

# Ciclo cardíaco

Un ciclo cardíaco incluye todos los fenómenos asociados con un latido cardíaco. Por lo tanto, un ciclo consiste en: la sístole y la diástole de las aurículas, además de la sístole y la diástole de los ventrículos. En cada ciclo cardíaco, las aurículas y ventrículos se contraen y se relajan en forma alternada, y transportan la sangre desde las áreas de menor presión hacia las de mayor presión. A medida que una cámara del corazón se contrae, la presión de la sangre que contiene aumenta.

Durante la sístole auricular, que dura aproximadamente 0,1s, las aurículas se contraen. En ese momento, los ventrículos están relajados.

1. La despolarización del nodo SA causa la despolarización auricular, evidenciada por la onda P del ECG.
2. La despolarización auricular produce la sístole auricular. A medida que la aurícula se contrae, ejerce presión sobre la sangre contenida en su interior y la impulsa hacia los ventrículos a través de las válvulas AV abiertas.
3. La sístole auricular contribuye con un volumen de 25 mL de sangre al volumen ya existente en cada ventrículo. El final de la sístole auricular también es el final de la diástole ventricular (relajación). Por lo tanto, cada ventrículo contiene 130 mL de sangre, al final de su período de relajación (diástole). Este volumen se denomina volumen de fin de diástole (VFD).
4. El complejo QRS del ECG marca el comienzo de la despolarización ventricular.

La sístole ventricular se extiende por 0,3 s, durante los cuales los ventrículos se están contrayendo. Al mismo tiempo, las aurículas están relajadas, en la diástole auricular.

5. La despolarización ventricular determina la sístole ventricular. Cuando la sístole ventricular comienza, la presión en el interior de los ventrículos aumenta e impulsa la sangre contra las válvulas AV, forzando su cierre. Durante aproximadamente 0,05 s, tanto las válvulas SL como las AV se encuentran cerradas. Éste es el período de contracción isovolumétrica. Durante este intervalo, las fibras musculares cardíacas se contraen y generan fuerza, pero no se acortan. Por ello, esta contracción es isométrica. Más aún, debido a que las cuatro válvulas están cerradas, el volumen ventricular permanece constante.
6. La contracción continua de los ventrículos provoca un rápido aumento de presión dentro de dichas cámaras. Cuando la presión del ventrículo izquierdo sobrepasa la presión aórtica y la presión del ventrículo derecho se eleva por encima de la presión del tronco pulmonar ambas válvulas SL se abren. En este punto, comienza la eyección de la sangre desde el corazón. El período en el que las válvulas SL están abiertas es el de la eyección ventricular, que dura aproximadamente 0,25 s. La presión en el ventrículo

izquierdo continúa aumentando hasta 120 mm Hg, mientras que la del ventrículo derecho llega a 25-30 mm Hg.

7. El ventrículo izquierdo eyecta casi 70 mL de sangre dentro de la aorta, y el derecho eyecta el mismo volumen en el tronco pulmonar. El volumen remanente presente en cada ventrículo al final de la sístole, de aproximadamente 60 mL, es el volumen de fin de sístole (VFS) o volumen residual. El volumen sistólico (VS o descarga sistólica), volumen eyectado en cada latido por cada ventrículo, es igual a la diferencia entre el volumen de fin de diástole y el volumen de fin de sístole:  $VS = VFD - VFS$ . En reposo, el volumen sistólico es de  $130 \text{ mL} - 60 \text{ mL} = 70 \text{ mL}$ .
8. La onda T del ECG marca el inicio de la repolarización ventricular.

Durante el período de relajación, que dura 0,4 s, tanto las aurículas como los ventrículos están relajados.

9. La repolarización ventricular determina la diástole ventricular. A medida que los ventrículos se relajan, la presión dentro de las cámaras cae, y la sangre contenida en la aorta y en el tronco pulmonar comienza a retornar hacia las regiones de menor presión en los ventrículos. Este pequeño volumen de sangre que refluye produce el cierre de las válvulas SL. La válvula aórtica se cierra a una presión de 100 mm Hg. El choque de la sangre que refluye contra las valvas cerradas de la válvula aórtica produce la onda dicrota en la curva de presión aórtica. Después de que las válvulas SL se cierran, existe un pequeño intervalo en el que el volumen ventricular no varía debido a que todas las válvulas se encuentran cerradas. Éste es el período de relajación isovolumétrica.
10. A medida que los ventrículos continúan relajándose, la presión cae rápidamente. Cuando la presión ventricular cae por debajo de la presión de las aurículas, las válvulas AV se abren y comienza el llenado ventricular. La mayor parte del llenado ventricular ocurre justo después de la apertura de las válvulas AV. En ese momento, la sangre que ha estado llegando a la aurícula durante la sístole ventricular ingresa rápidamente a los ventrículos. Al final del período de relajación, los ventrículos han llegado a las tres cuartas partes de su volumen de fin de diástole.

## **Gasto cardíaco**

El gasto cardíaco o volumen minuto es el volumen de sangre eyectado por el ventrículo izquierdo (o derecho) hacia la aorta (o tronco pulmonar) en cada minuto. El volumen minuto es igual al producto del volumen sistólico, que es el volumen de sangre eyectado por el ventrículo durante cada contracción, y la frecuencia cardíaca, el número de latidos por minuto. Los factores que incrementan el volumen

o descarga sistólica o la frecuencia cardíaca, generalmente, también aumentan el GC. La reserva cardíaca es la diferencia que existe entre el GC máximo de una persona y el de reposo.

**Regulación del gasto cardíaco:** Tres factores regulan el volumen sistólico y aseguran que los ventrículos derecho e izquierdo bombeen el mismo volumen de sangre:

**Precarga:** Una precarga (estiramiento) mayor en las fibras musculares cardíacas antes de la contracción aumenta su fuerza de contracción. Dentro de ciertos límites, cuanto más se llene de sangre el corazón durante la diástole, mayor fuerza de contracción ejercerá durante la sístole. Esta relación se conoce con el nombre de ley de Frank-Starling del corazón. La precarga es proporcional al volumen de fin de diástole (VFD) el volumen de sangre que llena los ventrículos al finalizar la diástole. Normalmente, a mayor VFD, mayor es la fuerza que desarrollará el corazón en la siguiente contracción.

Dos son los principales factores determinantes del VFD: 1) la duración de la diástole ventricular y 2) el retorno venoso, volumen de sangre que retorna al ventrículo derecho. Cuando aumenta la frecuencia cardíaca, la diástole se acorta. Menor tiempo de llenado significa menor VFD, y los ventrículos se contraen antes de que estén adecuadamente llenos. Por el contrario, cuando aumenta el retorno venoso, llega un mayor volumen de sangre a los ventrículos, y aumenta el VFD. Cuando la FC es mayor de los 160 lpm, el VS suele descender debido al acortamiento de la fase de llenado. A frecuencias tan rápidas, el VFD es menor y la precarga desciende.

La ley de Frank-Starling del corazón permite igualar la eyección de los ventrículos derecho e izquierdo y mantener el mismo volumen de sangre fluyendo en ambas circulaciones: la sistémica y la pulmonar.

**Contractilidad:** El segundo factor que influye sobre el volumen sistólico es la contractilidad miocárdica, la fuerza de contracción a una determinada precarga. Los agentes que incrementan la contractilidad se denominan agentes inotrópicos positivos y aquellos que la disminuyen, agentes inotrópicos negativos. Por lo tanto, para una precarga constante, el volumen sistólico aumenta cuando una sustancia inotrópica positiva está presente. Los agentes inotrópicos positivos promueven la entrada de  $Ca^{2+}$  a la fibra muscular cardíaca durante los potenciales de acción, lo que aumenta la fuerza en la próxima contracción. La estimulación de la división simpática del sistema nervioso autónomo (SNA) por medio de hormonas como la adrenalina y noradrenalina, incrementa el nivel de  $Ca^{2+}$  en el líquido intersticial, y los digitálicos poseen efecto inotrópico positivo. Por el contrario, la inhibición de la

división simpática del SNA, la anoxia, la acidosis, algunos anestésicos y un aumento de los niveles de K<sup>+</sup> en el líquido intersticial tienen efecto inotrópico negativo.

**Poscarga:** La eyección de la sangre por el corazón comienza cuando la presión en el ventrículo derecho excede la presión del tronco pulmonar, y cuando la presión en el ventrículo izquierdo excede la de la aorta. En ese punto, la presión elevada de los ventrículos hace que la sangre empuje las válvulas semilunares y las abra. La presión que debe sobrepasarse para que una válvula semilunar pueda abrirse se denomina poscarga. El aumento en la poscarga causa disminución del volumen sistólico, por lo que queda más sangre en el ventrículo al finalizar la sístole.

### ***Fisiología de la presión arterial***

La sangre fluye de regiones de mayor presión a otras de menor presión; a mayor diferencia de presión, mayor flujo sanguíneo. La contracción de los ventrículos genera la tensión arterial o presión arterial (PA), la presión hidrostática ejercida por la sangre contra las paredes de los vasos sanguíneos. La PA está determinada por el gasto cardíaco, volemia y resistencia vascular que es la oposición al flujo de la sangre debido a la fricción entre la sangre y las paredes de los vasos sanguíneos. La PA es mayor en la aorta y en las grandes arterias sistémicas; en un adulto joven, en reposo, la PA asciende a 110 mm Hg durante la sístole y cae a alrededor de 70 mm Hg durante la diástole. La presión arterial sistólica es la presión sanguínea más alta alcanzada por las arterias durante la sístole, y la presión arterial diastólica es la presión sanguínea más baja durante la diástole. Conforme la sangre abandona la aorta y fluye a través de la circulación sistémica, su presión cae progresivamente a medida que la distancia al ventrículo izquierdo aumenta. La presión arterial disminuye a alrededor de 35 mm Hg cuando la sangre pasa desde las arterias sistémicas a través de las arteriolas sistémicas y a los capilares, donde las fluctuaciones de presión desaparecen. En el extremo venoso de los capilares, la presión sanguínea ha caído a alrededor de 16 mm Hg. Y continúa cayendo cuando la sangre ingresa en las vénulas sistémicas y en las venas, ya que estos vasos se encuentran más lejos del ventrículo izquierdo. Finalmente, la presión sanguínea alcanza 0 mm Hg cuando la sangre ingresa al ventrículo derecho. La presión arterial media (PAM), la presión sanguínea promedio en las arterias, está aproximadamente a un tercio de camino entre las presiones diastólica y sistólica. Si el gasto cardíaco aumenta debido a un incremento en la frecuencia cardíaca o en el volumen sistólico, entonces la presión arterial media aumenta mientras la resistencia se mantenga constante. Asimismo, la disminución en el gasto cardíaco causa disminución en la presión arterial media, si la resistencia no cambia. La presión arterial también depende del volumen total de sangre en el aparato circulatorio.