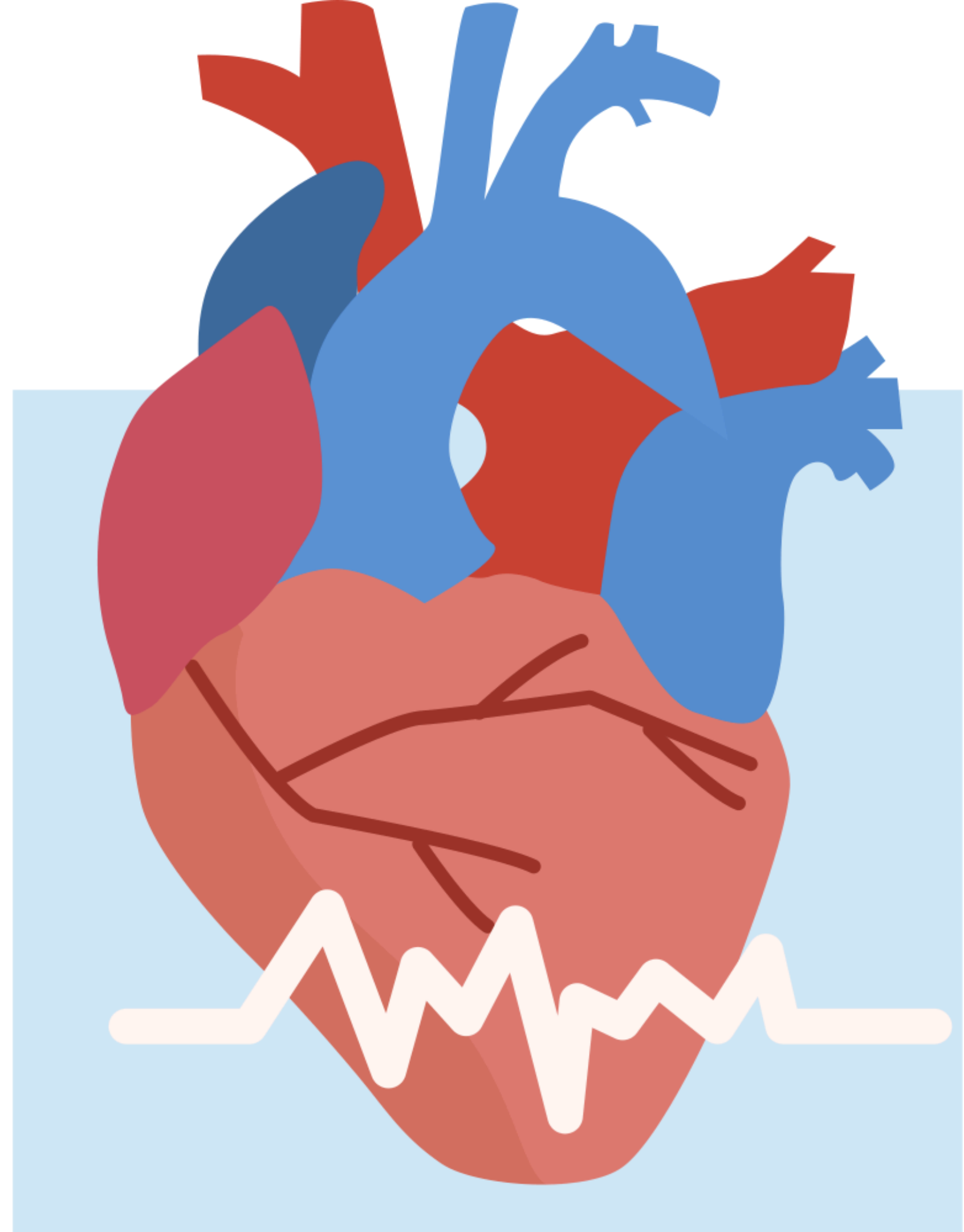
Potencial de acción de células autorrítmicas



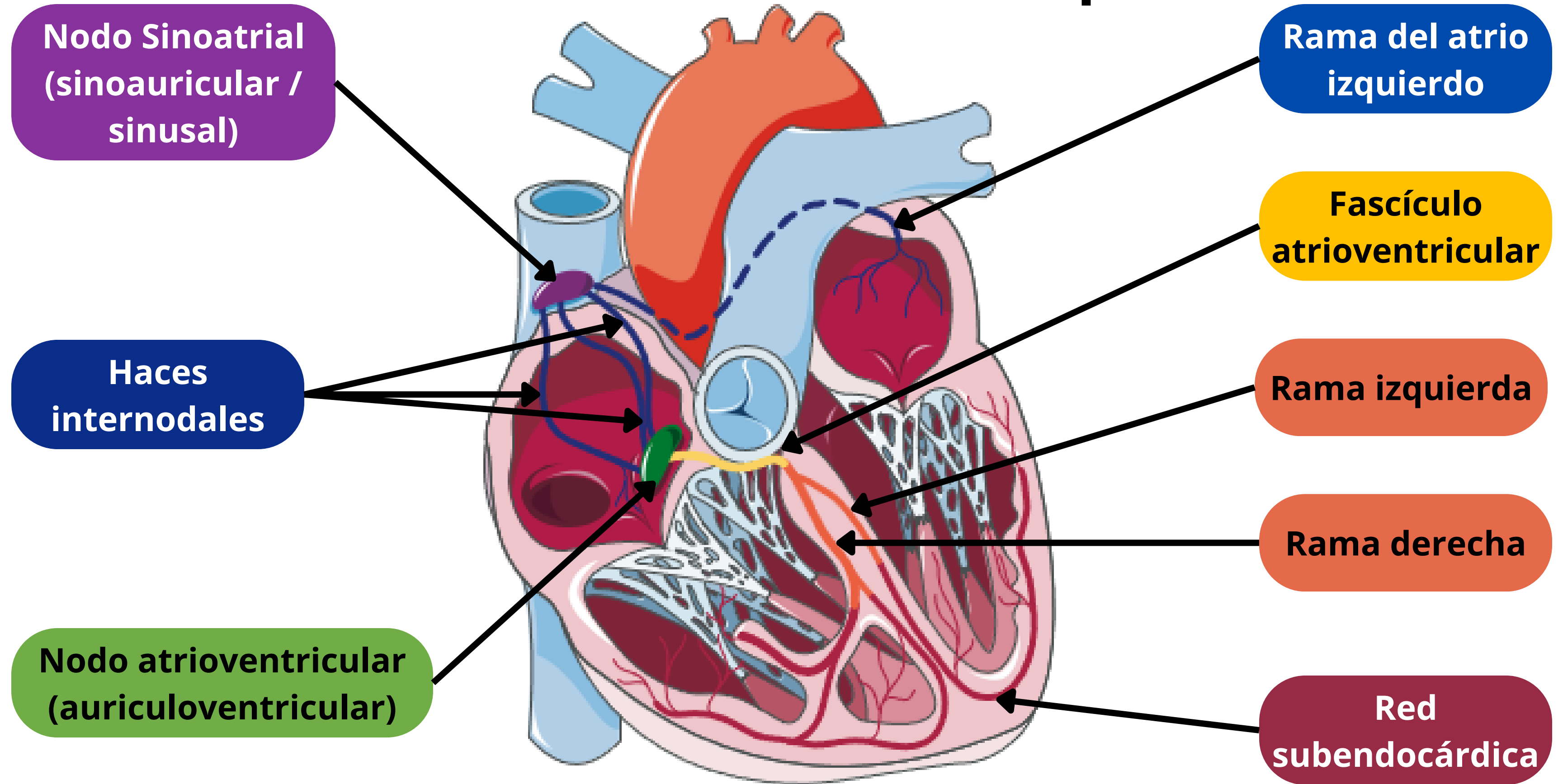
Potencial de acción de células contráctiles



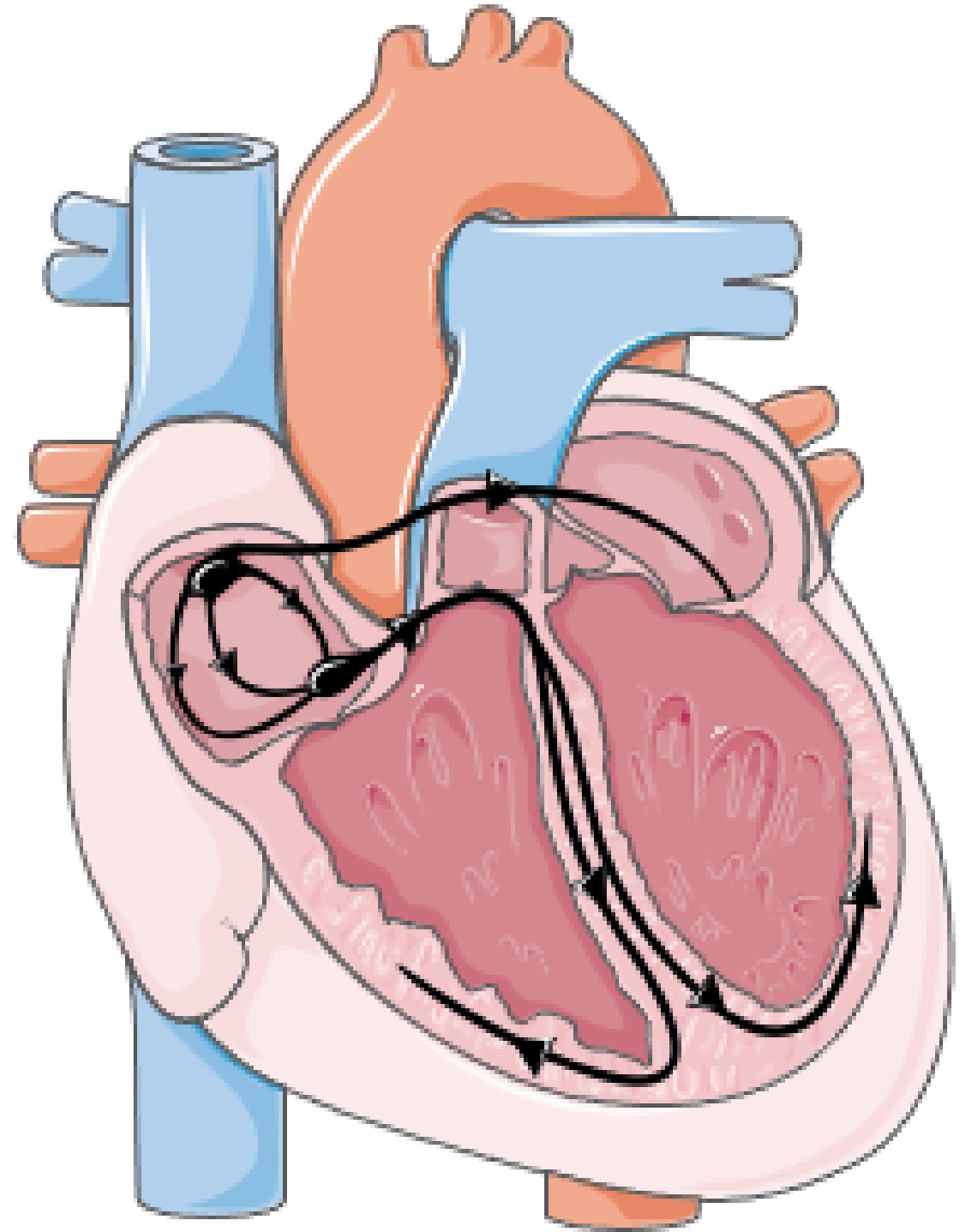
Automatismo



Sistema de conducción - Componentes



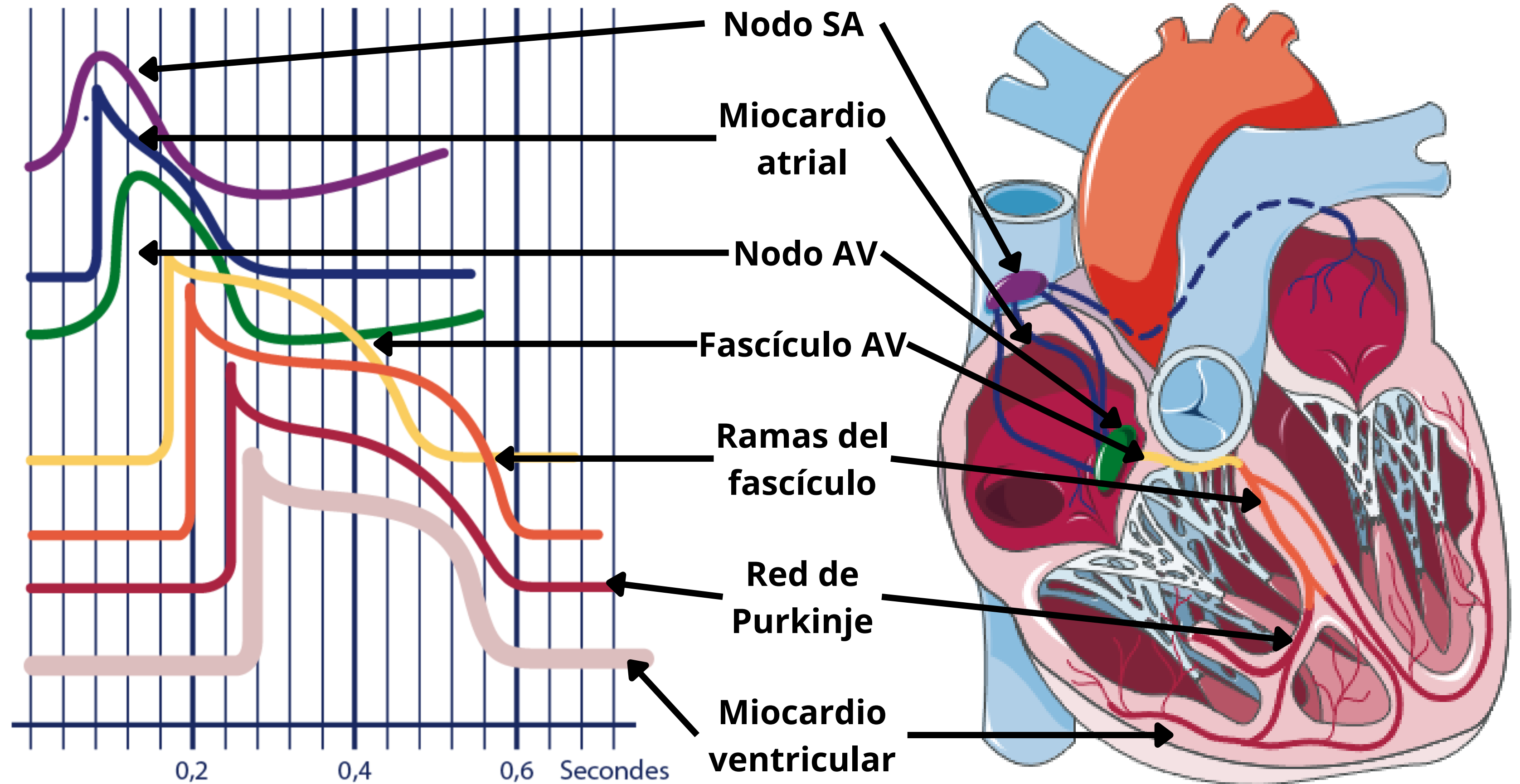
Conducción



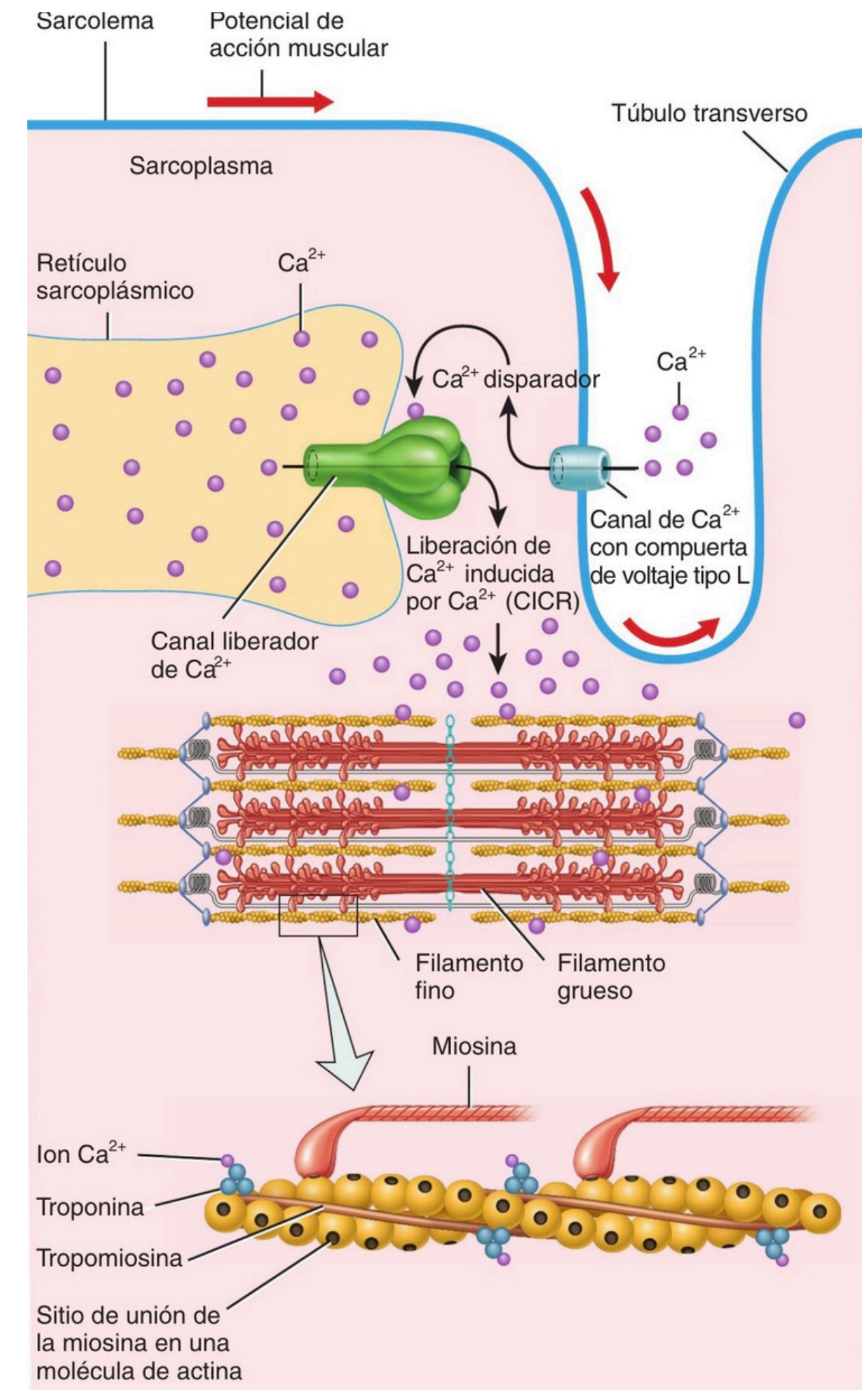
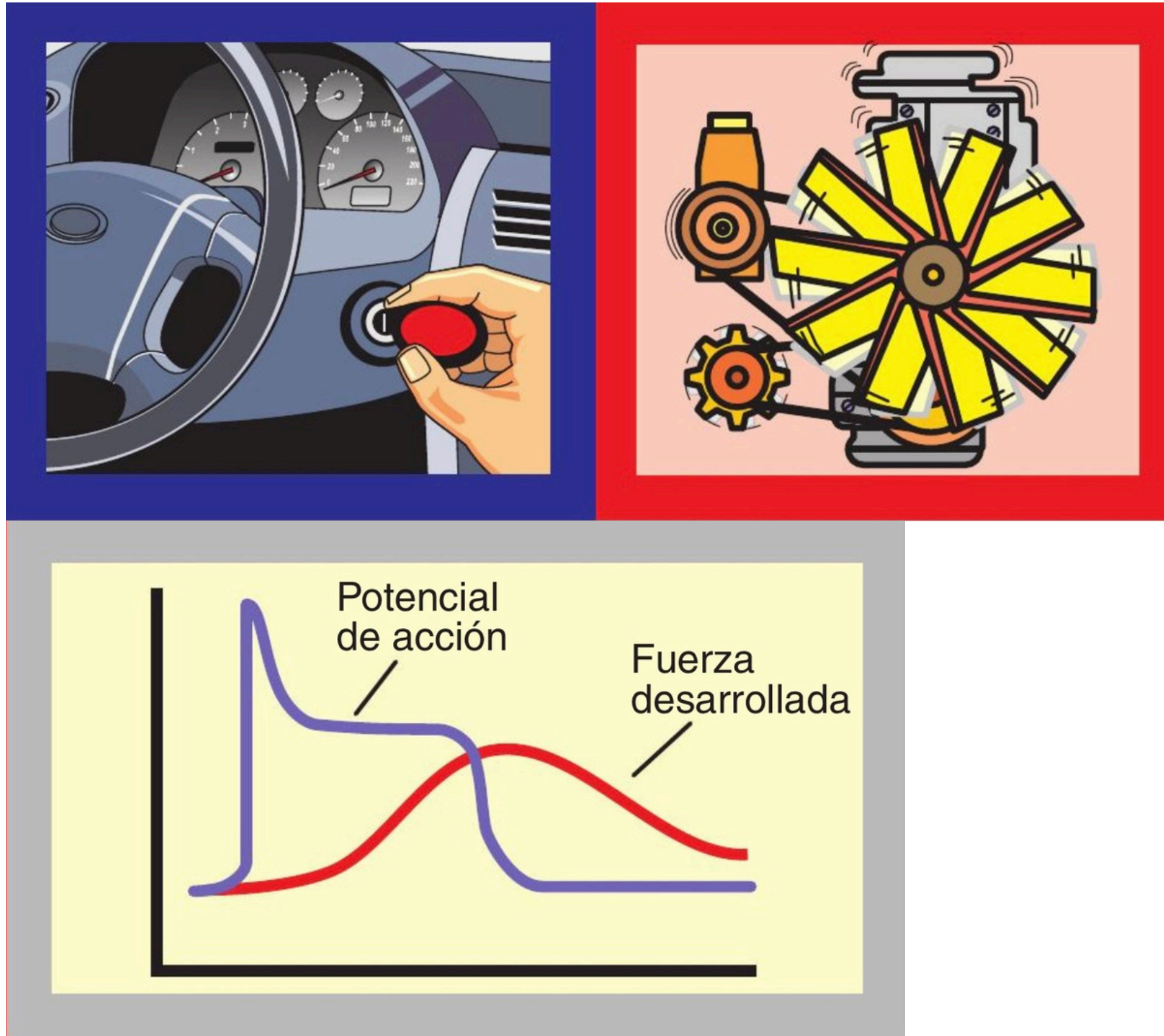
Secuencia normal de activación

Inicio

Final



Acople excitación-contracción



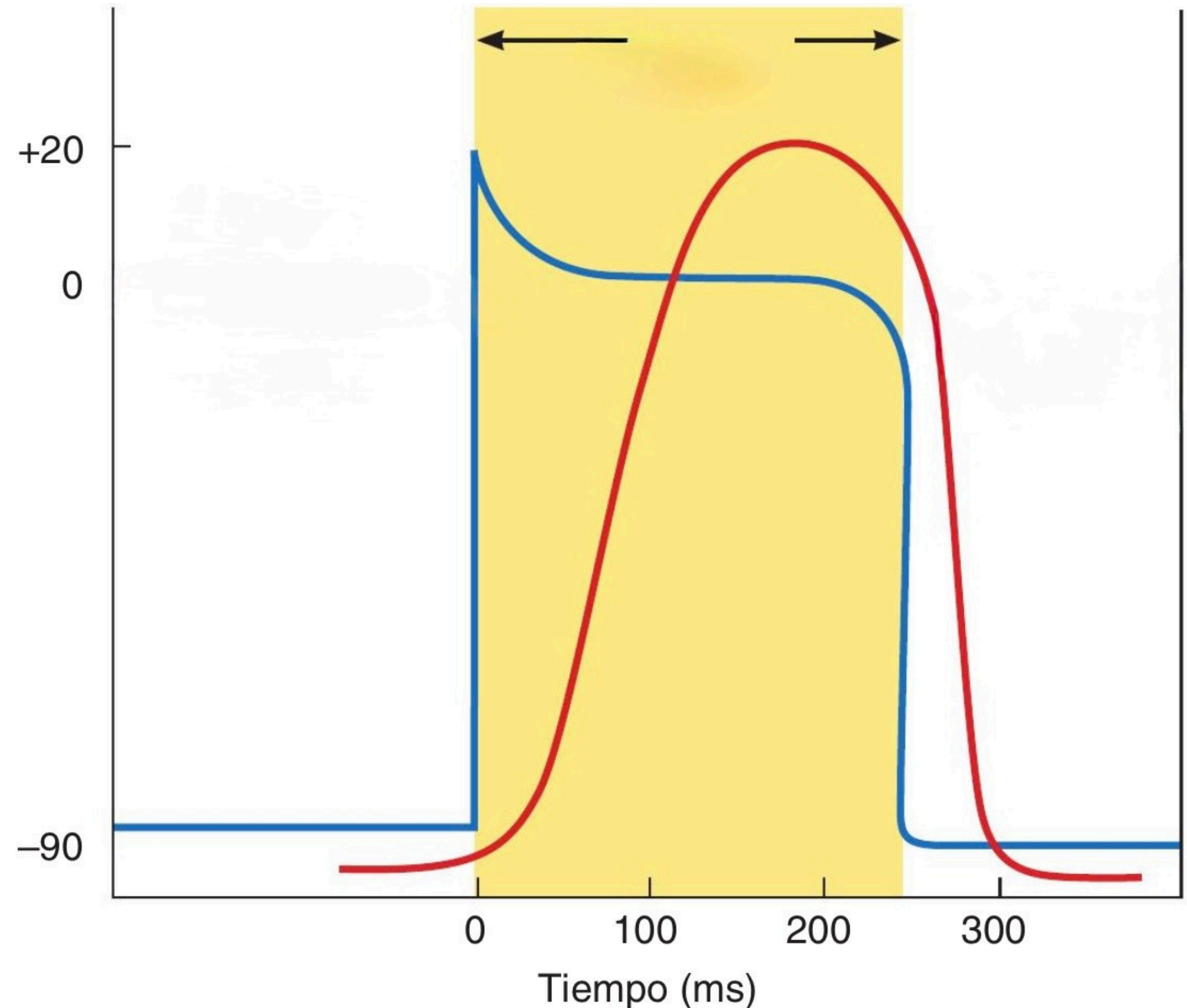
Periodo refractario

Es el intervalo de tiempo donde una célula cardíaca no puede ser excitada por un estímulo.

PR Absoluto: Ningún estímulo puede excitarla = Fases 0, 1 y 2.

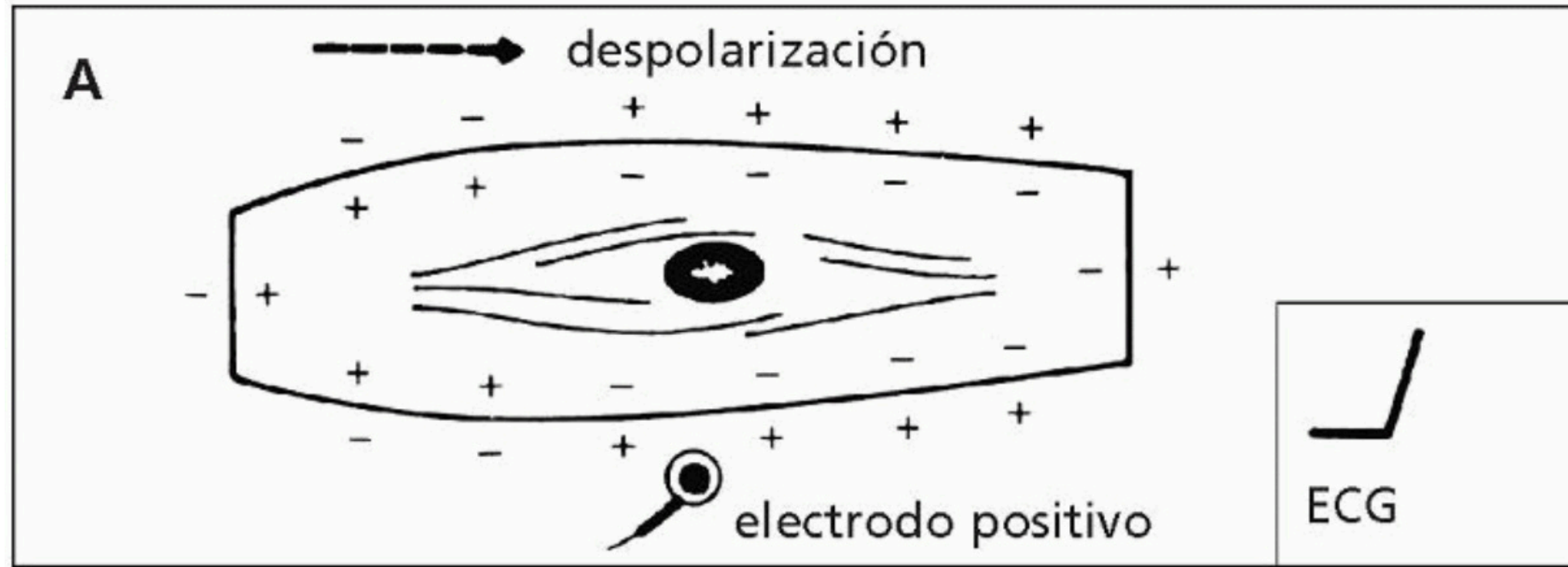
PR Relativo: Solo un estímulo fuerte puede activarlas = Fase 3.

El periodo refractario dura casi todo el aumento de tensión.



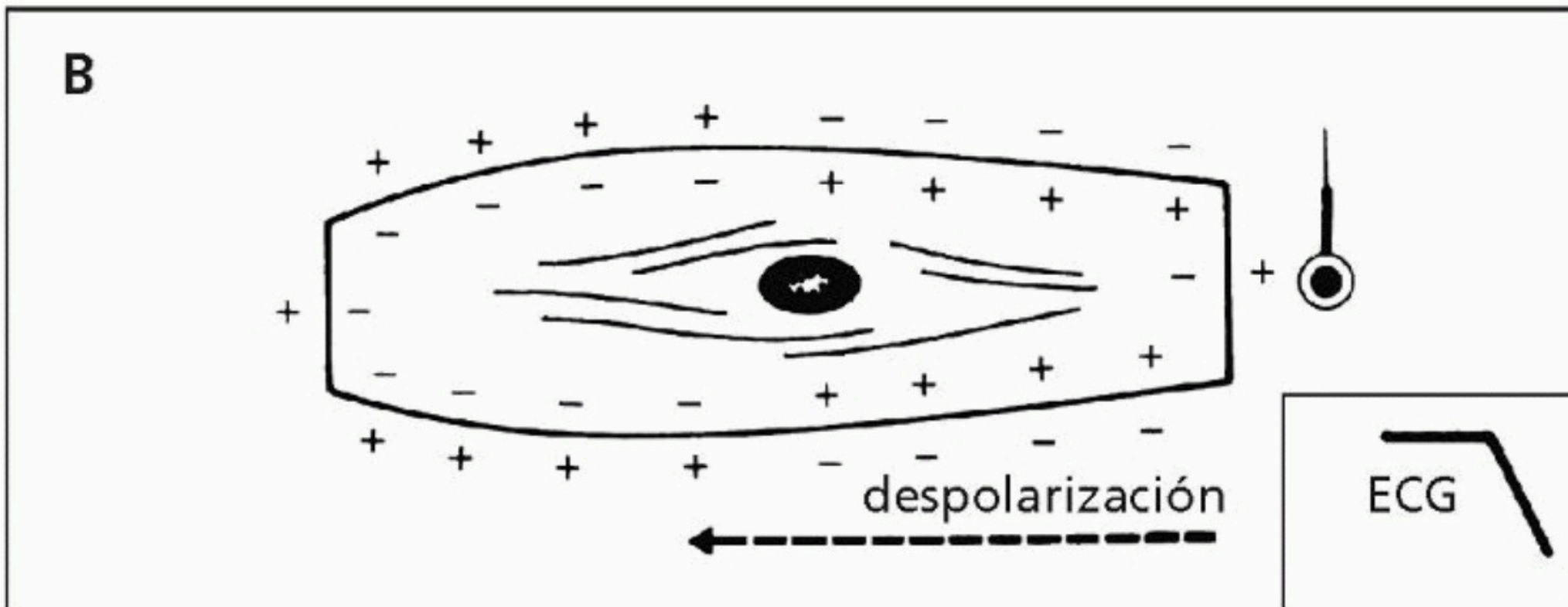
Fundamentos electrofisiológicos del electrocardiograma

Bases físicas del registro electrocardiográfico



Los electrodos detectan corrientes eléctricas.

Cuando un vector eléctrico con carga negativa se acerca al electrodo, este lo gráfica como una deflexión positiva.



Cuando se aleja, lo gráfica como una onda negativa.

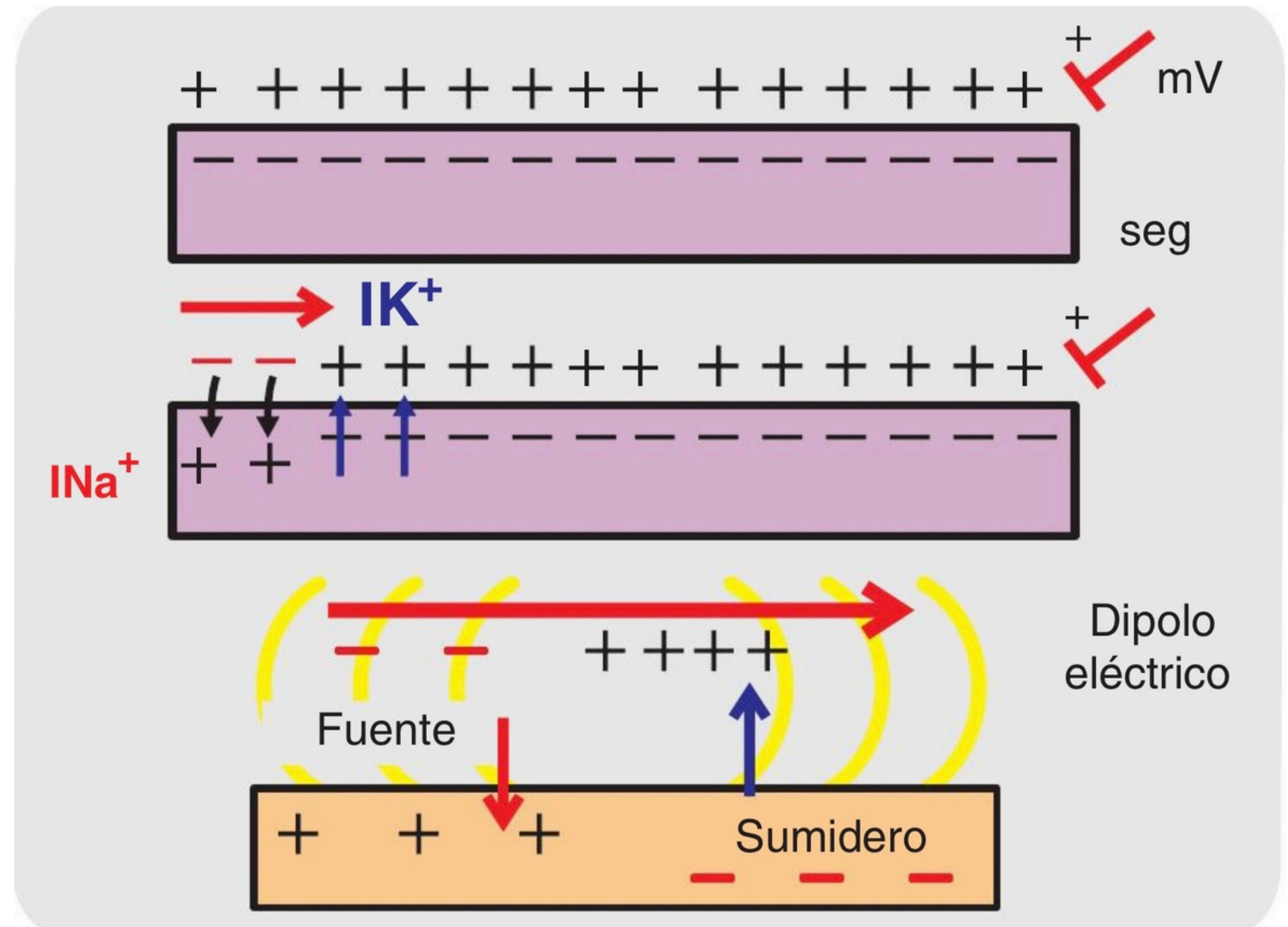
Teoría del dípolo

Polaridad de membrana

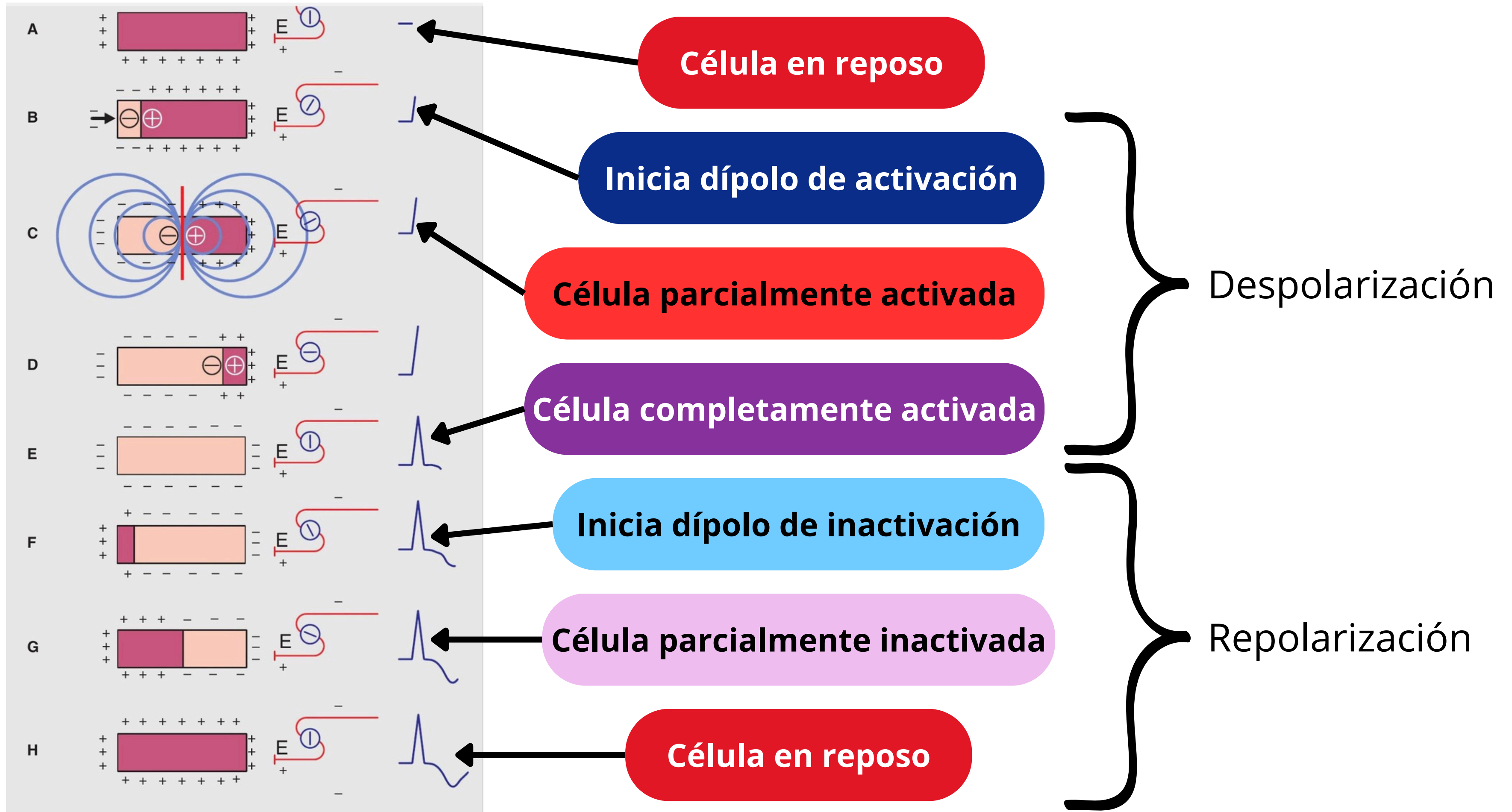
La membrana celular tiene una polaridad negativa en el interior y positiva en el exterior.

Al despolarizarse, las cargas se invierten formando dos polos diferentes a lo largo de la membrana.

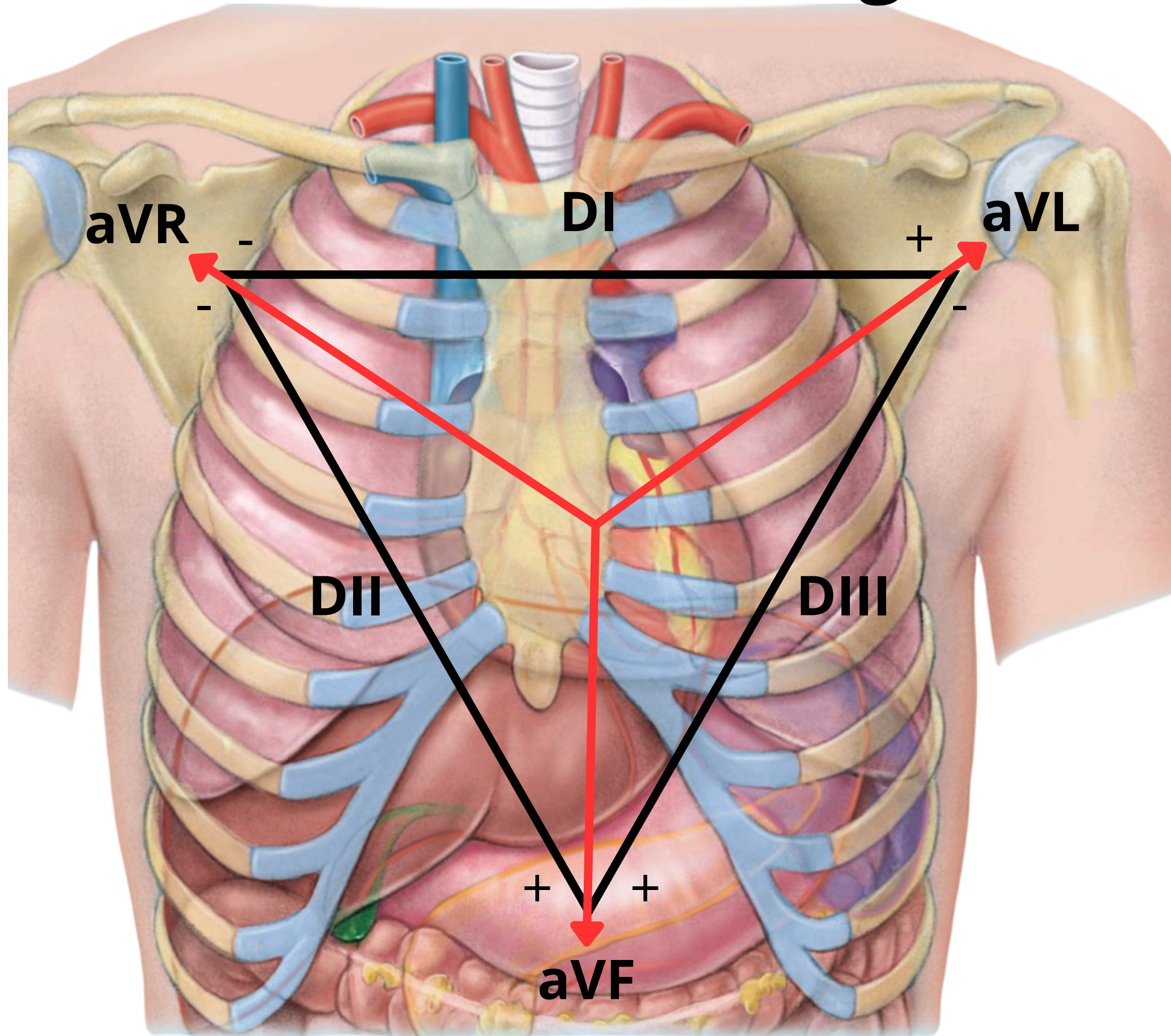
El dipolo de activación vuelve al exterior negativo. El de inactivación lo restaúra a positivo.



Dípolo de activación y desactivación



Triángulo de Einthoven



$$DI = aVL - aVR$$

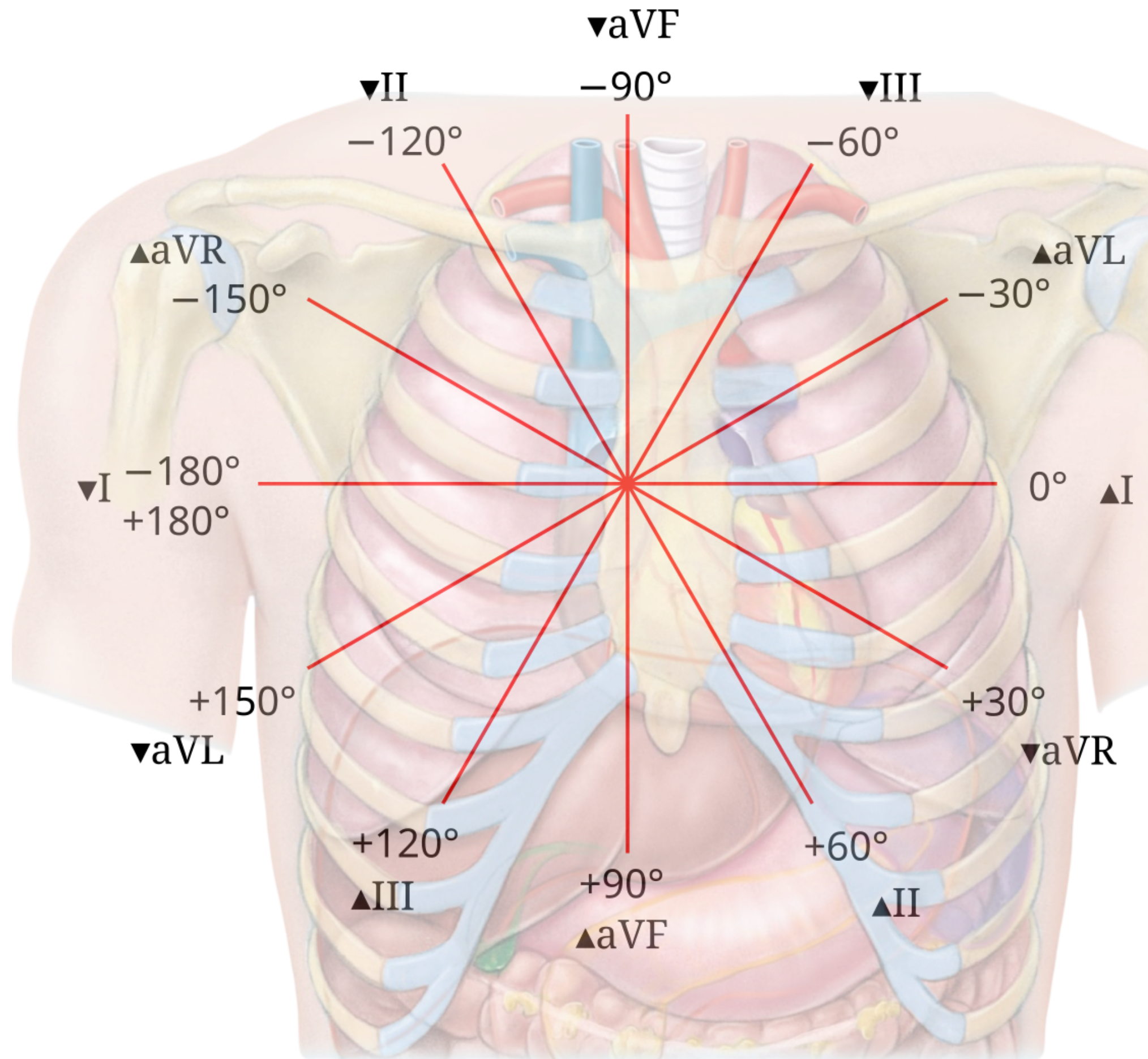
$$DII = aVF - aVR$$

$$DIII = aVF - aVL$$

$$\text{Ley de Einthoven} = DI + DIII = DII$$

$$(aVL - aVR) + (aVF - aVL) = (aVF - aVR)$$

Diagrama hexaxial de Bailey

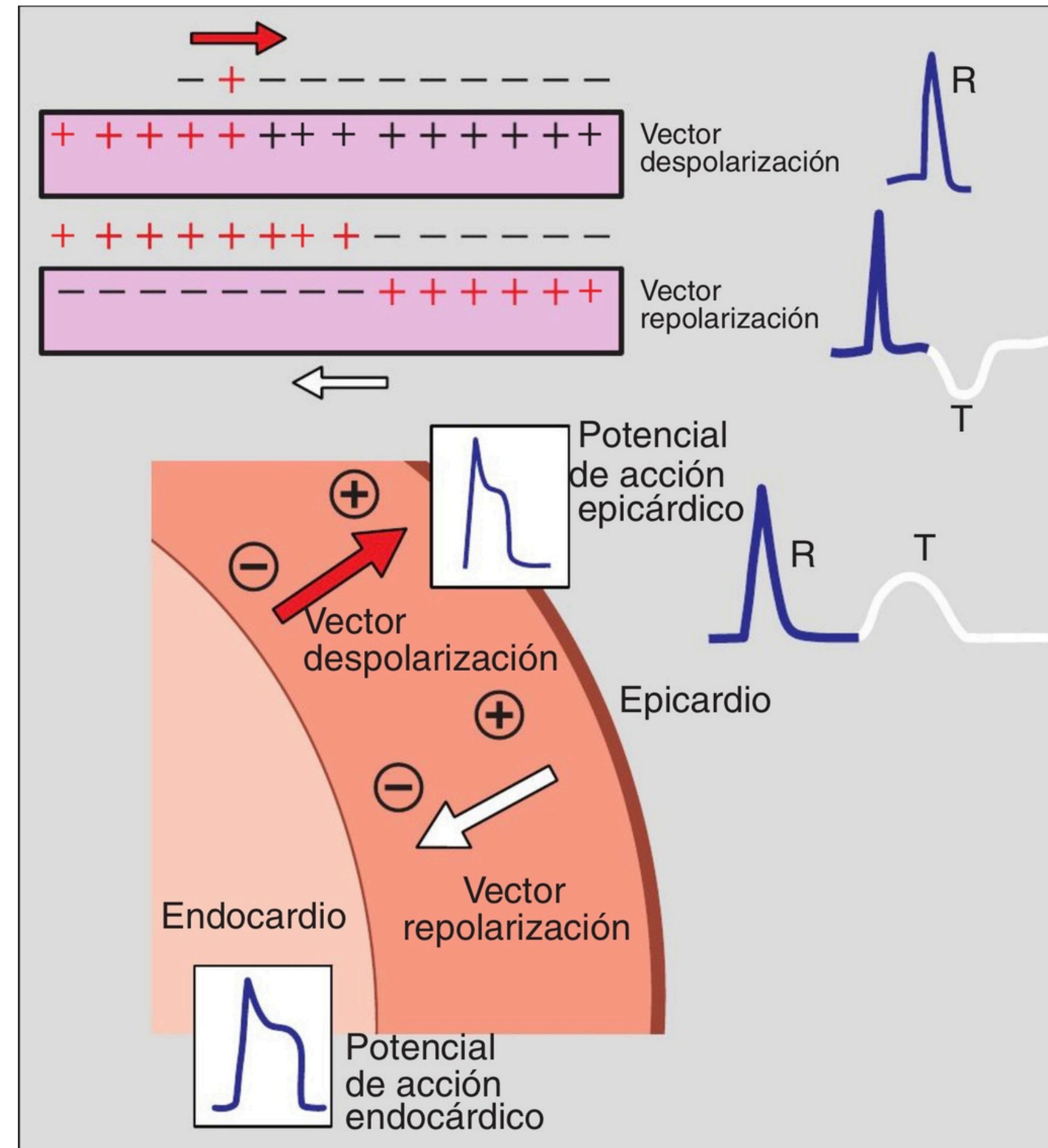


Vectores de despolarización y repolarización

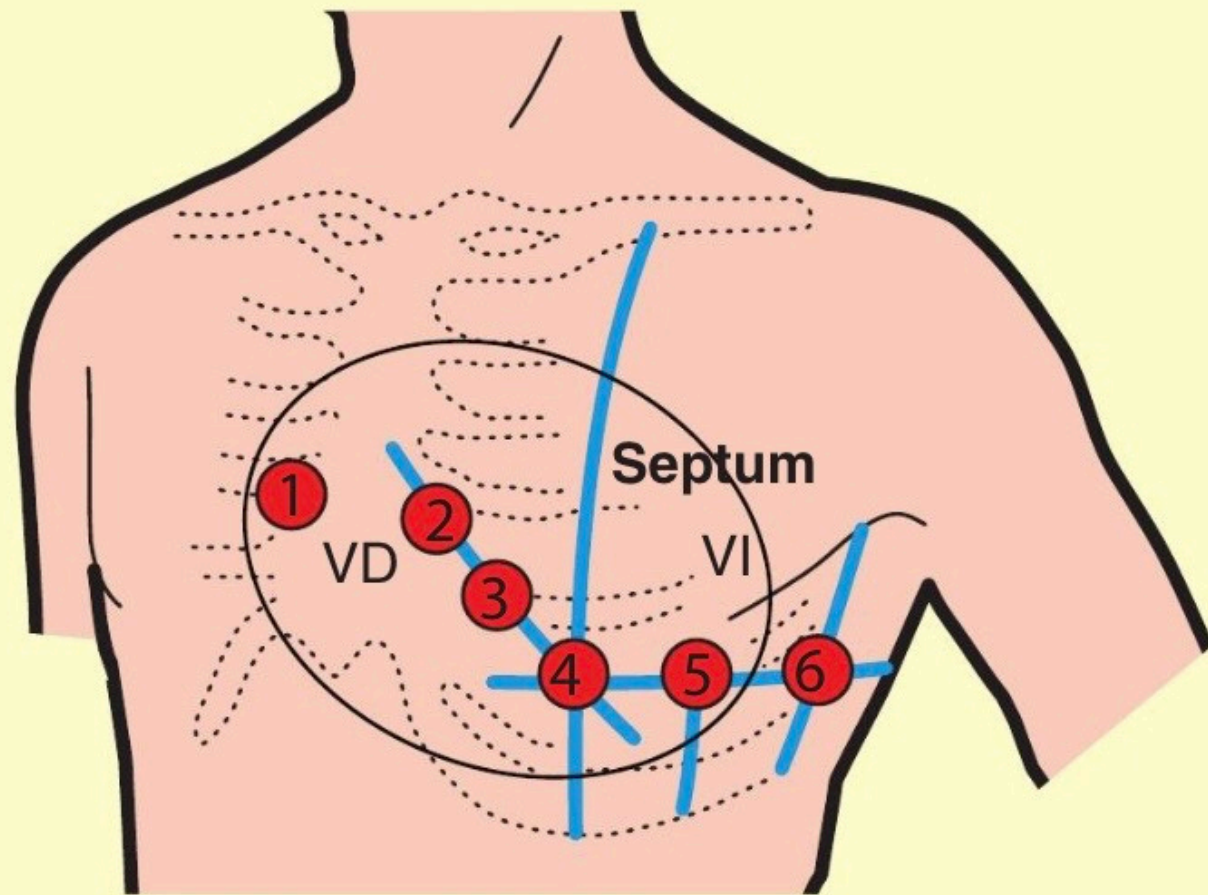
Vector de despolarización: Es de subendocardio a subepicardio.

Vector de repolarización: Es de subepicardio a subendocardio.

Dos potenciales de acción: Hay un potencial subendocárdico que inicia antes y término después que el subepicárdico.

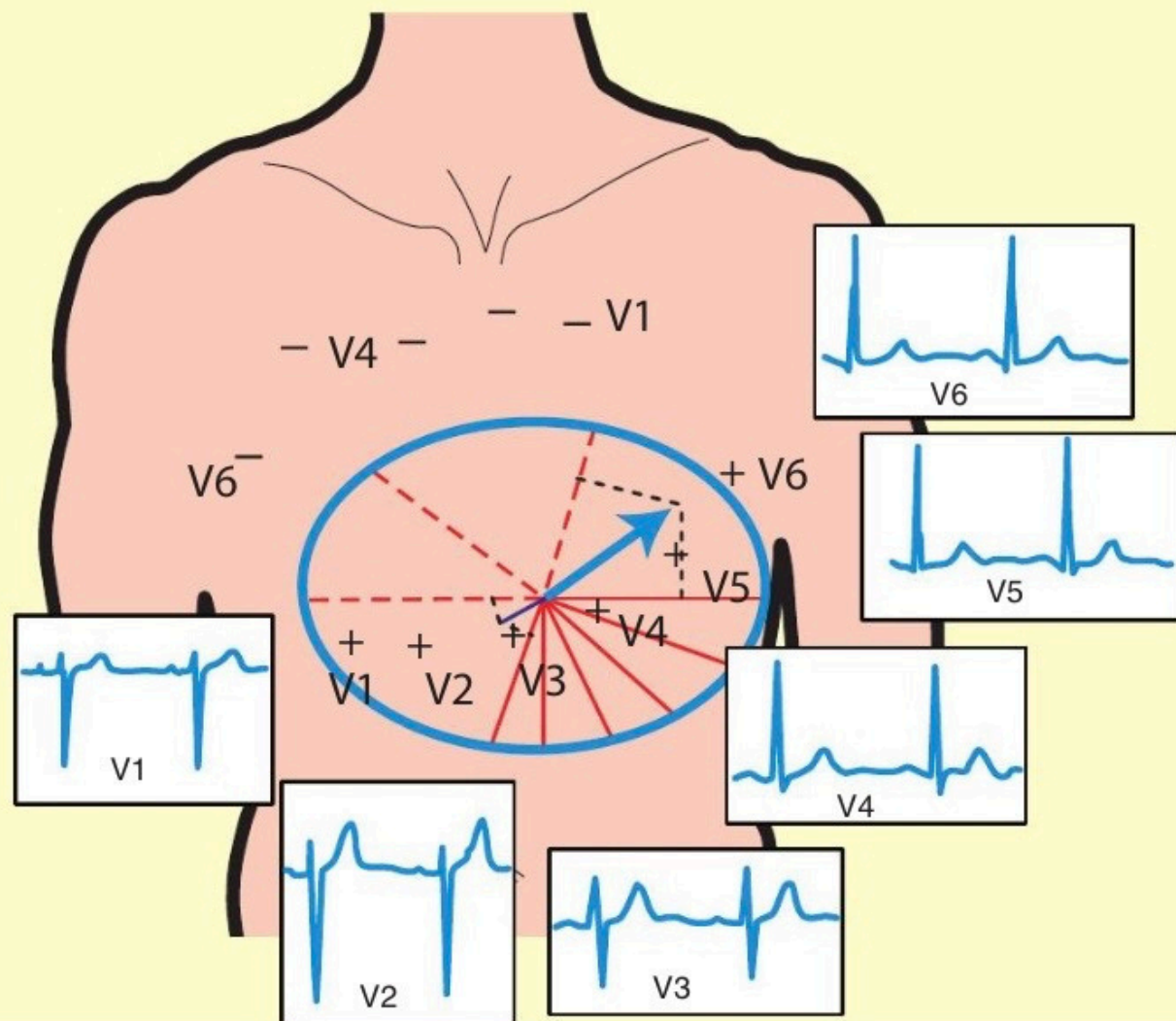


Análisis vectorial - Base del ECG



Vector que se **acerca** al electrodo:
POSITIVO.

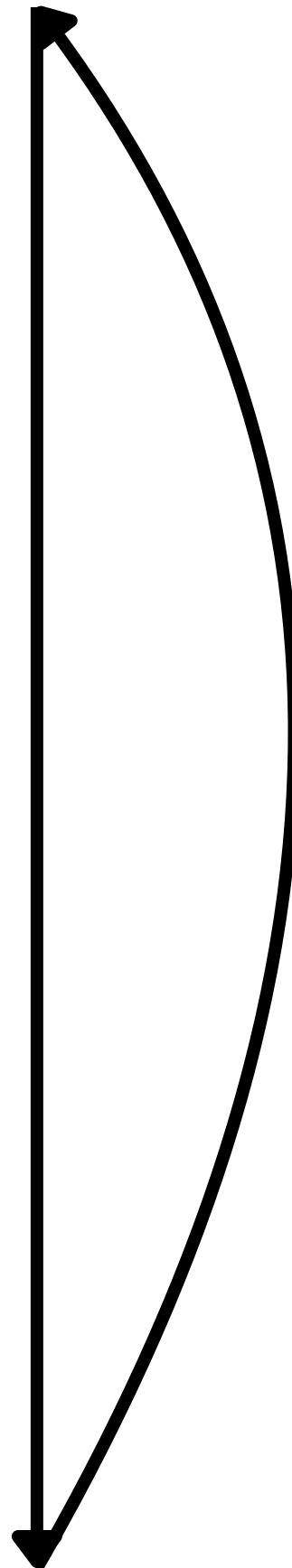
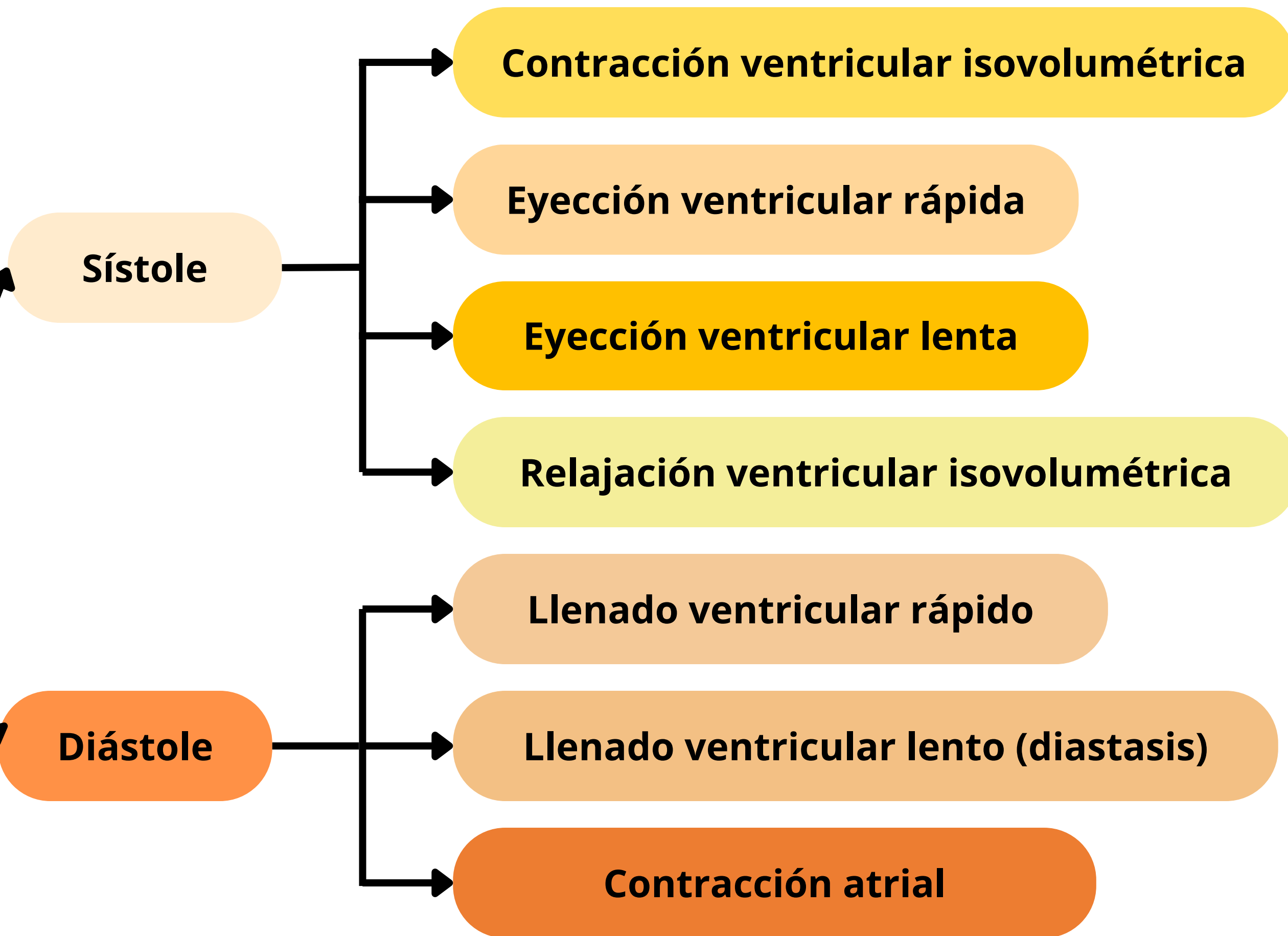
Vector que se **aleja** del electrodo:
NEGATIVO.



Vector que es **perpendicular**: Tiene una polaridad positiva y otra negativa, tal vez de la misma intensidad (**isodifásica**).

El corazón como bomba

Fases del ciclo cardíaco



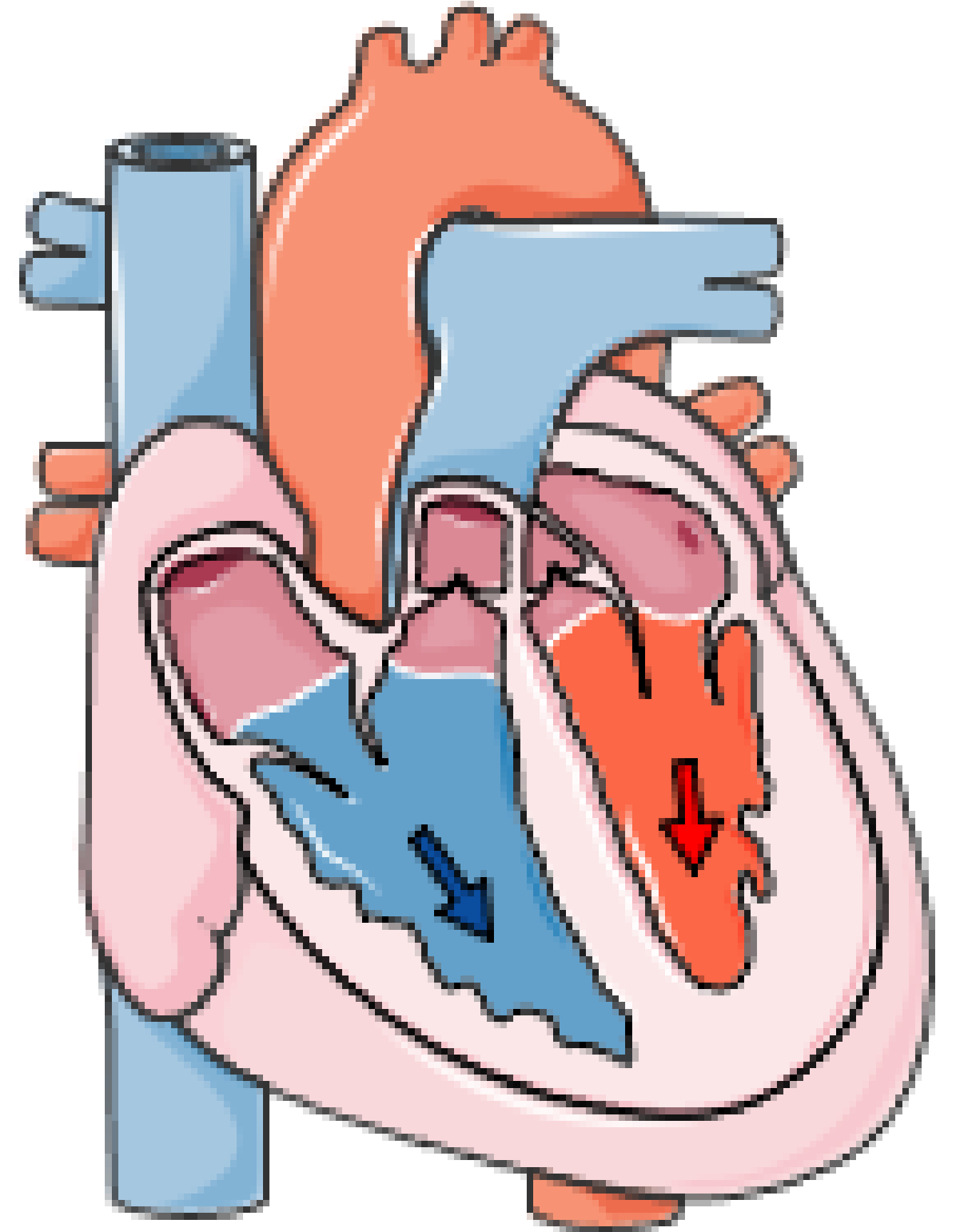
Contracción atrial

Fenómeno eléctrico: Se despolarizan los atrios = inicia onda P del ECG.

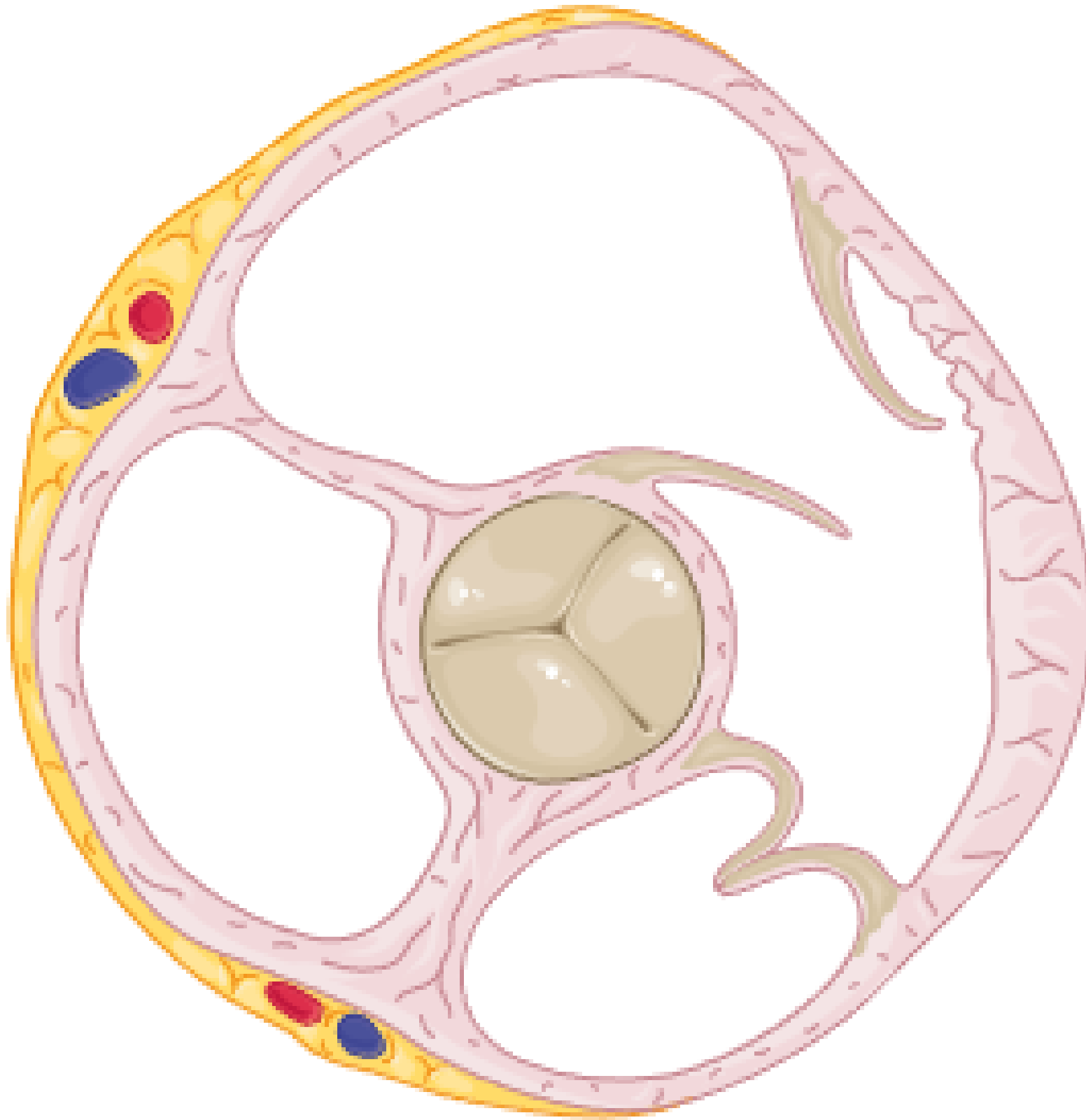
Fenómeno mecánico: Contracción de los atrios.

Fenómeno hemodinámico: Aportan un 20% del volumen final de diástole.

Fenómeno acústico: Cuarto ruido cardíaco (patológico).



Contracción ventricular isovolumétrica



Fenómeno eléctrico: Se despolariza el miocardio ventricular. Inicio de la onda Q.

Fenómeno mecánico: Contracción inicial de los ventrículos.

Fenómeno hemodinámico: Aumenta la presión, se cierran las válvulas AV. El volumen ventricular no se modifica.

Fenómeno acústico: Primer ruido cardíaco.

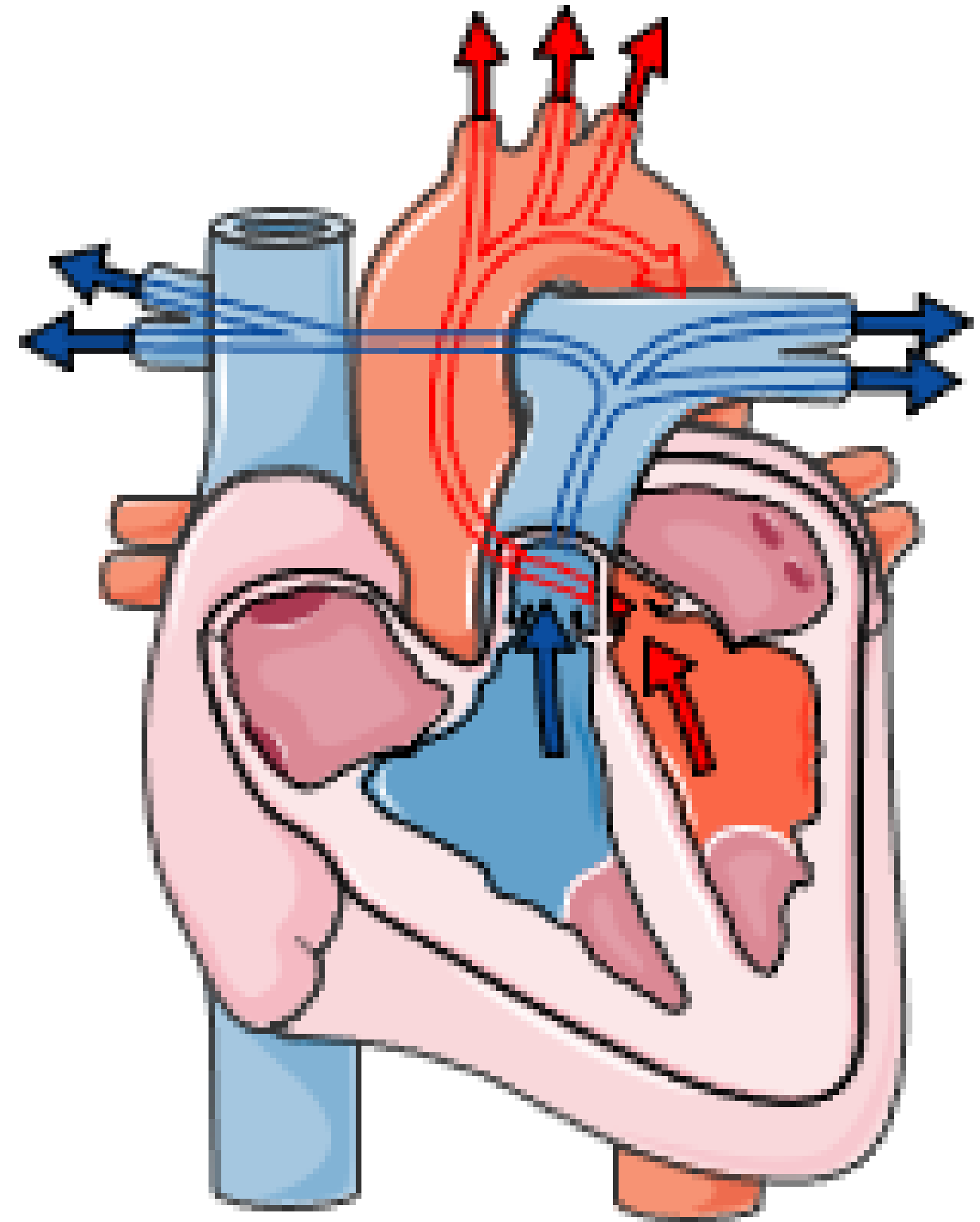
Eyección ventricular

Fenómeno eléctrico: Segmento ST. O sea la fase 2 del potencial de acción.

Fenómeno mecánico: Contracción efectiva ventricular.

Fenómeno hemodinámico: La presión ventricular supera a la aórtica, se abren las válvulas AV y se vacía el ventrículo.

Fenómeno acústico: Silencio acústico.



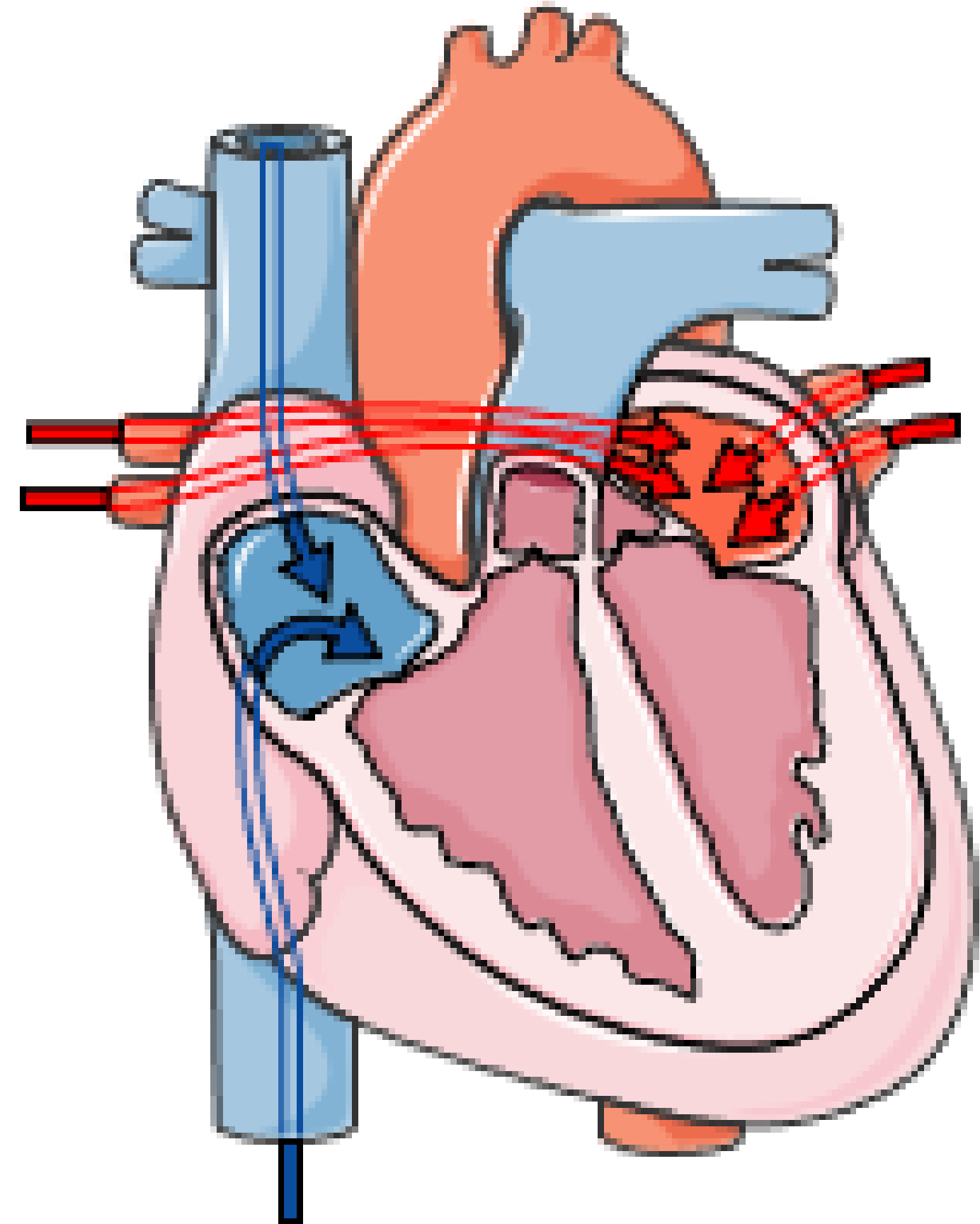
Relajación ventricular isovolumétrica

Fenómeno eléctrico: Repolarización de los ventrículos = onda T.

Fenómeno mecánico: Desciende la presión al relajarse los ventrículos.

Fenómeno hemodinámico: Las válvulas semilunares se cierran. No hay modificaciones del volumen ventricular.

Fenómeno acústico: Segundo ruido cardíaco.



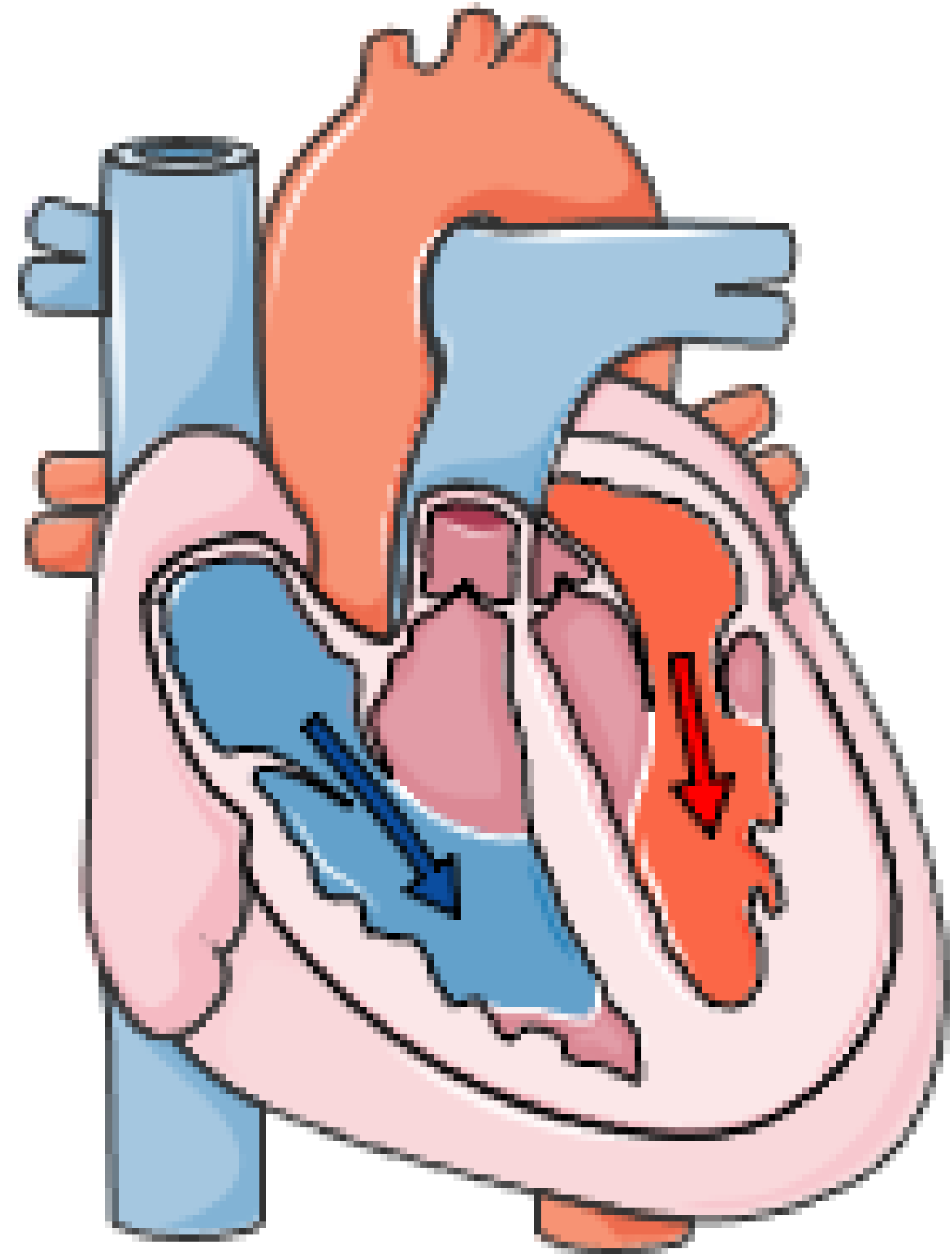
Llenado ventricular

Fenómeno eléctrico: Segmento TP = Fase de reposo.

Fenómeno mecánico: Relajación de los ventrículos.

Fenómeno hemodinámico: Apertura de las válvulas AV. Paso de sangre de forma pasiva de los atrios a los ventrículos.

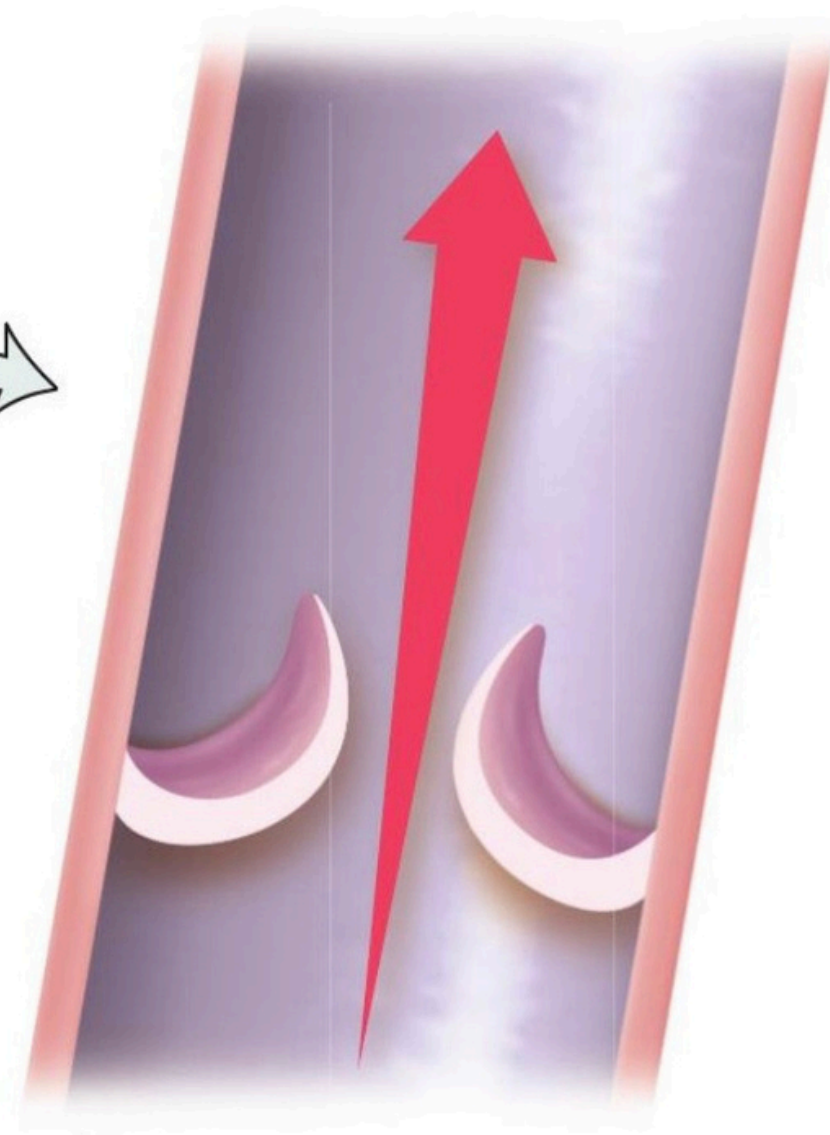
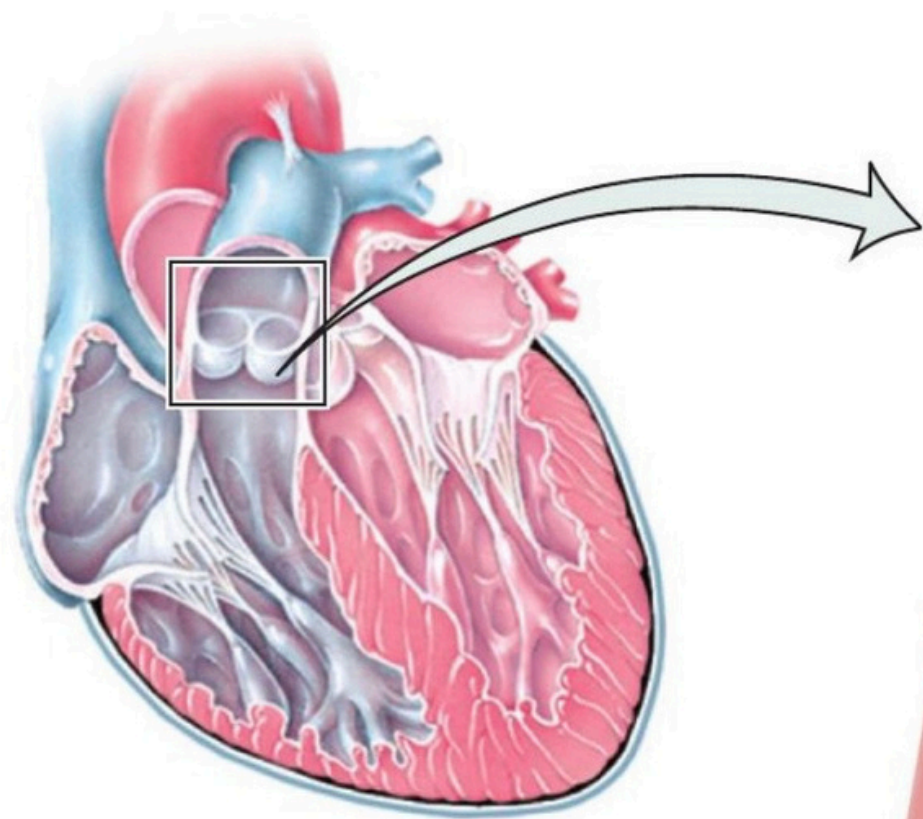
Fenómeno acústico: Tercer ruido cardíaco.



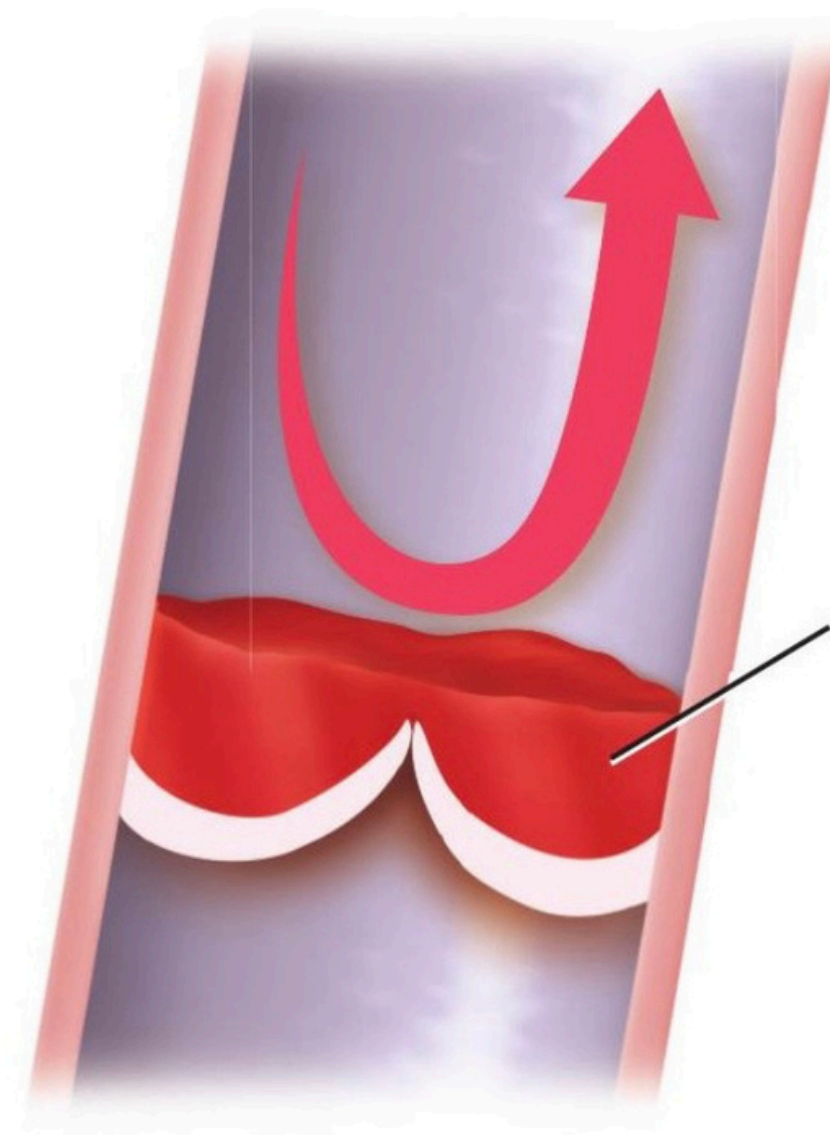
Válvulas semilunares

Sístole

Diástole



(c) Válvula pulmonar abierta



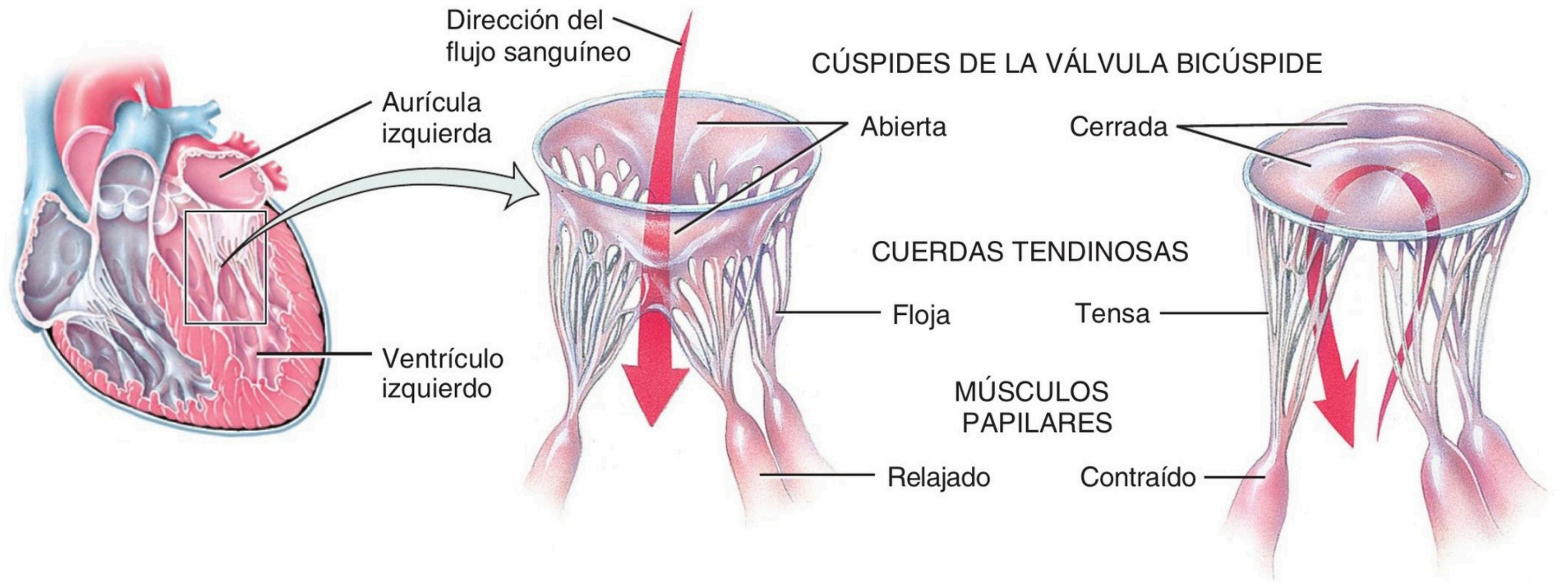
A medida que la sangre comienza a fluir hacia atrás, llena las cúspides de las valvas, causando que la válvula se cierre.

(d) Válvula pulmonar cerrada

Válvulas atrioventriculares (AV)

Diástole

Sístole

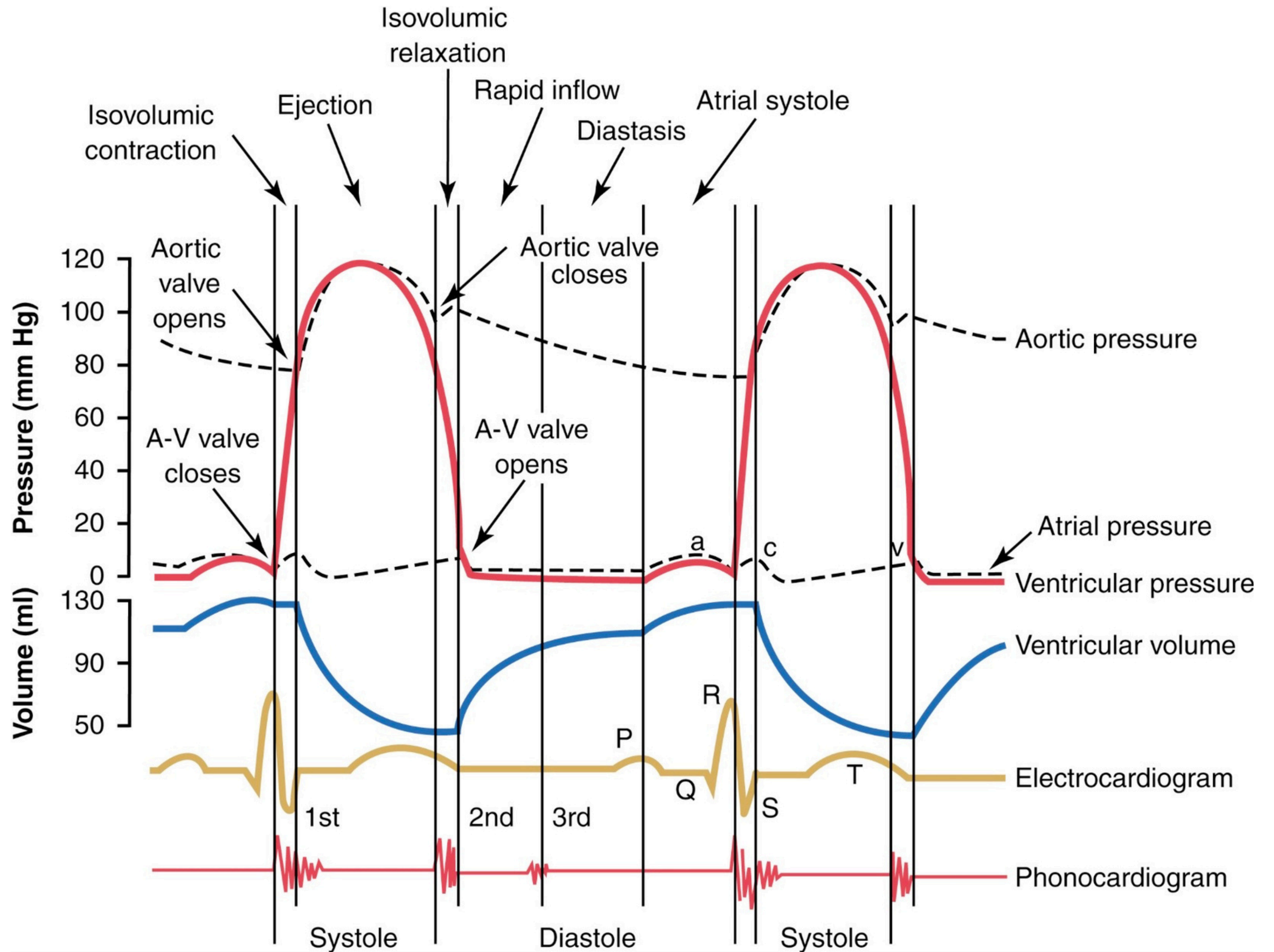


(a) Válvula bicúspide abierta

(b) Válvula bicúspide cerrada

Esquema de Wiggers

modificado



La banda miocárdica

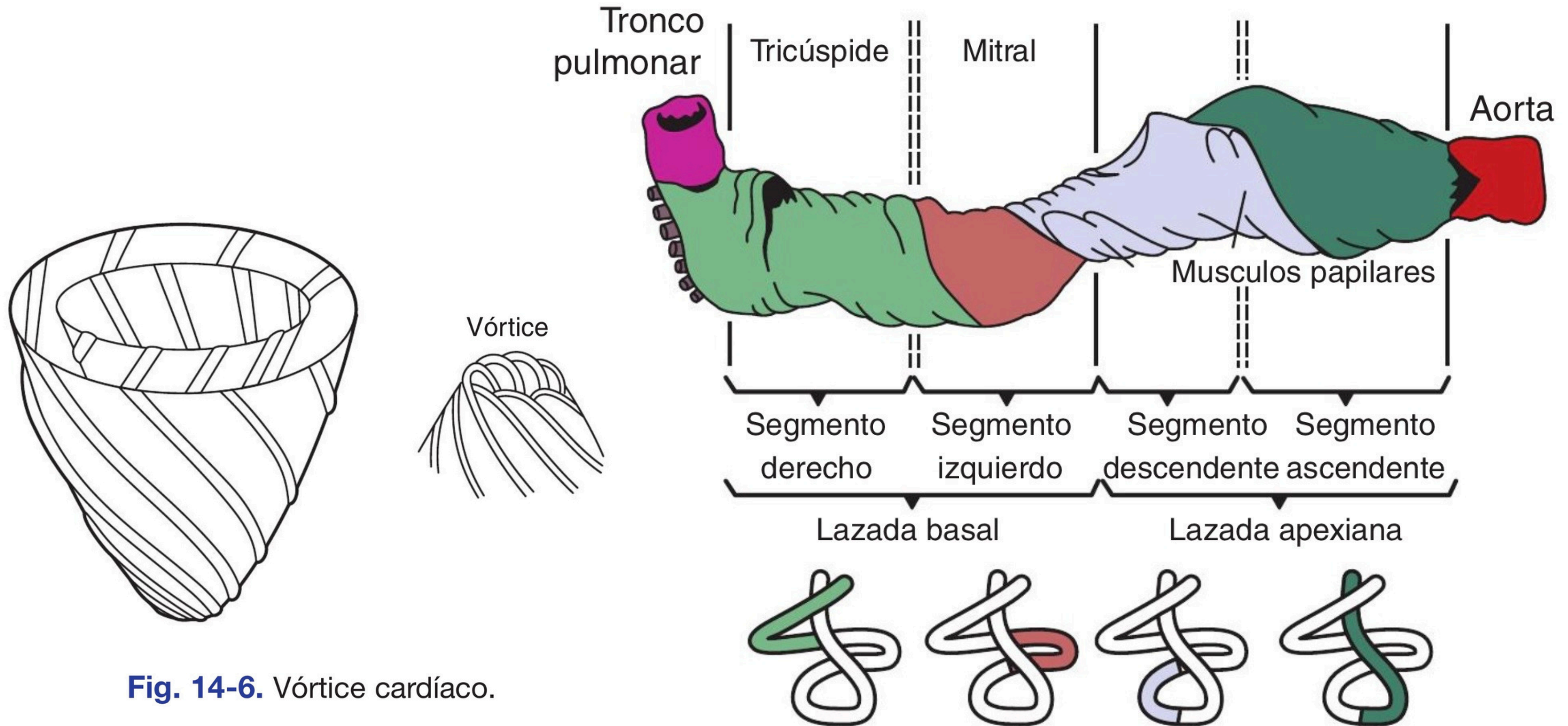
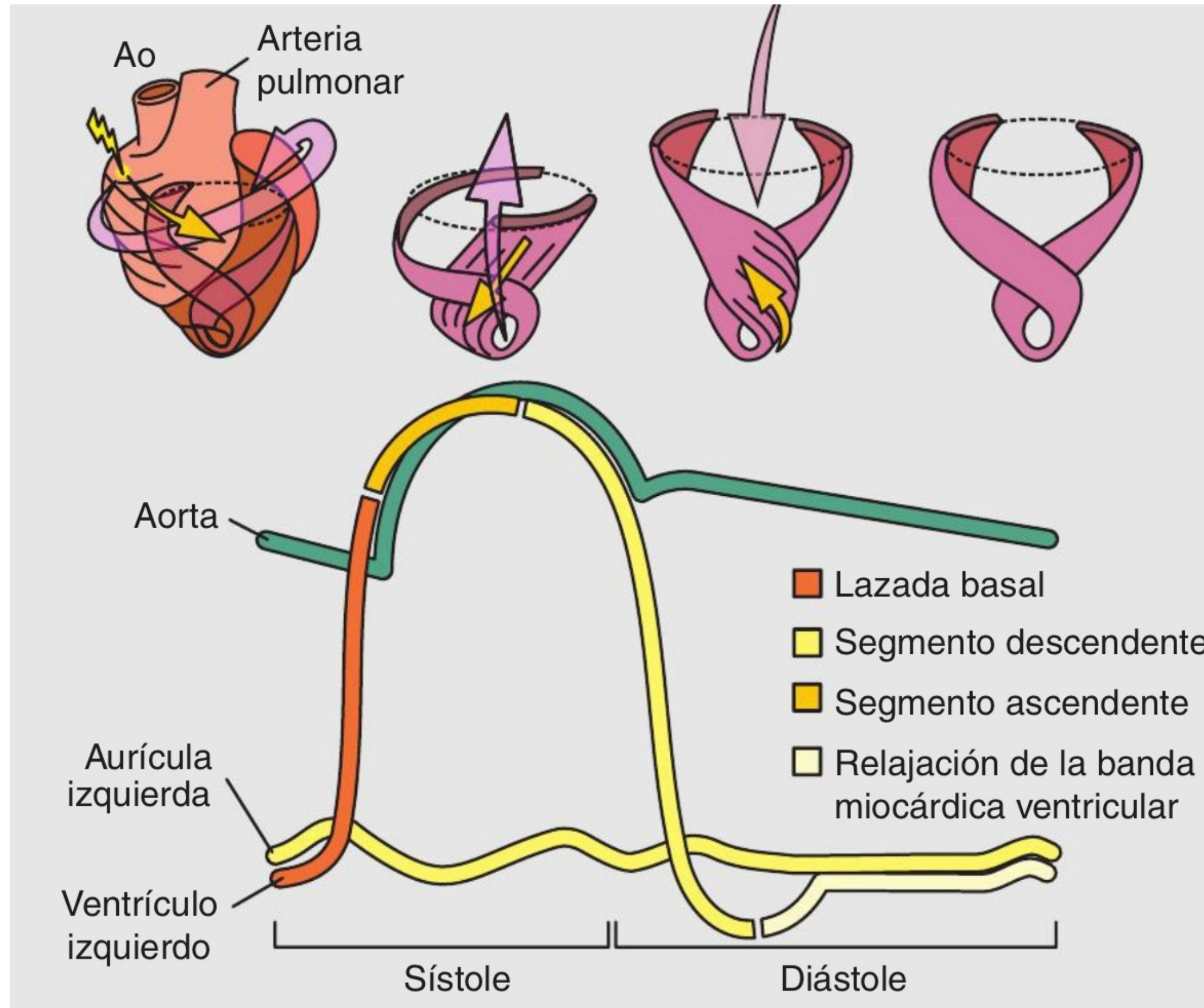


Fig. 14-6. Vórtice cardíaco.

Mecánica de la contracción ventricular



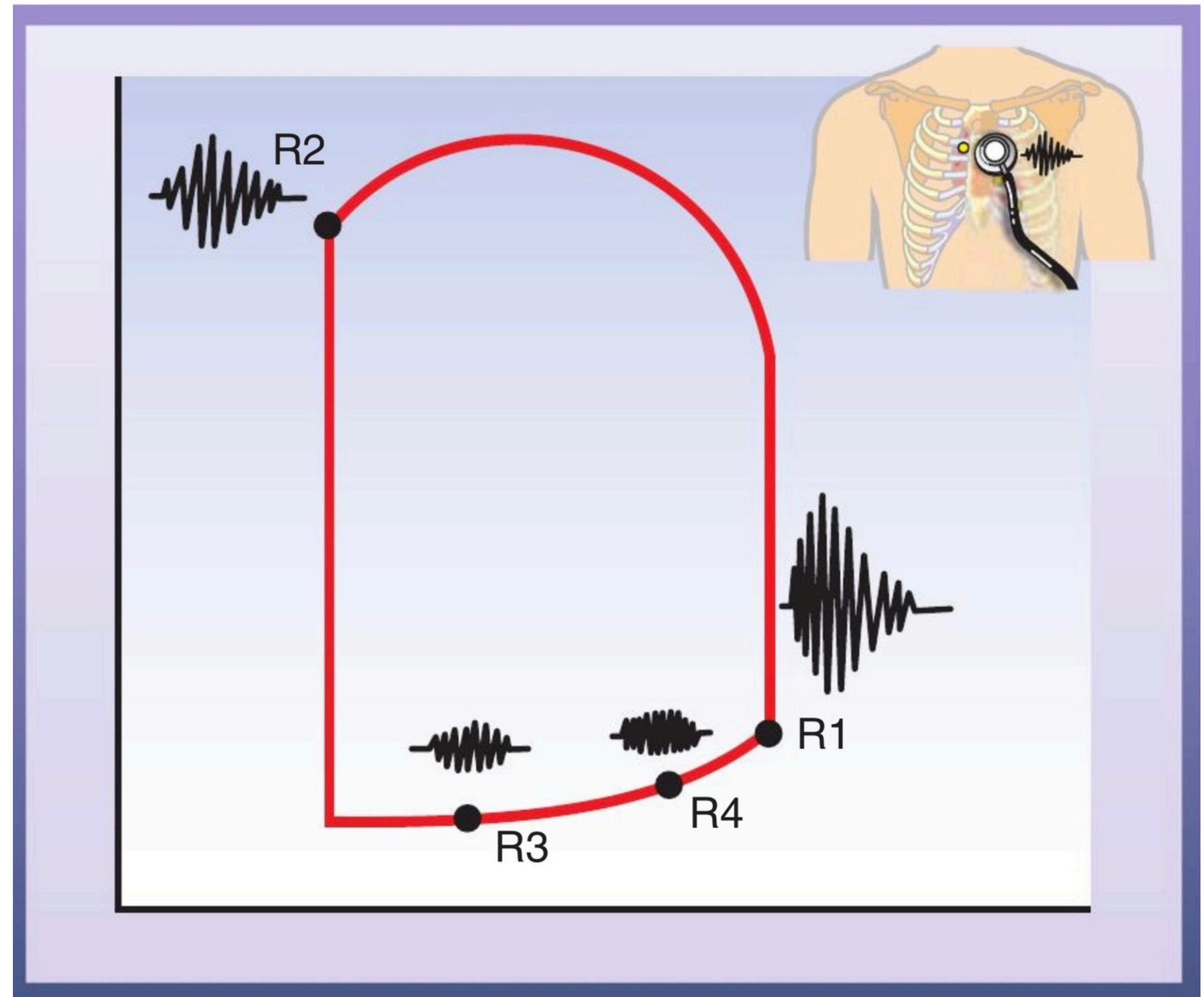
El origen de los ruidos cardíacos

Primer ruido: Cierre de las válvulas AV.

Segundo ruido: Cierre de las válvulas semilunares.

Tercer ruido: Llenado ventricular rápido.

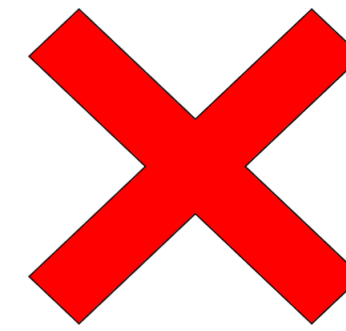
Cuarto ruido: Contracción atrial contra miocardio rígido por isquemia.



Gasto cardíaco



Frecuencia
cardíaca

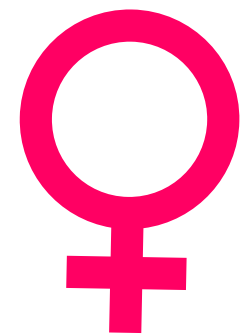


Volumen
sistólico

Cantidad de sangre que
bombea el corazón en 1
minuto

Cantidad de latidos
que hay en un
minuto

Volumen de
sangre eyectado
en cada latido



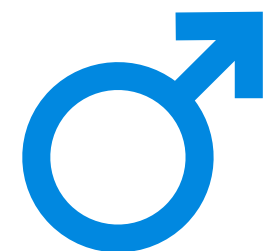
4,900 ml/min

Media de 5 L/min

60 a 100 lpm

70 a 80 ml

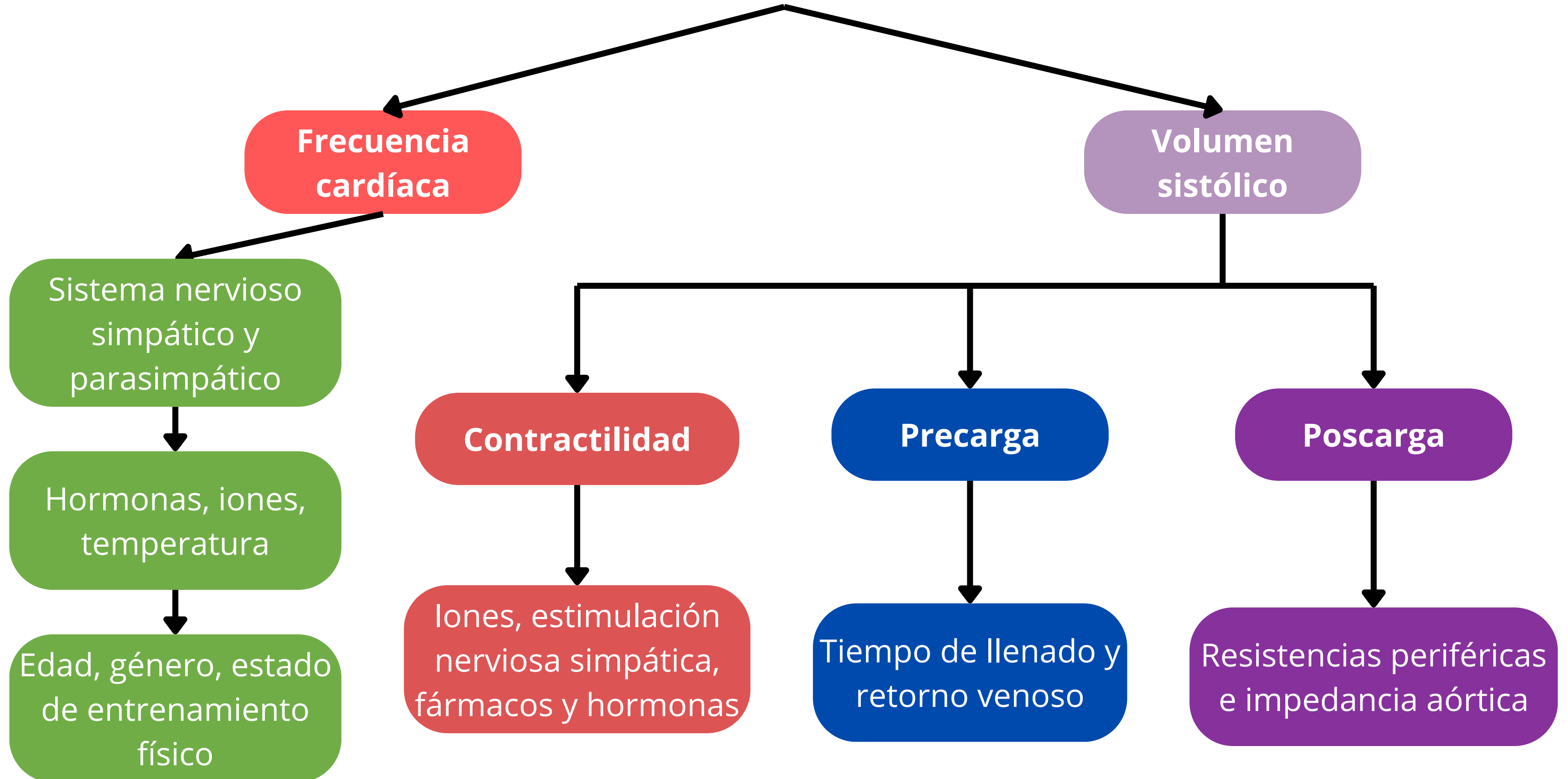
5,600 ml/min



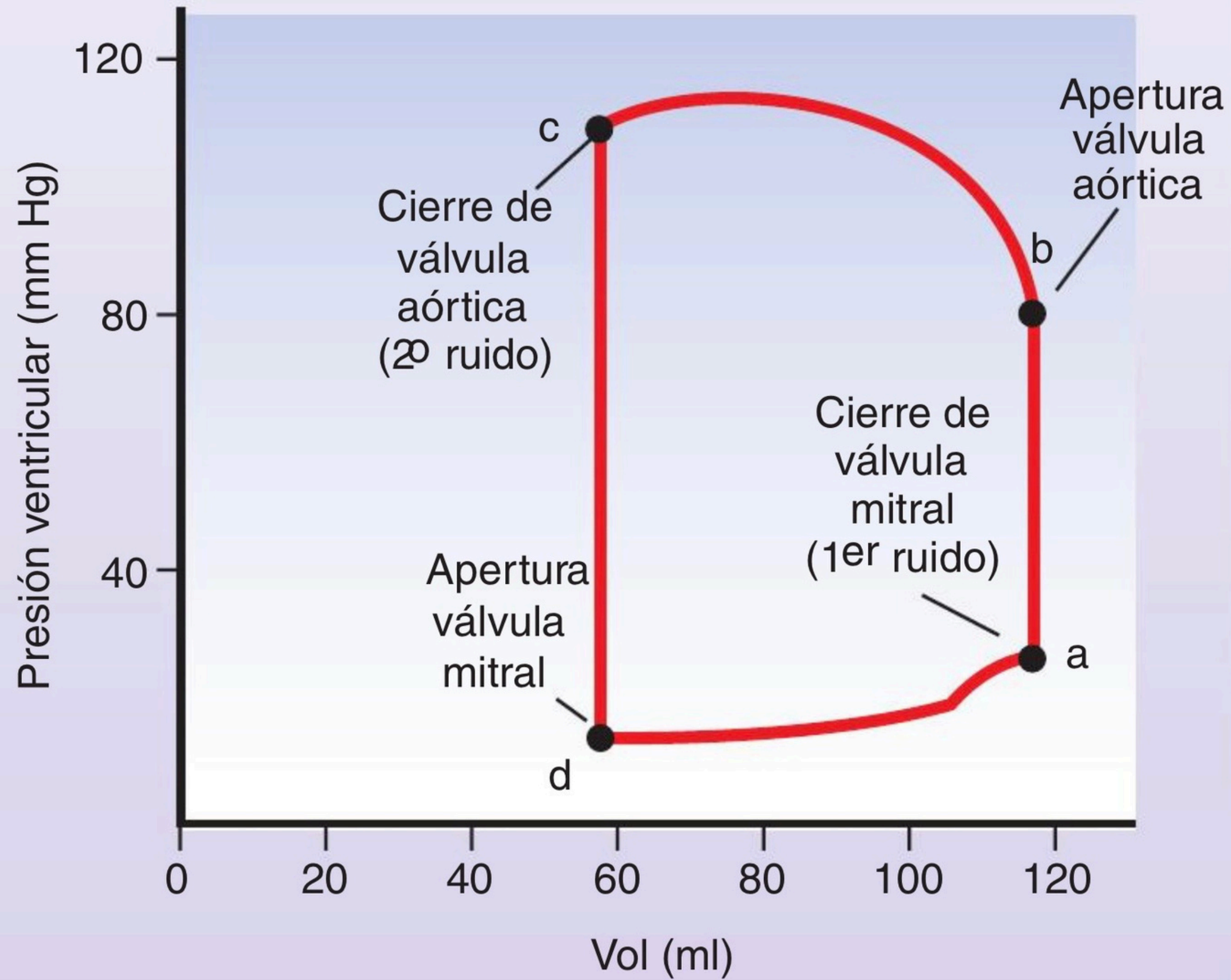
Recuérdese que el volumen sistólico es igual a la diferencia entre el volumen de fin de diástole (VFD) y el volumen de fin de sístole (VFS):

$$VS = VFD - VFS$$

Gasto cardíaco - Determinantes



Curva presión - volumen



Fracción de eyección

Concepto: Cantidad de sangre eyectada respecto a la que había en el ventrículo al final de la diástole. Expresada en porcentaje.

Valor normal: Mayor a 50% (0.50)

Fórmula: $\text{Volumen sistólico} / \text{volumen telediastólico}$.

Hemodinámica

Factores determinantes del flujo

$$F = \frac{\Delta P}{R}$$

$$R = \frac{\eta L}{r^4}$$

F es el flujo sanguíneo,
 ΔP es el gradiente de presión y
R es la resistencia al flujo sanguíneo.

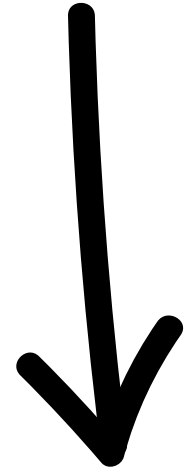
R es resistencia,
 η es viscosidad de la sangre,
L es la longitud del vaso y
r es el radio del vaso sanguíneo.

$$F = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \eta L}$$

Esta ecuación establece que el flujo sanguíneo (F) es directamente proporcional al gradiente de presión (ΔP) y a la cuarta potencia del radio del vaso sanguíneo (r^4) e inversamente proporcional a la viscosidad de la sangre (η) y la longitud del vaso sanguíneo (L).

Presión transmural - Ley de Laplace

En esferas = Ventrículos y alveolos

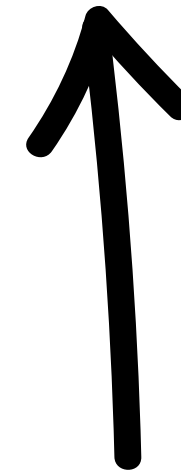


$$T = (P \times r) / (2 \times \text{grosor de la pared})$$

T es la tensión parietal
P es la presión transmural
máxima en la sístole
r es el Radio telediastólico de
la cavidad ventricular

$$T = P \times r$$

T es la tensión en dinas/cm
P es la presión en dinas/cm²
r es Radio en cm



**En cilindros = vasos
sanguíneos**

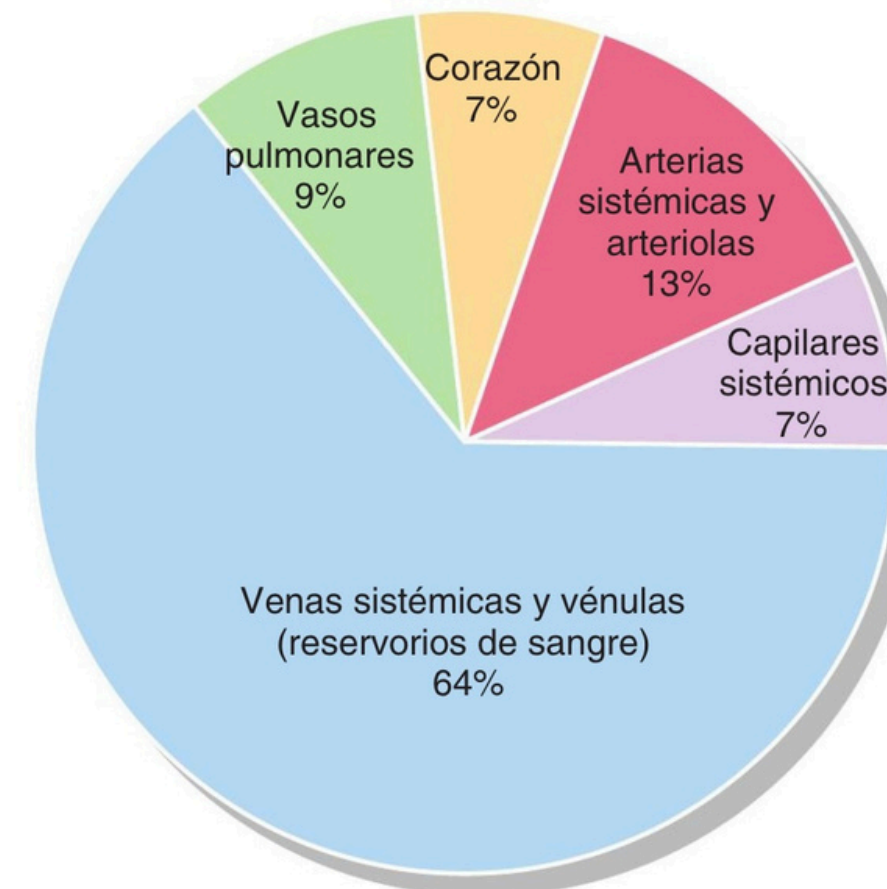
Distensibilidad y capacitancia vasculares

$$D = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

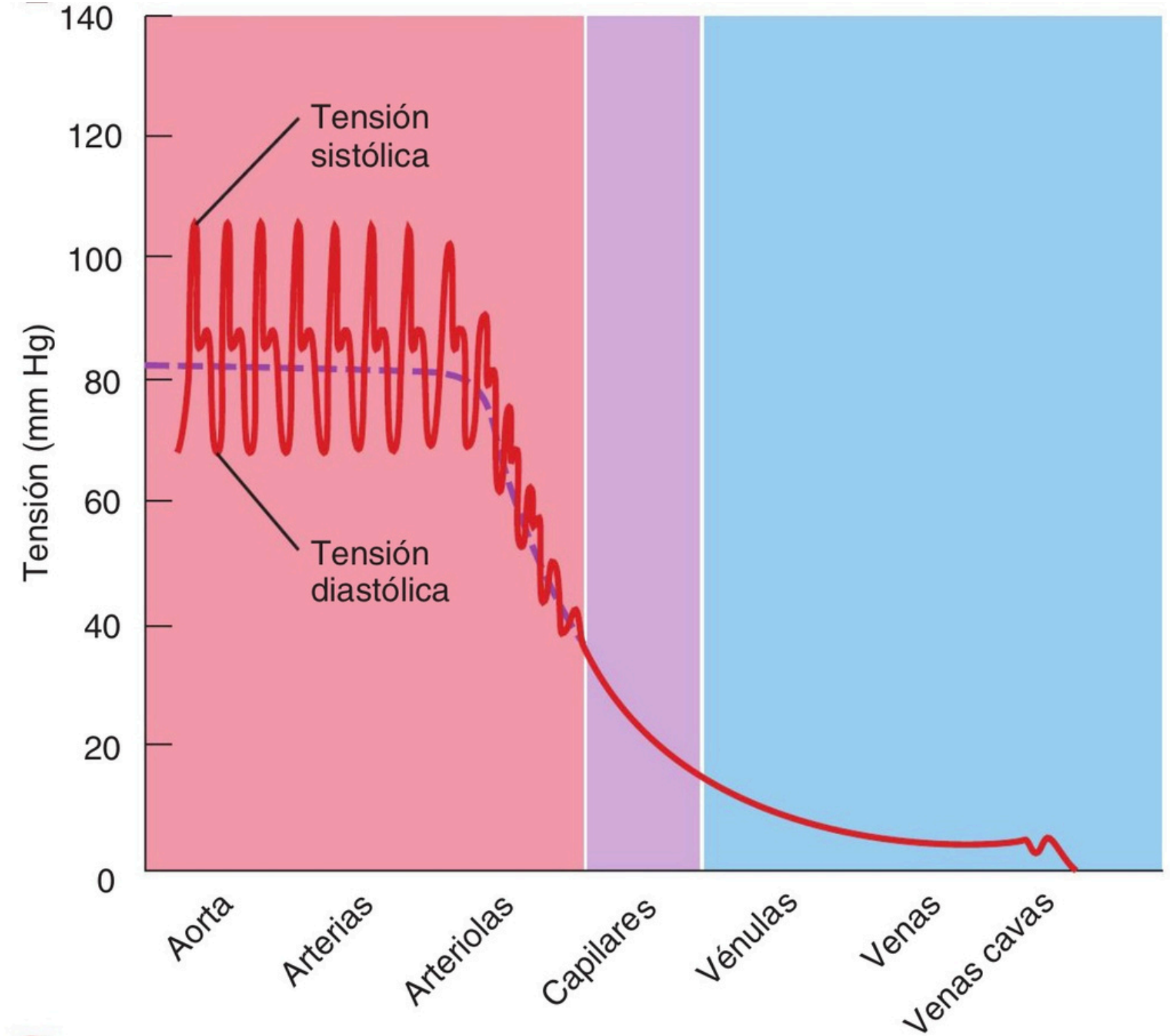
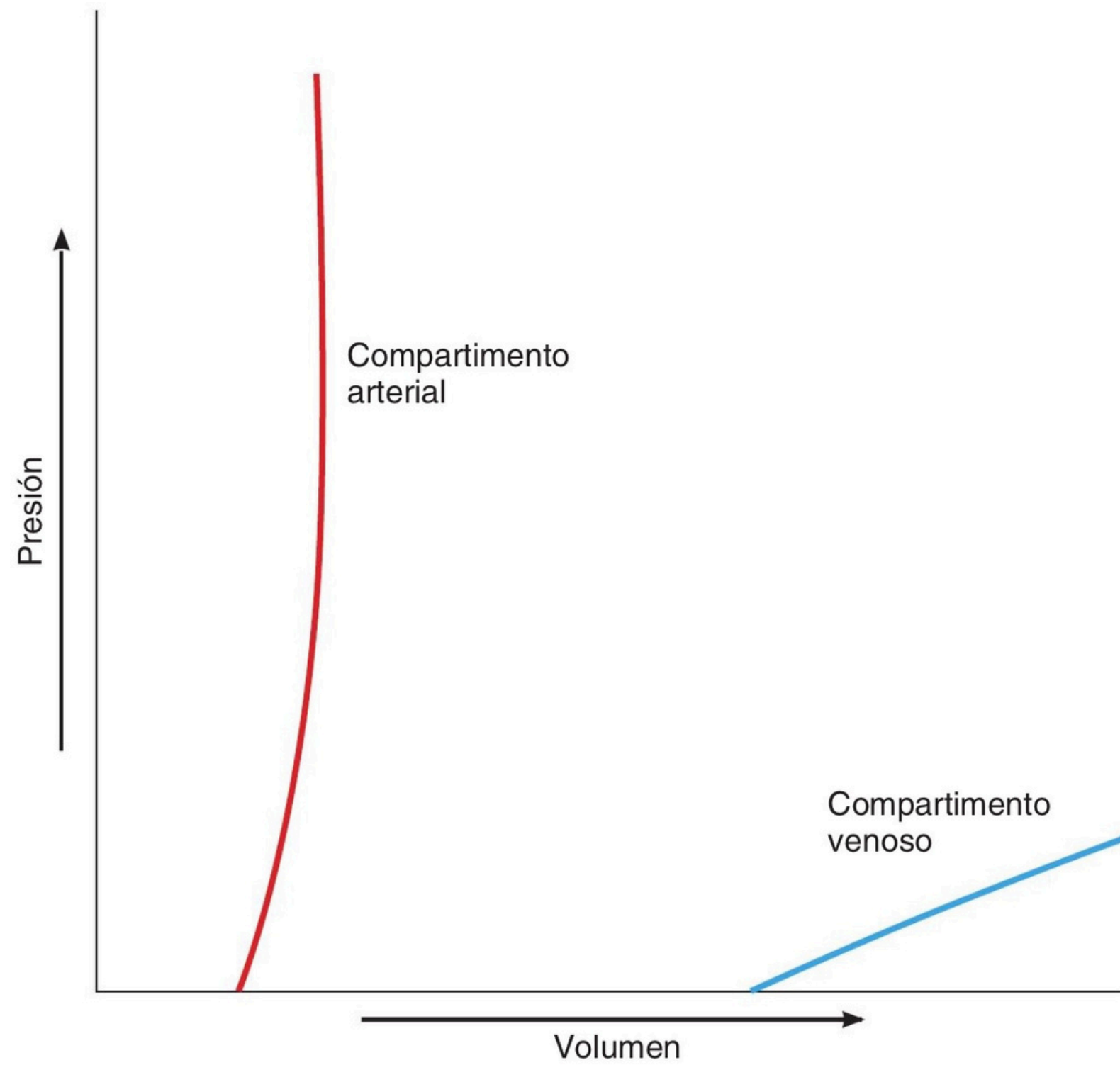
Distensibilidad: Capacidad de un vaso para estirarse. Es mayor en las venas que arterias.

Capacitancia: Capacidad de un vaso para acumular sangre. Las venas son el reservorio de sangre del organismo.

D es distensibilidad,
 ΔV es la variación de volumen y
 ΔP es la variación en la presión transmural.



Volumen y presiones en todo el árbol vascular



Retorno venoso

Volumen de sangre que regresa al corazón a través de las venas sistémicas en 1 minuto = Gasto cardíaco = 5 L/min

Gradiente de presión venosa

17 mm Hg en la vénulas y 0 mm Hg en el atrio derecho

Bomba de músculo esquelético

Las contracciones exprimen las venas hacia el tórax

Válvulas venosas

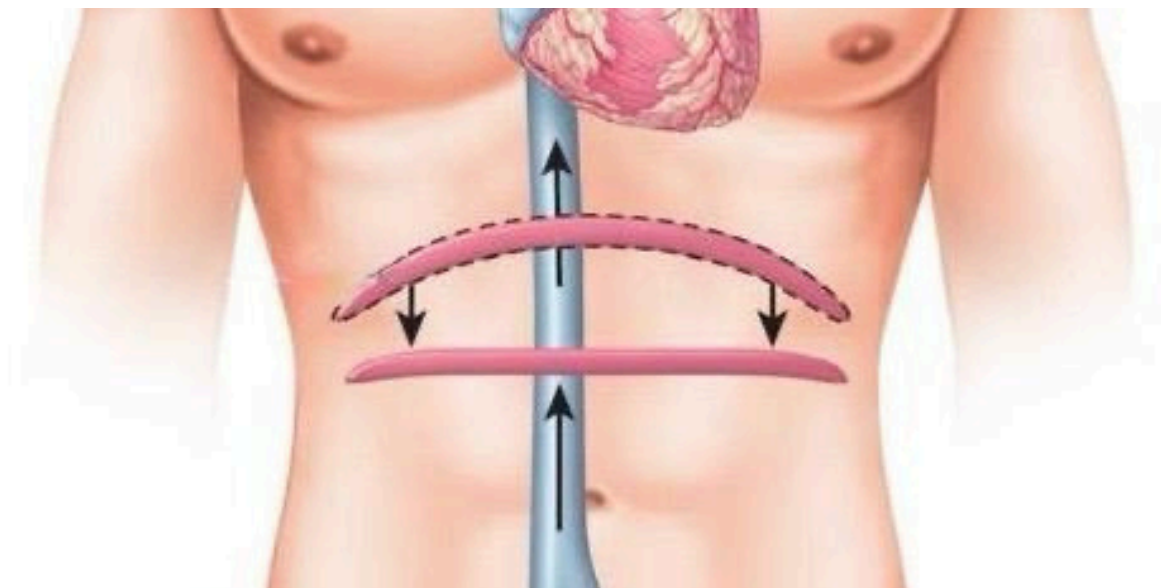
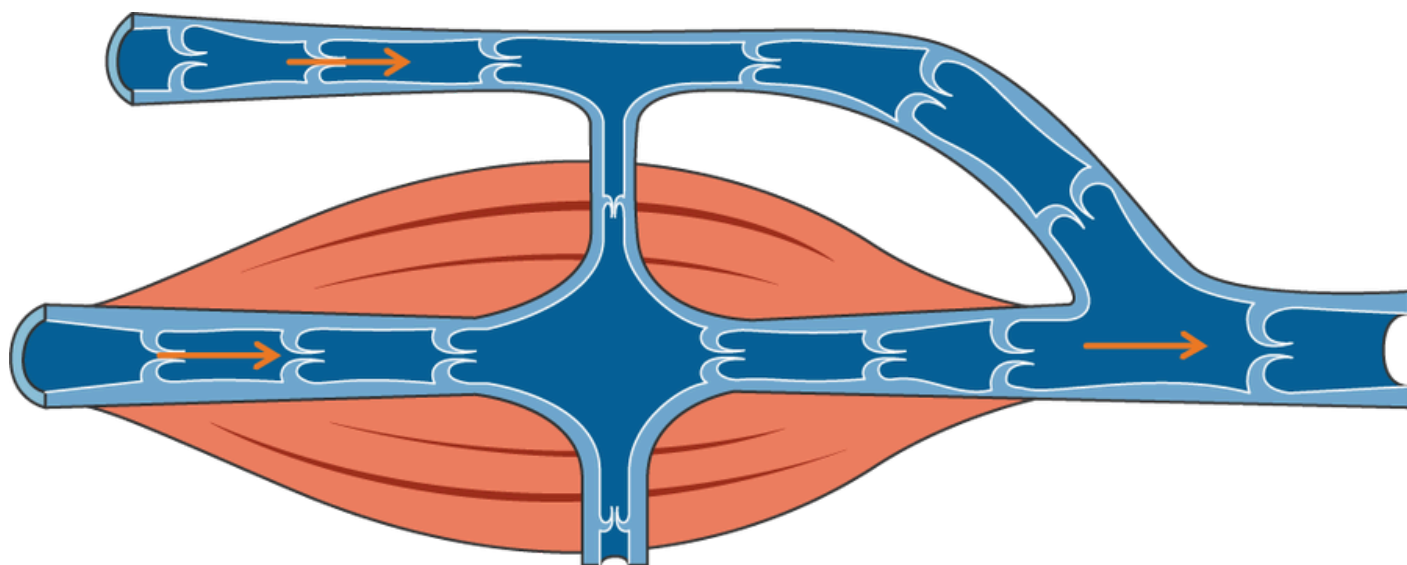
Flujo unidireccional en contra de la gravedad

Bomba respiratoria

Aumenta la presión negativa intratorácica y del AD

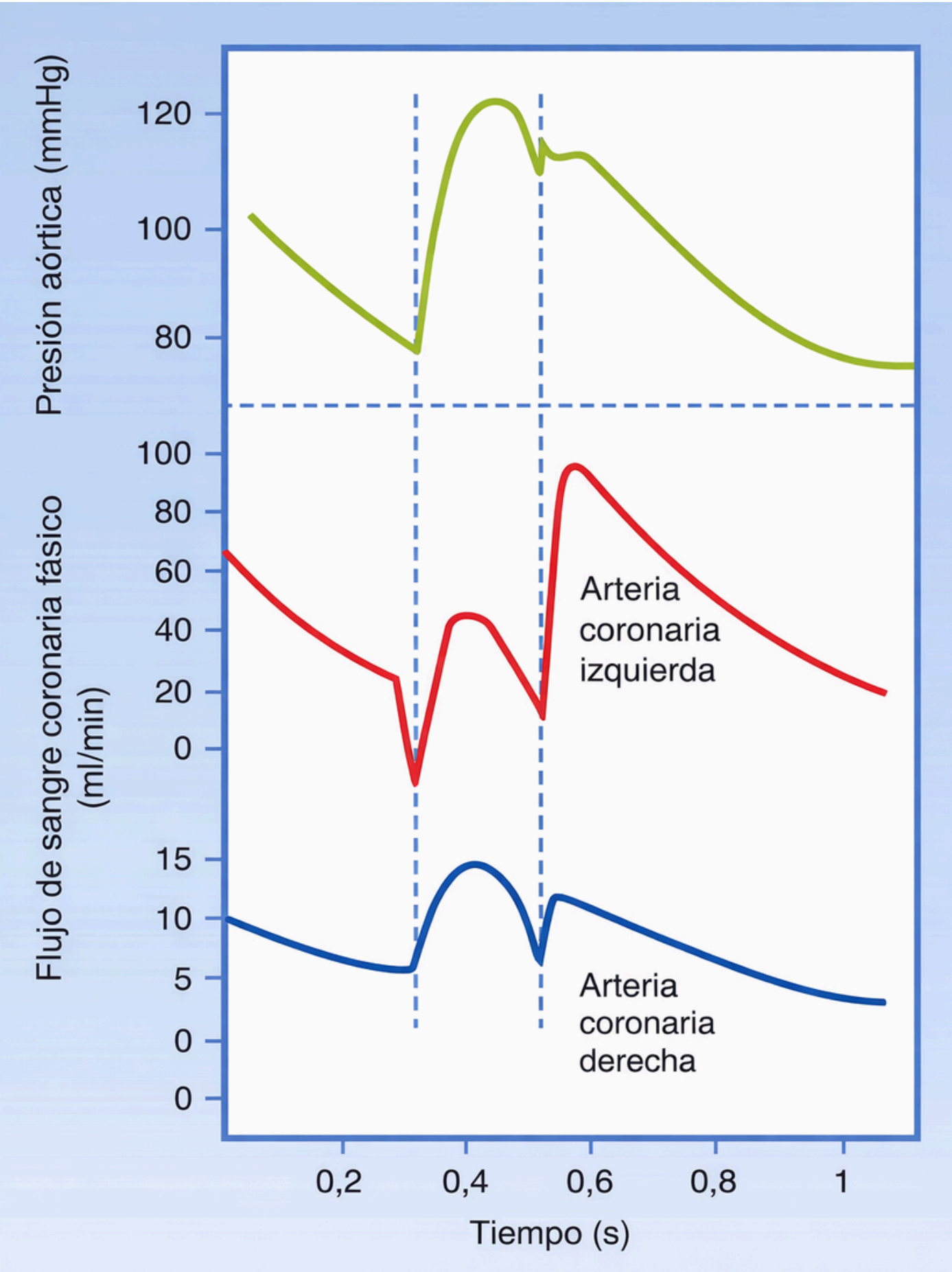
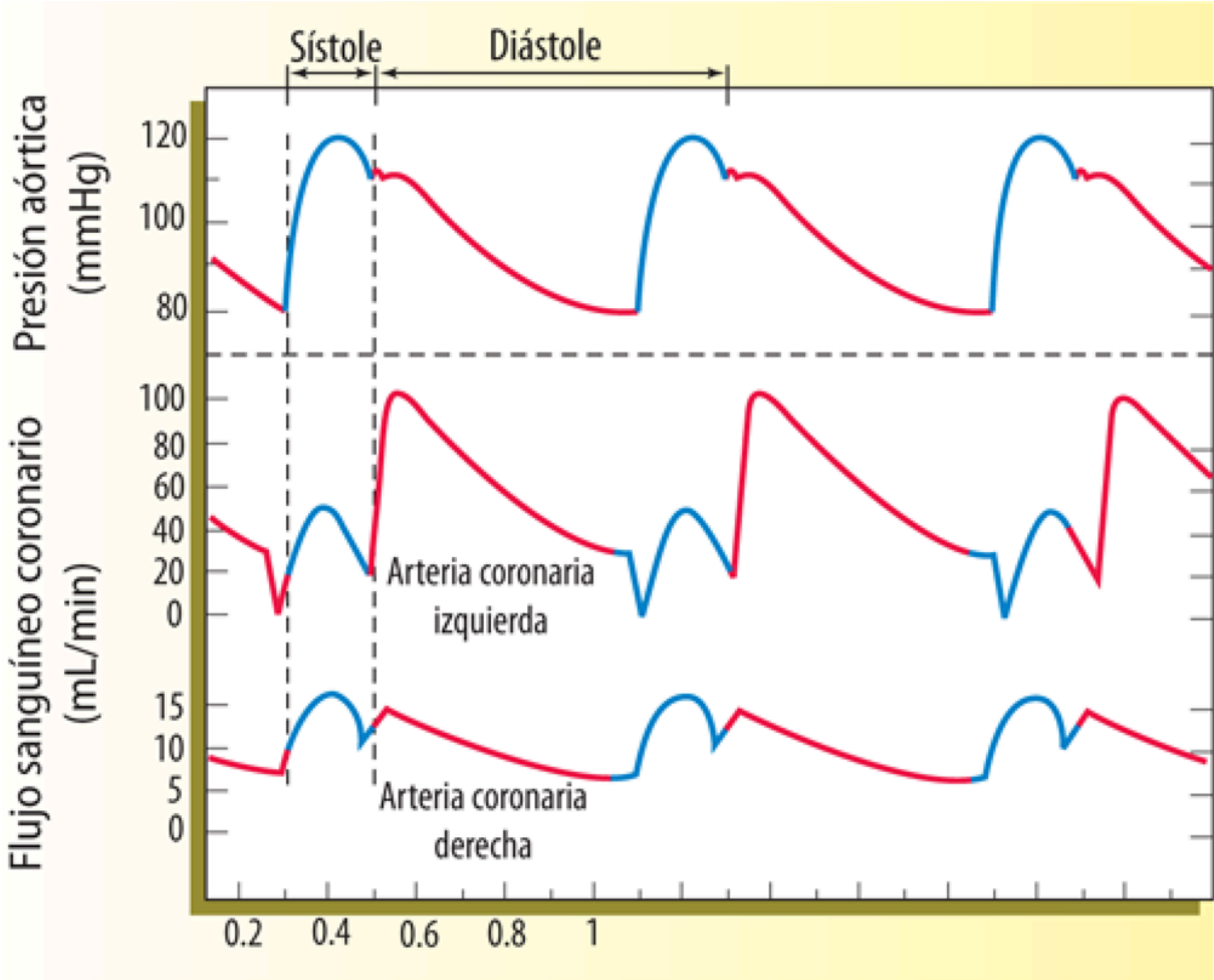
Venoconstricción

Disminuye reservorio sanguíneo



Circulación coronaria

Variaciones del flujo coronario durante el ciclo cardíaco



Fuente: Jesús A. Fernández-Tresguerres, Victoria Cachofeiro, Daniel P. Cardinali, Eva Delpón Enrique Rey Díaz-Rubio, Eduardo Escribá Escriche, Vicente Lahera Juliá, Francisco Mora Teruel, Marta Romano Pardo: Fisiología humana, 5e Copyright © McGraw Hill Education. Todos los derechos reservados.

Bibliografía

1. Derrickson B. (2018) Fisiología humana, 1ª ed., México: Editorial Médica Panamericana.
2. Guadalajara J. F. (2024) Cardiología, 9ª ed., México: Méndez Editores.
3. Hall J. E. y colaboradores (2016) Guyton & Hall Tratado de fisiología médica, 13ª ed., España: Elsevier.
4. Silverthorn D. U. (2019) Fisiología humana: Un enfoque integrado, 8ª ed., España: Editorial Médica Panamericana.
5. Castellanos C. y colaboradores (1996) Electrocardiografía clínica, 2ª ed., México: Elsevier.
6. Rosas E. A. (2017) Electrocardiografía clínica, 1ª ed., México: Manual Moderno.
7. Libby P. Y colaboradores (2024) Braunwald Tratado de Cardiología Texto de medicina cardiovascular, 12ª ed., España: Elsevier.
8. Dvorkin M. y colaboradores (2009) Best & Taylor Bases Fisiológicas de la práctica médica, 14ª ed., España: Editorial Médica Panamericana.
9. Boron W. F. & Boulpaep E. L. (2017) Fisiología médica, 3ª ed., España: Elsevier.
10. Sodi Pallares Demetrio (1996) Electrocardiografía Clíndica análisis deductivo, 1ª ed., México: Méndez Editores.
11. San Mauro M. (2013) Anatomía cardíaca, Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata
12. Servier Medical Art (<https://smart.servier.com/>), licensed under CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
13. Micheau A. & Hoa D. (2024) Anatomía del corazón. <https://doi.org/10.37019/e-anatomy/180.es>