

# Capítulo 1

## Anatomía y fisiología cardiovascular

Islendy Noreña Acevedo  
Guillermo Andrés Castellanos Castiblanco

### Introducción

Este capítulo presenta de forma sintetizada información clave respecto a los componentes anatómicos y los procesos fisiológicos básicos del sistema cardiovascular. Este material constituye una herramienta de consulta rápida y práctica para los profesionales de salud que brindan cuidado a pacientes con compromiso cardiovascular, quienes, basados en conocimientos de las ciencias de la morfología y la fisiología, darán soporte científico a sus intervenciones.

### Sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular está compuesto por el corazón, los vasos sanguíneos y la sangre.

### Funciones generales del sistema cardiovascular

El sistema cardiovascular se asemeja a un circuito cerrado de tubería que moviliza fluidos, donde el corazón actúa como bomba para asegurar la distribución de la sangre en la circulación mayor y menor, mientras que los vasos sanguíneos permiten su flujo y llegada a los tejidos. A continuación, se describen actividades específicas que subyacen el movimiento sanguíneo:

- El sistema cardiovascular transporta macronutrientes y vitaminas que han sido extraídos de los alimentos por procesos catabólicos,

y son absorbidos desde el sistema digestivo para posteriormente ser conducidos a diferentes tejidos, donde su suministro es determinante para el desarrollo de procesos metabólicos.

- El sistema cardiovascular transporta productos intermedios del metabolismo de sustratos energéticos como el lactato, que será reutilizado para producir energía en forma de ATP en las mitocondrias a través de la respiración celular. Los residuos metabólicos que no son reutilizables son conducidos por el sistema cardiovascular hacia el riñón para su excreción en forma de orina.
- El sistema cardiovascular juega un papel determinante en el intercambio y transporte de gases, en el pulmón facilita la entrega de CO<sub>2</sub> procedente de las mitocondrias en las células de los tejidos y permite la saturación de la hemoglobina con oxígeno. La sangre saturada de oxígeno es llevada desde el pulmón hacia los distintos tejidos del cuerpo para satisfacer su demanda metabólica.
- La sangre es uno de los medios donde se encuentran las células del sistema inmunológico, y ante la presencia de patógenos, migran hacia los tejidos donde se desarrollará la respuesta inmunitaria con el fin de eliminar en el menor tiempo posible los causantes de la infección.
- La sangre es el medio por el cual se distribuye la temperatura de los órganos metabólicamente activos como el hígado a zonas corporales alejadas del corazón como los dedos de las manos y de los pies, la temperatura promedio de la sangre es 38 °C, un grado por encima del promedio de temperatura corporal; gracias a la distribución que hace la sangre, se asegura que todos los tejidos mantengan la temperatura homeostática.
- El adecuado funcionamiento del sistema cardiovascular asegura la perfusión de los tejidos al responder a estímulos químicos, hormonales y físicos, con el fin de mantener presiones adecuadas como: presión arterial media, presión venosa central, presión de perfusión cerebral y presión hidrostática glomerular.
- Al presentarse una hemorragia, el sistema cardiovascular posee diferentes mecanismos para evitarla o reducirla, entre ellos: vaso espasmo, formación del tapón plaquetario y activación de la cascada de coagulación.
- El sistema cardiovascular es el encargado del transporte de hormonas desde las células secretoras hasta las células blanco, donde tienen influencia al regular, acelerar o inhibir distintos procesos fisiológicos.

## Anatomía y fisiología del músculo cardíaco

El músculo cardíaco o miocardio es un músculo de control nervioso autónomo y está compuesto por células conocidas como cardiomiocitos que son células mononucleadas. Estas células están unidas a través de estructuras conocidas como discos intercalares que permiten la contracción del corazón en tres dimensiones: a lo ancho, de atrás hacia adelante y de arriba hacia abajo. Es de metabolismo exclusivamente aeróbico, es el tejido muscular que tiene mayor acumulación de mitocondrias por milímetro cuadrado; en reposo el sustrato que utiliza para la obtención de energía son los ácidos grasos y durante el ejercicio físico exigente puede usar como fuente de energía el lactato.

## Anatomía, morfología y fisiología del corazón

Anatómicamente el corazón está en la región central de la cavidad torácica en un espacio conocido como mediastino, a nivel anterior está protegido por el hueso esternón y se encuentra envuelto en una capa doble de tejido conectivo fibroso conocido como pericardio, que lo estabiliza y lo protege.

Tres capas constituyen el corazón: el endocardio es la capa interna que tiene contacto con la sangre y está formado por endotelio; el miocardio es la capa muscular, y el pericardio visceral y parietal, está constituido por tejido conectivo fibroso denso.

Morfológicamente el corazón está constituido por cuatro cavidades, dos superiores conocidas como aurículas y dos inferiores conocidas como ventrículos; entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho encontramos la válvula tricúspide que permite su comunicación. Separando el corazón en dos mitades encontramos una pared muscular conocida como septum. En la mitad izquierda del corazón, la válvula bicúspide o mitral comunica la aurícula izquierda con la aurícula derecha.

Los vasos sanguíneos que llegan a la aurícula derecha con sangre venosa son: vena cava superior, vena cava inferior y seno venoso coronario; la sangre venosa sale con dirección a los pulmones a través de la arteria pulmonar. Los vasos que llevan la sangre arterial recién saturada de oxígeno de los pulmones hacia la aurícula izquierda son cuatro venas pulmonares, dos de cada pulmón, y el vaso que lleva la sangre arterial desde el ventrículo izquierdo hacia los tejidos es la arteria aorta.

El corazón es un órgano cuya función más importante es el bombeo de sangre; sin embargo, influye en el funcionamiento de otros sistemas como

en el caso del sistema urinario, a través de la producción de la hormona *péptido natriurético auricular* que participa en la formación de la orina diluida.

El corazón está dividido por un septum muscular que impide la mezcla de sangre arterial y sangre venosa, la mitad derecha del corazón se encarga de impulsar la sangre venosa que viaja hacia los pulmones para saturarse de oxígeno y la mitad izquierda del corazón impulsa la sangre arterial a través de los vasos sistémicos con dirección a los tejidos para satisfacer sus necesidades metabólicas de oxígeno.

## Circulación coronaria

Es un conjunto de vasos que suministran y drenan sangre para atender las necesidades metabólicas particulares del corazón. Está dividido en dos subsistemas: la circulación coronaria arterial y la circulación coronaria venosa.

### Circulación coronaria arterial

Es responsable de llevar sangre arterial rica en oxígeno y nutrientes desde la arteria aorta ascendente hacia el tejido cardíaco. De la arteria aorta derivan las arterias coronarias derecha e izquierda que aprovechan la sangre que se devuelve desde la aorta ascendente y, por acción de la fuerza de gravedad, la sangre golpea las valvas de las válvulas semilunares y busca camino a través de las arterias coronarias derecha e izquierda.

Una vez que la sangre es conducida por la arteria coronaria derecha se distribuye a través de sus ramificaciones, la rama interventricular posterior y la rama marginal para llevar sangre arterial hacia la mitad derecha anterior y posterior del corazón.

La sangre arterial que ingresa en la rama izquierda coronaria desde la aorta se conduce por sus ramificaciones que son interventricular anterior y circunfleja que llevan sangre hacia el miocardio de la porción posterior y anterior izquierda del corazón. La sangre fluye por los vasos arteriales coronarios durante la diástole ventricular.

### Circulación coronaria venosa

La sangre que ya entregó oxígeno y nutrientes ahora está saturada de  $\text{CO}_2$  y se conoce como sangre venosa, la cual se recoge del miocardio a través de unos vasos venosos, que constituyen el *sistema coronario venoso*. Estos

vasos tienen como lugar de llegada común el *seno venoso coronario* que se encuentra en la porción posterior de la aurícula derecha.

El sistema coronario venoso está formado por la vena cardíaca menor que recoge la sangre de la mitad derecha anterior y posterior del corazón, la vena cardíaca media recoge la sangre de la porción posterior central del corazón y la vena cardíaca magna recoge la sangre de la mitad izquierda anterior y posterior del corazón. Este sistema de retorno venoso funciona gracias a la vasoconstricción que causa el miocardio sobre estos vasos durante la sístole ventricular.

- *Shunt*: no toda la sangre venosa se recoge a través del sistema venoso coronario, durante la sístole ventricular algo de sangre drena a través de vasos conocidos como *venas de Tebesio* que llevan sangre venosa hacia la luz del ventrículo izquierdo donde hay sangre arterial recién saturada de oxígeno en los pulmones. Esta mezcla de sangre arterial con sangre venosa es conocida como “shunt”.
- *Volemia*: es la cantidad total de sangre que circula en el cuerpo, típicamente en personas sedentarias es igual al gasto cardíaco. La volemia se distribuye en el organismo en reposo de la siguiente manera: cerebro 15%, circulación coronaria 5%, riñones 25%, sistema digestivo 25%, músculos esqueléticos 25% y la piel 5%.

La circulación sistémica posee el 85% de la sangre, de este porcentaje, el 65% se encuentra en venas de pequeño calibre. Por lo tanto, se considera que las venas son el mayor reservorio del volumen sanguíneo. La circulación pulmonar posee el 10% del volumen sanguíneo y las cámaras cardíacas el 5%.

La presión de la sangre en la circulación arterial sistémica es mayor en comparación con la presión de la sangre en la circulación pulmonar.

- *Sistema de alta presión*: ventrículo izquierdo a arteriolas sistémicas.
- *Sistema de baja presión*: capilares sistémicos y circulación pulmonar.

## Ciclo cardíaco

Son todos los acontecimientos que ocurren entre un latido y otro latido cardíaco. Existen diferentes tipos de acontecimientos dentro del ciclo cardíaco: eléctricos, mecánicos, sonoros, volumétricos y de cambio de presiones.

## Acontecimientos eléctricos del corazón durante el ciclo cardíaco

El electrocardiograma es la representación gráfica de las señales eléctricas del corazón, fue desarrollado por el holandés Willem Einthoven en 1903. Es una herramienta diagnóstica de amplio uso en la actualidad, por no ser invasiva y de fácil aplicación; las ondas del electrocardiograma representan acontecimientos dentro del ciclo cardíaco, la onda P representa la despolarización auricular, el complejo QRS representa la despolarización ventricular y la onda T representa la repolarización ventricular.

## Acontecimientos mecánicos, volumétricos y cambios de presión durante el ciclo cardíaco

La *diástole* es el periodo durante el ciclo cardíaco en el cual las fibras musculares cardíacas están relajadas, y la *sístole* es el periodo durante el cual las fibras musculares están contraídas; sin embargo, es un proceso alterno entre las aurículas y los ventrículos, cuando las aurículas están en sístole, los ventrículos están en diástole y viceversa.

### Sístole

Las válvulas auriculoventriculares se cierran y la presión empieza a subir en el ventrículo; durante los primeros tres segundos de la contracción ventricular no se produce salida de sangre, periodo conocido como contracción isovolumétrica.

Las válvulas auriculoventriculares aórtica y pulmonar se abren cuando las presiones intraventriculares derecha e izquierda superan la resistencia de las válvulas sigmoideas, válvula pulmonar (8 a 10 mmHg) y válvula aórtica (70-80 mmHg). Las válvulas sigmoideas se abren y la sangre de los ventrículos es eyectada hacia las arterias pulmonar y aorta.

El proceso de eyección puede dividirse en dos etapas: la eyección rápida (duración: 0.09 s) y la eyección lenta (duración: 0.13 s). El volumen de sangre bombeado por cada ventrículo durante la eyección rápida representa 70% del volumen de eyección total. Durante la eyección lenta se bombea solo el 30% del volumen de eyección total (1).

## Diástole

Al final del periodo de eyección los ventrículos se relajan, la presión ventricular disminuye y la sangre de las arterias pulmonar y aorta tiende a regresar a los ventrículos, esto cierra las válvulas sigmoides. A continuación, la presión ventricular disminuye con rapidez, pero permanece todavía superior a la presión auricular, lo que mantiene cerradas las válvulas auriculoventriculares. En consecuencia, durante el *periodo de relajación isovolumétrica* (duración: 0.08 s) no se observan cambios en el volumen ventricular.

Las válvulas auriculoventriculares se abren cuando la presión ventricular disminuye por debajo de la presión auricular, la presión más alta de las aurículas desplaza la sangre hacia los ventrículos. El periodo de llenado puede dividirse en dos subperiodos: llenado rápido y llenado lento.

Durante el llenado rápido (duración: 0.11 s) se realiza el 70% del llenado ventricular total, debido a la diferencia de presión entre las aurículas y los ventrículos; este proceso se produce durante el primer tercio de la diástole y proporciona la mayor parte del llenado ventricular.

Durante el llenado lento (duración: 0.19 s) el flujo de sangre de las aurículas hacia los ventrículos disminuye, como resultado del aumento de la presión diastólica ventricular y de la disminución de la presión auricular (1).

La contracción auricular ocurre en el último tercio de la diástole ventricular y contribuye al 25% del llenado del ventrículo izquierdo, esta contracción se conoce como “patada auricular” (2).

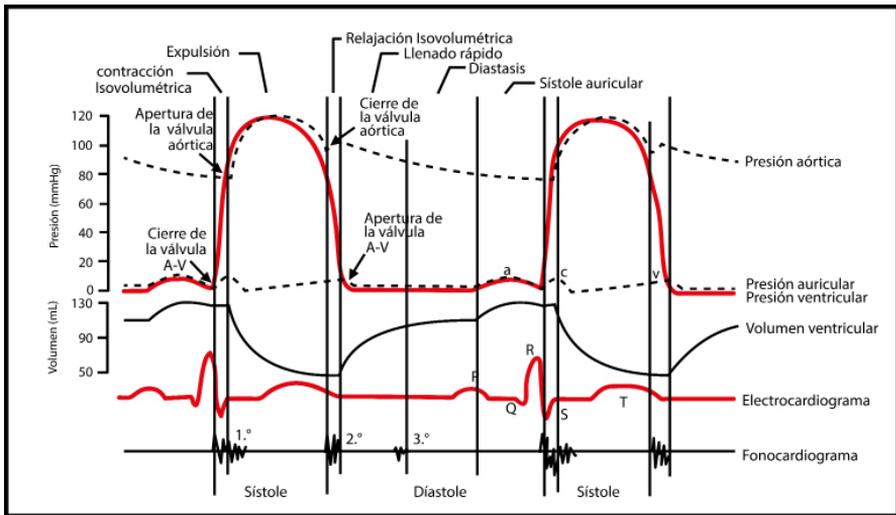
## Volúmenes cardíacos

- *Volumen diastólico final o volumen telediastólico*: es la máxima cantidad de sangre que se almacena en el ventrículo después del cierre de las válvulas auriculoventriculares, pero antes de la apertura de las válvulas semilunares. Este volumen oscila entre 110 mL y 120 mL.
- *Volumen sistólico final o volumen telesistólico*: es la cantidad de sangre que queda en los ventrículos después de cada sístole ventricular y mide entre 40 y 50 mL.
- *Volumen sistólico*: es la cantidad de sangre que sale del corazón durante cada sístole ventricular, normalmente es de 70 mL.

## Ruidos cardíacos

Durante el ciclo cardíaco se producen ruidos que representan acontecimientos: el ruido 1 indica el cierre de las válvulas auriculoventriculares; el ruido 2 representa el cierre de las válvulas sigmoideas; el ruido 3 representa la primera fase de la diástole y se considera normal en niños, adultos menores de 30 años y mujeres embarazadas en el tercer trimestre de gestación; el ruido 4 aparece en la sístole auricular y es patológico (3).

Figura 1.1. Ciclo cardíaco



Fuente: elaborado y adaptado por los autores con base en Guyton y Hall.

El corazón como bomba y la función de las válvulas cardíacas.

Disponible en: <http://ual.dyndns.org/biblioteca/fisiologia/pdf/unidad%2003.pdf>

## Fracción de eyección

Es la proporción de sangre bombeada fuera del ventrículo izquierdo durante cada latido. Su fórmula es:

$$\text{Fracción de eyección} = (\text{Volumen sistólico} / \text{Volumen telediastólico}) * 100.$$

La fracción de eyección por lo general se expresa como un porcentaje y varía con frecuencia de 55-80% (promedio 67%) bajo condiciones de reposo. La fracción de eyección menor a 55% indica contractilidad miocárdica deprimida (4).

## Gasto cardíaco

Es el volumen total de sangre bombeada por los ventrículos en un minuto. La fórmula es:  $GC = FC \times VS$  (donde el gasto cardíaco – GC) es igual a la multiplicación de la frecuencia cardíaca (FC) por el volumen sistólico (VS).

Se ha encontrado que el gasto cardíaco se correlaciona mejor con el área de superficie del cuerpo que con el peso corporal. Es común expresar el gasto cardíaco por metro cuadrado de superficie. Esta cifra se llama *índice cardíaco*; en reposo por lo general se acerca a 3 (L/min) / m<sup>2</sup> (4).

## Determinantes del gasto cardíaco

- *Precarga*: es el grado de estiramiento de los ventrículos antes de contraerse.
- *Poscarga*: es la presión que debe ser superada para abrir las válvulas semilunares y permitir que se realice la eyección de la sangre.
- *Ley de Frank y Stirling*: cuanto más se llene de sangre el corazón durante la diástole, mayor fuerza de contracción ejercerá durante la sístole.

## Sistema excitoconductor del corazón

El sistema excitoconductor hace referencia a un conjunto de células nerviosas especializadas que se encuentran organizadas a lo largo del corazón, cuya función es generar la conducción eléctrica para posteriormente desencadenar los fenómenos mecánicos conocidos como sístole y diástole cardíaca. Es importante recordar que todo fenómeno eléctrico conlleva a un fenómeno mecánico.

El músculo cardíaco posee dos conjuntos de células: células musculares y células marcapasos. Las *células musculares cardíacas*, también conocidas como cardiomiocitos contráctiles, son células cortas, gruesas y ramificadas. Cada una de ellas posee un núcleo el cual está rodeado de glucógeno y mitocondrias de gran tamaño. Los cardiomiocitos están unidos por sus extremos gracias a estructuras denominadas: *discos intercalados*.

Los discos intercalados están conformados por:

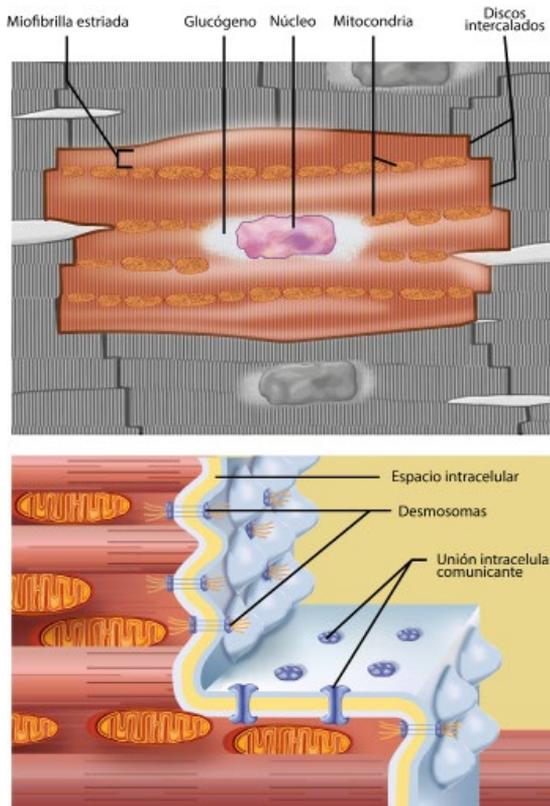
- *Pliegues interdigitados*: cuya función es aumentar la superficie de contacto intercelular.
- *Uniones mecánicas*: conformadas por fascias adherentes y desmosomas. Las fascias adherentes corresponden a bandas anchas sobre

las cuales la actina se ancla y cada cardiomiocito se vincula al contiguo. Los desmosomas por su parte permiten que el tejido resista la tensión mecánica.

- *Uniones eléctricas*: también conocidas como uniones comunicantes o uniones GAP, que forman canales para el paso de iones entre cardiomiocitos.

Gracias a los discos intercalados de los cardiomiocitos, las cámaras auriculares se contraen al mismo tiempo; lo mismo sucede con las cámaras ventriculares. No obstante, la contracción auricular y ventricular se da de forma asincrónica, debido a que entre ambas cámaras se encuentra tejido fibroso que rodea las válvulas auriculoventriculares. El retraso en la conducción entre aurículas y ventrículos permite que las cámaras se relajen adecuadamente para asegurar su llenado.

Figura 1.2. Estructura del cardiomiocito

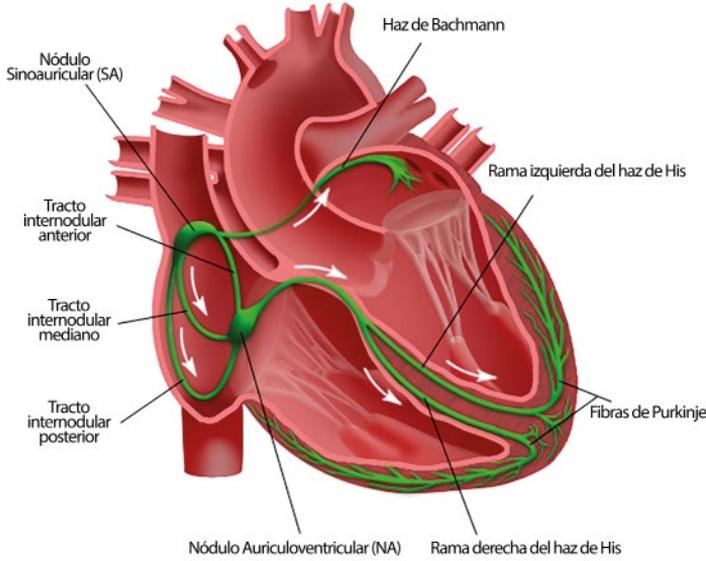


Fuente: elaborado y adaptado por los autores con base en Saladin, K. El aparato circulatorio: el corazón.

Las *células marcapasos*, también conocidas como cardiomiocitos conducentes, conforman el sistema eléctrico del corazón (5).

Las estructuras que componen el sistema excitoconductor son: nodo sinusal, fibras internodales, nodo auriculoventricular, haz de His con sus ramas izquierda y derecha, y fibras de Purkinje.

Figura 1.3. Sistema excitoconductor del corazón



Fuente: elaborado, traducido y adaptado por los autores con base en Stanford Children's Health. Anatomy and function of the electrical system. Disponible en: <https://www.stanfordchildrens.org/en/topic/default?id=anatomy-and-function-of-the-electrical-system-90-P01762>

El nodo sinusal constituye el primer marcapaso del corazón, dado que la señal eléctrica se origina en esta estructura que está situada en la parte alta de la aurícula derecha, en la unión entre la musculatura de la vena cava superior con la musculatura de la orejuela derecha. Las células marcapaso del nodo sinusal tienen automatismo y por lo tanto se despolarizan espontáneamente.

El potencial de acción generado en este nodo se propaga en forma organizada por las fibras internodales, posteriormente hacia el nodo auriculoventricular (segundo marcapaso), luego al haz de His y finalmente a las fibras de Purkinje. El potencial de acción también se desplaza por los cardiomiocitos que generan la fuerza de contracción.

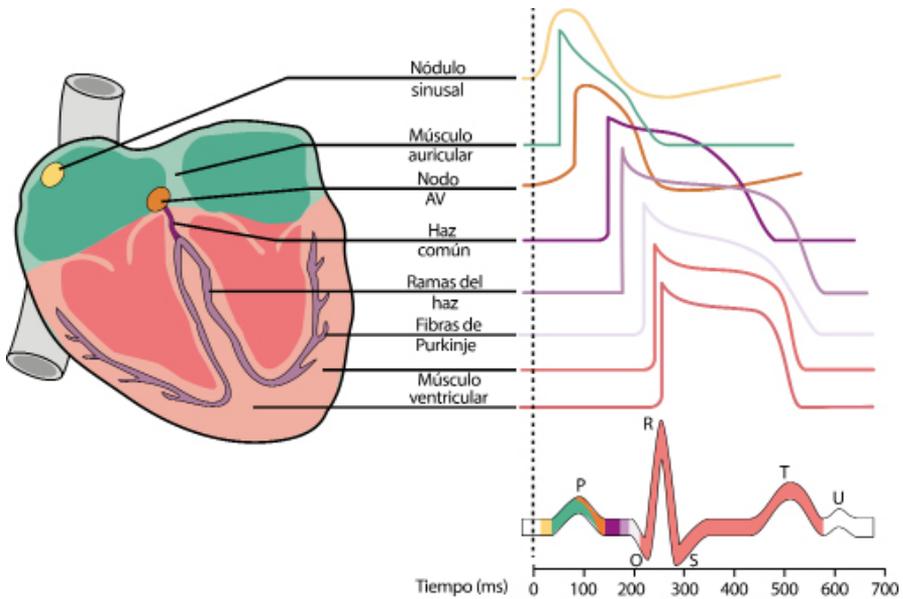
De acuerdo con la velocidad de generación del potencial de acción, estos pueden clasificarse en:

- *Potencial de acción lento*: producido en los nodos sinusal y auriculoventricular.
- *Potencial de acción rápido*: producido en los miocitos auriculares, las fibras de Purkinje y los miocitos ventriculares.

## Fases del potencial de acción

Las fases del potencial de acción varían según la estructura donde se esté generando. En ese sentido, los nodos sinusal y auriculoventricular desarrollan las fases 0, 3 y 4, mientras que, en músculo auricular, ventricular y fibras de Purkinje se producen las fases 0 a 4.

Figura 1.4. Potencial de acción rápido y potencial de acción lento según estructura cardíaca



Fuente: elaborado, traducido y adaptado por los autores con base en Neal G, Dosdall D, Shepard R. Cardiac Electrical Stimulation. Disponible en: <https://clinicalgate.com/cardiac-electrical-stimulation/>

- *Fase 0*: es la fase de despolarización, reflejada por el ascenso de la pendiente. En las estructuras que exhiben potencial de acción rápido, esta fase se produce por la apertura de canales de sodio

y de calcio. En las estructuras en las que se produce potencial de acción lento, esta fase se debe a la apertura de canales de calcio.

- *Fase 1:* fase de repolarización rápida. Generada en músculo auricular, ventricular y fibras de Purkinje. Esta fase se debe a la inactivación de la corriente de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$ , así como a la activación de una corriente menor de  $\text{K}^+$ , conocida como corriente transitoria de salida de  $\text{K}^+$ .
- *Fase 2:* es la fase de meseta del potencial de acción rápido. Depende de la entrada continua de iones  $\text{Ca}^{++}$  o  $\text{Na}^+$  y de una corriente de membrana menor debida al intercambiador  $\text{Na}^+-\text{Ca}^{++}$ .
- *Fase 3:* repolarización. Producida por corriente de salida de  $\text{K}^+$  tanto en potencial rápido como en el potencial lento.
- *Fase 4:* fase diastólica eléctrica del potencial de acción.

Gracias a la corriente de  $\text{K}^+$ , calcio y corriente funny ( $I_f$ ), se produce actividad de marcapasos en las células de los nodos sinusal y auriculoventricular, las cuales alcanzan un voltaje de  $-65\text{mV}$  y posteriormente se desencadena la despolarización (fenómeno conocido como despolarización diastólica espontánea). Las fibras de Purkinje también muestran actividad de marcapasos, pero solo usan la corriente funny. En los cardiomiocitos auriculares y ventriculares no se produce esta corriente.

El potencial de acción cardíaco presenta un periodo denominado “periodo refractario efectivo” (o absoluto), el cual es predominante en los cardiomiocitos ventriculares. Este periodo surge de la inactivación de los canales de  $\text{Na}^+$  responsables de la despolarización. Gracias a este periodo, un estímulo eléctrico adicional no podrá desencadenar un nuevo potencial de acción. Este evento se extiende desde el inicio de la fase cero hasta la mitad de la fase 3. La refractariedad absoluta le proporciona al corazón seguridad eléctrica, porque impide la generación de marcapasos ectópicos que pueden llevar a arritmias.

Posteriormente se produce el periodo refractario relativo en el cual los estímulos supraumbrales pueden generar un nuevo potencial de acción. Este periodo abarca la mitad de la fase 3 y la fase 4 (6).

## Control nervioso intrínseco del corazón

A pesar de que las células cardíacas cuentan con automatismo, la actividad del corazón se encuentra regulada a nivel extrínseco por el sistema nervioso autónomo; por tal razón, el corazón recibe aferencias simpáticas y parasimpáticas.

La estimulación simpática aumenta el número de latidos por minuto (cronotropismo positivo) así como la fuerza de contracción (inotropismo positivo) y en consecuencia aumenta el gasto cardíaco.

La ruta simpática que se dirige hacia el corazón se origina en los cuerpos neuronales ubicados en el asta intermedio lateral de los primeros 5 segmentos torácicos de la médula espinal. Las fibras nerviosas preganglionares se extienden desde esta posición hasta los ganglios nerviosos de la cadena simpática paravertebral. Las fibras posganglionares surgen de la cadena simpática paravertebral y contribuyen a formar un plexo cardíaco en el mediastino para continuar como nervios cardíacos hacia el corazón (nodo sinusal, nodo auriculoventricular y músculo auricular y ventricular).

La estimulación parasimpática reduce el número de latidos por minuto (cronotropismo negativo) y la estimulación vagal reduce la fuerza de contracción (inotropismo negativo) en apenas un 20% a un 30% (2).

La ruta parasimpática inicia en los núcleos dorsales del nervio vago que se encuentran a cada lado del bulbo raquídeo formando las fibras preganglionares que se extienden hacia el plexo cardíaco, y continúan hacia el corazón por los nervios cardíacos. Luego hacen sinapsis con las neuronas posganglionares en la superficie epicárdica y en la pared cardíaca. Las fibras posganglionares inervan al nodo sinusal y al nodo auriculoventricular. Hay poca inervación en el miocardio, por lo cual los efectos del sistema nervioso parasimpático son mayores en la frecuencia cardíaca y menores sobre la fuerza de contracción.

La siguiente tabla muestra efectos simpáticos sobre receptores beta-adrenérgicos del corazón, por acción de la adrenalina, y efectos parasimpáticos sobre receptores colinérgicos del corazón por acción de la acetilcolina, en las estructuras cardíacas más representativas:

Tabla 1.1. Efectos simpáticos y parasimpáticos sobre las estructuras cardíacas

Nombre zona cardíaca	Función	Efecto beta-adrenérgico	Efecto colinérgico
Nodo sinusal	Marcapaso primario	Inotropismo y cronotropismo positivos	Inotropismo y cronotropismo negativos
Músculo auricular	Expulsa sangre desde aurículas hasta ventrículos	Inotropismo positivo	Escaso efecto
Nodo auriculoventricular	Marcapaso secundario	Inotropismo y cronotropismo positivos	Inotropismo y cronotropismo negativos

Continúa en la siguiente página.

Nombre zona cardíaca	Función	Efecto beta-adrenérgico	Efecto colinérgico
Músculo ventricular	Expulsa sangre desde los ventrículos hacia los grandes vasos	Inotropismo positivo	Escaso efecto
Fibras de Purkinje	Marcapaso terciario	Cronotropismo positivo	Cronotropismo negativo

Fuente: elaborado y adaptado por los autores con base en Boron W, Boulpaep E. Sistema cardiovascular.

El efecto inotrópico de las hormonas adrenalina y noradrenalina se produce gracias a su acción sobre los receptores adrenérgicos B1, mientras que el efecto colinérgico de la acetilcolina se produce debido a su acción sobre los receptores colinérgicos de tipo muscarínico M2 localizados en las células marcapaso (7,8).

Es importante tener en cuenta que además del control extrínseco por parte del sistema nervioso autónomo parasimpático otros factores como la hipoxia, la acidosis y la hipercapnia también reducen la contractilidad cardíaca.

## Regulación química de la frecuencia cardíaca

Cambios en la concentración de iones pueden modificar la contractilidad del corazón, por ejemplo, el exceso de potasio (hiperpotasemia) hace que el corazón se vuelva flácido y reduce la frecuencia cardíaca, como consecuencia se disminuye la contractilidad del corazón. El descenso en la concentración de iones de calcio (hipocalcemia) hacen que el corazón se vuelva flácido y el exceso de calcio (hipercalcemia) hace que el corazón realice contracciones espásticas.

## Regulación hormonal del corazón

El corazón no solamente es sensible a estímulos provenientes del sistema nervioso, también responde a estímulos hormonales como la hormona de crecimiento humano (somatotropina), hormonas tiroideas (triyodotironina, tetrayodotironina), hormona paratiroidea, cortisol e insulina. Sus efectos se describen a continuación (9):

- *Hormona somatotropina u hormona de crecimiento humano*: regula el crecimiento del corazón, así como su función. Deficiencias de esta hormona conducen a la reducción del grosor de la pared ventricular

izquierda, con la consecuente reducción del volumen sistólico. Niveles altos producen hipertrofia ventricular y disfunción diastólica.

- *Hormonas tiroideas (triyodotironina y tetrayodotironina)*: aumentan la expresión de receptores Beta 1 adrenérgicos, por lo tanto, potencian los efectos de las catecolaminas. Pacientes con hipertiroidismo pueden presentar palpitaciones, taquicardia sinusal, fibrilación auricular, mientras que pacientes hipotiroideos pueden cursar con bradicardia y deterioro de la función diastólica ventricular.
- *Hormona paratiroidea (PTH)*: incide indirectamente en la función cardíaca, dado que aumenta los niveles de calcio en sangre, ión indispensable para la contracción muscular. En hiperparatiroidismo se reduce la fase de meseta y se presenta acortamiento del intervalo Q-T. En hipoparatiroidismo se presenta prolongación del QT.
- *Cortisol*: induce la síntesis de la enzima feniletanolamina-N-metiltransferasa, que convierte la noradrenalina en adrenalina, conduciendo a un mayor efecto cronotrópico positivo. El hipercortisolismo se asocia a hipertrofia ventricular izquierda y deterioro en la diástole ventricular.
- *Aldosterona*: el exceso de esta hormona produce retención de agua y sodio lo cual genera aumento en la volemia con sus consecuentes efectos cardiovasculares como hipertensión, disfunción endotelial e hipertrofia del ventrículo izquierdo.
- *Insulina*: hormona requerida para regular los niveles de glucemia. Su unión a GLUT 4 (transportador de glucosa sensible a insulina) establece una vía de ingreso de la glucosa al músculo esquelético y músculo cardíaco.

## Hemodinamia

Corresponde al estudio de las relaciones físicas entre presión, resistencia y flujo sanguíneo a lo largo del sistema cardiovascular.

Para comprender estas relaciones, se tendrá en cuenta la ley de Poiseulle:

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

Q: flujo

$\Delta P$  : diferencia de presiones entre dos puntos de un vaso sanguíneo

r4: diámetro interno del vaso sanguíneo

n: viscosidad de la sangre

L: longitud del vaso sanguíneo

Esta ley se interpreta así: cuando se bombea la sangre a través de los vasos sanguíneos, su flujo está determinado por la presión ejercida por la bomba cardíaca, así como por la resistencia de los vasos sanguíneos.

Los factores que favorecen el flujo sanguíneo son: *diferencia de presiones entre dos puntos de un vaso sanguíneo y su radio*. La relación es directamente proporcional. A mayor diferencia de presiones y a mayor radio, mayor flujo. Es importante considerar que pequeños cambios en el radio tienen un gran efecto en el flujo (10).

Los factores que influyen de forma inversamente proporcional sobre el flujo son: *viscosidad de la sangre y longitud de los vasos*. La viscosidad de la sangre es mayor con respecto a la viscosidad del agua por la presencia de células sanguíneas. La viscosidad se produce por la fuerza de fricción de la sangre dentro del vaso sanguíneo.

En cuanto a la longitud de los vasos, es importante tener en cuenta que estos están organizados en serie o en secuencia: arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas; sin embargo, la ramificación de los vasos conduce a una organización en paralelo para asegurar la irrigación de los tejidos. A mayor ramificación, mayor área de sección transversal. La velocidad de la sangre es igual al gasto cardíaco dividido por el área de sección transversal del órgano, por lo tanto, la velocidad del flujo es menor en los capilares, lo que favorece el intercambio de gases sanguíneos y nutrientes entre la sangre y los tejidos.

## Referencias bibliográficas

1. Drucker-Colin R. Fisiología Médica. 1ra Edición. México: El Manual Moderno, 2005.
2. Hall J. Guyton and Hall: Textbook of Medical Physiology. 13th Edition. Elsevier. 2016.
3. Cruz-Ortega H, Calderón-Monter F. El corazón y sus ruidos cardíacos normales y agregados. Una somera revisión del tema. Revista de la Facultad de Medicina [Internet]. 2016 [citado 8 Mar 2021]; 59(2):49-55. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422016000200049&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422016000200049&lng=es).
4. Mohrman D, Heller L. Fisiología cardiovascular. Serie Lange de Fisiología. 6ta Edición. México: Mac Graw Hill. 2006.
5. Rosero-Salazar D, Ortiz-Salazar M, Salazar L. Miocardiocitos conductores ventriculares. Revista Universidad y Salud [Internet]. 2015 [citado 8 Mar 2021]; 17(2):262-70. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v17n2/v17n2a11.pdf>

6. Walter-Boron E. Boron and Boulpaep Medical Physiology. 3rd Edition. España: Elsevier. 2017.
7. Barrett K, Barman S, Boitano S, Brooks H. Ganong: Fisiología médica. 23 Edición. España: Mc Graw Hill. 2010.
8. Farías J, Mascher D, Paredes-Carbajal M, Torres-Durán P, Juárez-Oropeza M. El marcapaso del corazón puede ser modulado por la acetilcolina mediante una vía delimitada a la membrana. Revista Educación Bioquímica [Internet]. 2010 [citado 8 Mar 2021]; 29(2):29-38. Disponible en: <https://www.mediagraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=37097>
9. Rhee S, Pearce E. Sistema endocrino y corazón: una revisión. Revista Española de Cardiología [Internet]. 2011 [citado 8 Mar 2021]; 64(3):220-231. Disponible en: <https://www.revespcardiol.org/es-sistema-endocrino-corazon-una-revision-articulo-S0300893210000813> <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2010.10.015>
10. Aaronson P, Ward J. El sistema cardiovascular en esquemas. 1ra Edición. España: Stm Editores. 2001.