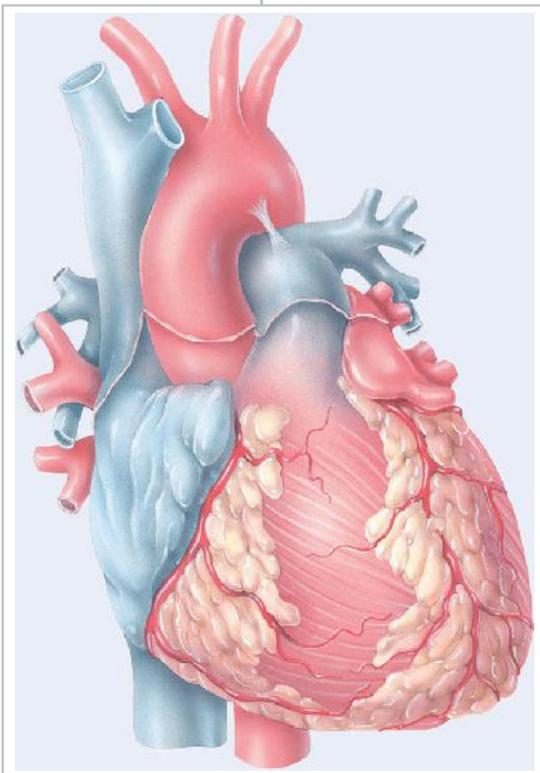


20

APARATO CARDIOVASCULAR: EL CORAZÓN

EL CORAZÓN Y LA HOMEOSTASIS *A través de los vasos sanguíneos, el corazón bombea sangre hacia todos los tejidos del organismo.*



Como vimos en el capítulo anterior, el **aparato cardiovascular** está formado por la sangre, el corazón y los vasos sanguíneos. También analizamos la composición y las funciones de la sangre, y en este capítulo usted aprenderá sobre la bomba que la hace circular por todo el organismo: el corazón. Para que la sangre alcance las células del cuerpo e intercambie sustancias con ellos, debe ser bombeada constantemente por el corazón. El corazón late unas 100 000 veces por día, lo que suma 35 millones de latidos por año y 2 500 millones de veces en toda una vida. El lado izquierdo del corazón bombea sangre hacia unos 120 000 km de vasos sanguíneos, que es el equivalente a viajar 3 veces alrededor del mundo. El lado derecho del corazón bombea sangre hacia los pulmones, permitiendo que recoja oxígeno y descargue dióxido de carbono. Aun cuando usted duerme, su corazón late 30 veces su propio peso cada minuto, que representa unos 5 litros hacia los pulmones y el mismo volumen hacia el resto del cuerpo. Esto significa que su corazón bombea más de 14 000 litros de sangre por día o 5 millones de litros por año. Usted no pasa todo el tiempo durmiendo, y su corazón bombea más vigorosamente cuando se encuentra activo. Así, el volumen real de sangre que bombea su corazón durante el día es mayor.

El estudio científico del corazón sano y las enfermedades asociadas se denomina **cardiología**. Este capítulo explora la estructura del corazón y las propiedades únicas que le permiten bombear toda la vida sin descanso.



¿Alguna vez pensó acerca de las diferencias entre el colesterol "bueno" y el "malo"?

20.1 ANATOMÍA DEL CORAZÓN

OBJETIVOS

- Describir la ubicación del corazón.
- Describir las estructuras del pericardio y de la pared cardíaca.
- Examinar la anatomía interna y externa de las cámaras cardíacas.
- Relacionar el espesor de las cámaras cardíacas con sus funciones.

Localización del corazón

Si se considera la importancia de su función, el **corazón** es un órgano relativamente pequeño, casi del mismo tamaño (pero no de la misma forma) que un puño cerrado. Mide alrededor de 12 cm de largo, 9 cm en su punto más ancho y 6 cm de espesor, con un peso promedio de 250 g en mujeres adultas y de 300 g en hombres adultos. El corazón se apoya en el diafragma, cerca de la línea media de la cavidad torácica (recuerde que la línea media es una línea vertical imaginaria que divide el cuerpo en lados derecho e izquierdo, desiguales) y se encuentra en el **mediastino**, una masa de tejido que se extiende desde el esternón hasta la columna vertebral, desde la primera costilla hasta el diafragma y entre los pulmones (Figura 20.1a). Aproximadamente dos tercios del corazón se encuentran a la izquierda de la línea media del cuerpo (Figura 20.1b). Se puede imaginar al corazón como un cono que yace de lado. El **vértice** o punta (ápex) está formada por el ventrículo izquierdo (una de las cámaras inferiores del corazón) y descansa sobre el diafragma. Se dirige hacia adelante, hacia abajo y hacia la izquierda. La **base del** corazón es su superficie posterior. Está formada por las aurículas (las cámaras inferiores), principalmente la aurícula izquierda.

Además de la base y el ápex, el corazón tiene diferentes caras y bordes (márgenes). La **cara anterior** se ubica detrás del esternón y las costillas. La **cara inferior** es la que se encuentra entre el vértice y el borde derecho y descansa principalmente sobre el diafragma (Figura 20.1b). El borde derecho mira hacia el pulmón derecho y se extiende desde la cara inferior hasta la base; contacta con el pulmón derecho y se extiende desde la superficie inferior hasta la base. El **borde izquierdo**, también denominado *borde pulmonar*, mira hacia el pulmón izquierdo y se extiende desde la base hasta el ápice.



CORRELACIÓN CLÍNICA | Reanimación cardiopulmonar

Como el corazón se encuentra entre dos estructuras rígidas —la columna vertebral y el esternón (Figura 20.1a)— la presión externa aplicada sobre el tórax (compresión) puede emplearse para forzar la salida de la sangre del corazón hacia la circulación. En los casos en que el corazón deja de latir súbitamente, la **reanimación cardiopulmonar (RCP)** (compresiones cardíacas correctamente aplicadas junto con la realización de ventilación artificial de los pulmones por medio de la respiración boca a boca), salva vidas. La RCP permite mantener la circulación de la sangre oxigenada hasta que el corazón vuelva a latir.

En un estudio realizado en Seattle en 2000, los investigadores hallaron que las compresiones torácicas solas son igualmente efectivas, y aun más, que la RCP tradicional con ventilación pulmonar. Esto es una buena noticia, ya que es más fácil para el personal sanitario a cargo de la emergencia brindar instrucciones a los asustados espectadores no médicos, si estas se limitan a la compresión torácica. Puesto que el temor público a contraer enfermedades contagiosas, como HIV, hepatitis y tuberculosis sigue en aumento, es mucho más probable que los circunstanciales espectadores realicen solamente compresiones torácicas y que eviten el tratamiento que incluye respiración boca a boca.

Pericardio

El **pericardio** (peri-, de *perí*, alrededor) es una membrana que rodea y protege el corazón; lo mantiene en su posición en el mediastino y, a la vez, otorga suficiente libertad de movimientos para la contracción rápida y vigorosa. El pericardio se divide en dos partes principales: 1) el pericardio fibroso y 2) el pericardio seroso (Figura 20.2a). El **pericardio fibroso** es más superficial y está compuesto por tejido conectivo denso, irregular, poco elástico y resistente. Es semejante a un saco que descansa sobre el diafragma y se fija en él. Sus bordes libres se fusionan con el tejido conectivo de los vasos sanguíneos que entran y salen del corazón. El pericardio fibroso evita el estiramiento excesivo del corazón, provee protección y sujeta el corazón al mediastino. El pericardio fibroso, cerca de la punta del corazón, está parcialmente fusionado con el tendón central del diafragma y, por lo tanto, cuando éste se mueve, en el caso de una respiración profunda, facilita el flujo de la sangre en el corazón.

El **pericardio seroso** es más profundo, más delgado y delicado, y forma una doble capa alrededor del corazón (Figura 20.2a). La **capa parietal** externa del pericardio seroso se fusiona con el pericardio fibroso. La **capa visceral** interna, también denominada **epicardio** (epi-, de *epí*, sobre), es una de las capas de la pared cardíaca y se adhiere fuertemente a la superficie del corazón. Entre las capas visceral y parietal del pericardio seroso, se encuentra una delgada película de líquido seroso. Esta secreción lubricante, producida por las células pericárdicas y conocida como **líquido pericárdico**, disminuye la fricción entre las hojas del pericardio seroso cuando el corazón late. Este espacio que contiene unos pocos mililitros de líquido pericárdico se denomina **cavidad pericárdica**.



CORRELACIÓN CLÍNICA | Pericarditis

La inflamación del pericardio se denomina **pericarditis**. La variedad más común es la **pericarditis aguda**, que comienza bruscamente y, en la mayoría de los casos, no tiene una causa conocida, aunque algunas veces puede relacionarse con infecciones virales. Como resultado de la irritación del pericardio, se produce un dolor torácico que puede extenderse hasta el hombro y miembro superior izquierdos (que a veces se confunde con un infarto de miocardio), y se genera el **frote pericárdico** (sonido crujiente, audible con el estetoscopio, producido por el roce entre las capas visceral y parietal del pericardio seroso). La pericarditis aguda dura habitualmente una semana y se trata con fármacos que disminuyen el dolor y la inflamación, como el ibuprofeno o la aspirina.

La **pericarditis crónica** comienza gradualmente y su duración es prolongada. En una de sus variantes, se acumula líquido en la cavidad pericárdica. Si la cantidad de líquido acumulado es importante, se produce un cuadro potencialmente mortal, conocido como **taponamiento cardíaco**, en el que el líquido pericárdico comprime el corazón. Como resultado de dicha compresión, se producen descenso del llenado ventricular, disminución del retorno venoso y del volumen sistólico, caída de la tensión arterial y dificultad para respirar. En la mayoría de los casos, la causa de la pericarditis crónica con taponamiento cardíaco es desconocida, pero en algunas ocasiones puede ser provocada por enfermedades como el cáncer y la tuberculosis. El tratamiento consiste en el drenaje del líquido excesivo a través de una aguja introducida en la cavidad pericárdica.

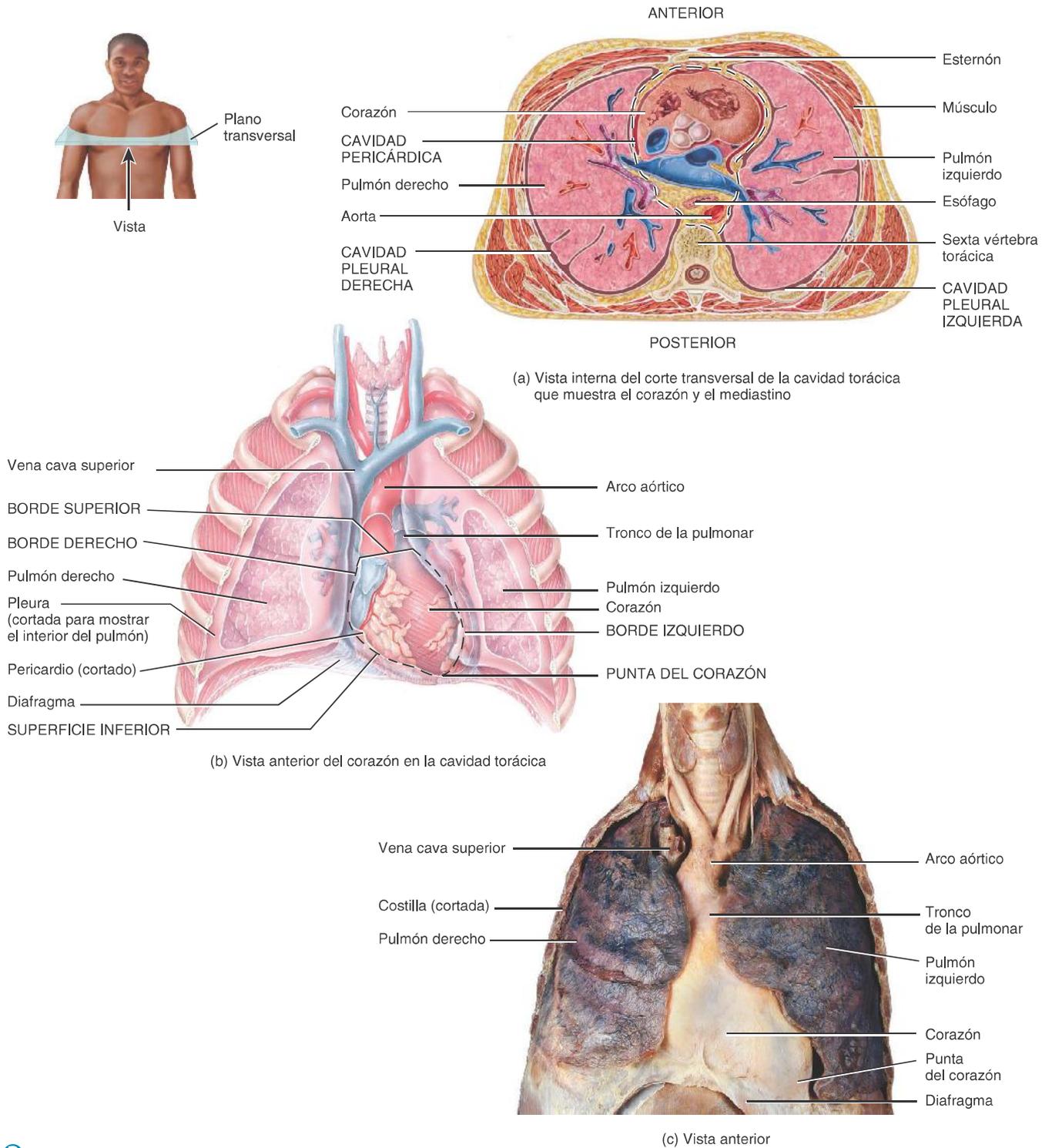
Capas de la pared cardíaca

La pared cardíaca se divide en tres capas (Figura 20.2a): el epicardio (capa externa), el miocardio (capa media) y el endocardio (capa interna). El **epicardio** está compuesto por dos planos tisulares. El más



Figura 20.1 Posición del corazón y las estructuras asociadas en el mediastino (contorno).

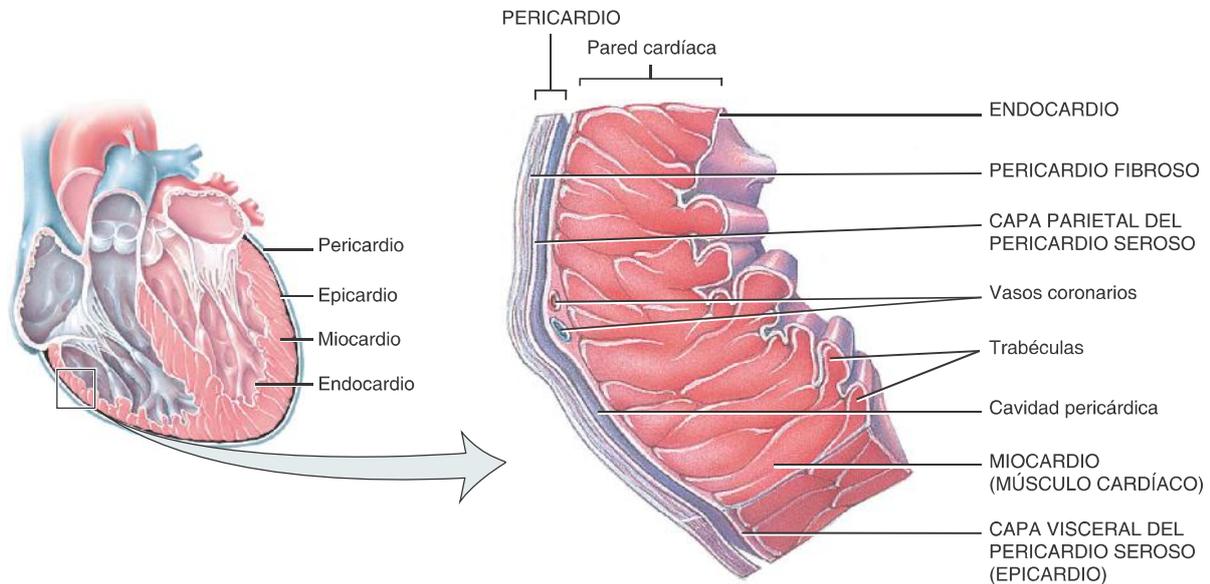
6 El corazón se encuentra en el mediastino, con las dos terceras partes de su masa a la izquierda de la línea media.



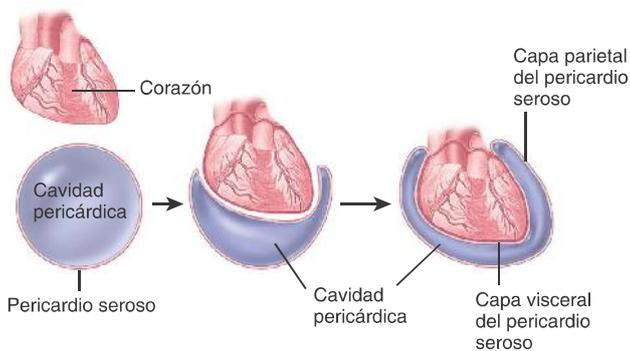
? ¿Qué es el mediastino?

Figura 20.2 Pericardio y pared cardíaca.

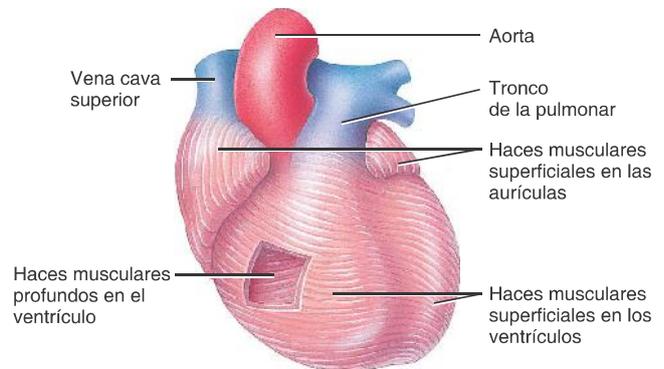
 El pericardio es un saco compuesto por tres capas que rodea y protege el corazón.



(a) Porción del pericardio y de la pared ventricular derecha, con las divisiones del pericardio y las capas de pared cardíaca



(b) Relaciones simplificadas del pericardio seroso con el corazón



(c) Haces del músculo cardíaco

? ¿Qué capa (estructura) forma parte tanto del pericardio como de la pared cardíaca?

externo es una lámina delgada y transparente que también se conoce como *capa visceral del pericardio seroso* y está formada por mesotelio. Debajo del mesotelio, existe una capa variable de tejido fibroelástico y tejido adiposo. El tejido adiposo predomina y se engrosa sobre las superficies ventriculares, donde rodea las arterias coronarias principales y los vasos cardíacos. La cantidad de grasa varía de persona a persona; se corresponde con la extensión de la grasa general de cada uno y, generalmente, aumenta con la edad. El epicardio le da una textura suave a la superficie externa del corazón. El epicardio contiene vasos sanguíneos, linfáticos y vasos que irrigan el miocardio.

El **miocardio** (*myós-*, músculo), tejido muscular cardíaco, confiere volumen al corazón y es responsable de la acción de bombeo. Representa el 95% de la pared cardíaca. Las fibras musculares (células), al igual que las del músculo estriado esquelético, están envueltas y rodeadas por tejido conectivo compuesto por endomisio y perimisio. Las fibras del músculo cardíaco están organizadas en haces que se dirigen en sentido diagonal alrededor del corazón y generan la poderosa acción de bombeo (Figura 20.2c). Aunque es estriado como el músculo esquelético, recuerde que el músculo cardíaco es involuntario como el músculo liso.



La capa más interna, el **endocardio** (*éndon-*, dentro), es una fina capa de endotelio que se encuentra sobre una capa delgada de tejido conectivo. Formando una pared lisa, tapiza las cámaras cardíacas y recubre las válvulas cardíacas. El endotelio minimiza la superficie de fricción cuando la sangre pasa por el corazón y se continúa con el endotelio de los grandes vasos que llegan y salen del corazón.

CORRELACIÓN CLÍNICA | Miocarditis y endocarditis

La **miocarditis** es una inflamación del miocardio que se produce, generalmente, como consecuencia de infecciones virales, fiebre reumática, exposición a radiaciones o a determinadas sustancias químicas y medicamentos. La miocarditis cursa, la mayoría de las veces, sin síntomas. Sin embargo, si éstos aparecen, pueden incluir: fiebre, cansancio, dolor torácico inespecífico, ritmo cardíaco rápido o irregular, artralgias y disnea. En general, la miocarditis es un cuadro leve y la recuperación se produce en dos semanas. Los casos graves pueden conducir a la insuficiencia cardíaca y a la muerte. El tratamiento consiste en evitar ejercicios vigorosos, una dieta hiposódica, monitorización electrocardiográfica y tratamiento de la insuficiencia cardíaca. La **endocarditis** es la inflamación del endocardio y comúnmente compromete las válvulas cardíacas. La mayoría de los casos se deben a bacterias (endocarditis bacteriana). Los signos y síntomas de la endocarditis son: fiebre, soplos cardíacos, ritmo cardíaco irregular, cansancio, pérdida de apetito, sudores nocturnos y escalofríos. El tratamiento se realiza con antibióticos intravenosos.

Cámaras cardíacas

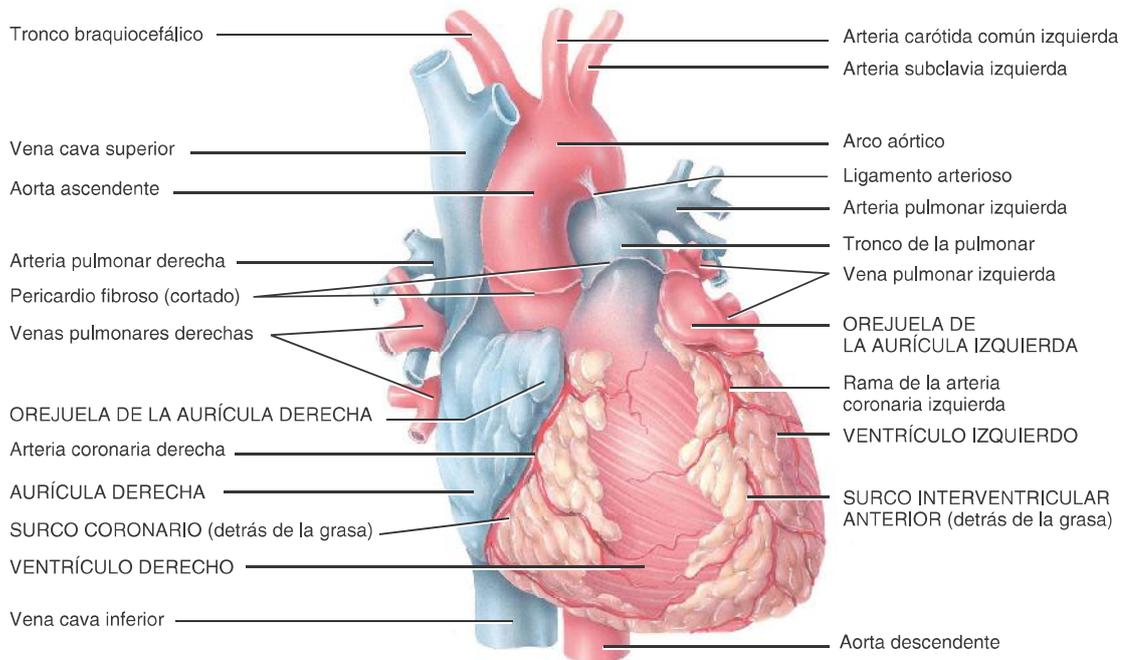
El corazón posee cuatro cámaras. Las dos cámaras superiores son las **aurículas (atrios)** y las dos inferiores los **ventrículos**. Las dos aurículas reciben la sangre de los vasos que la traen de regreso al corazón, las venas, mientras que los ventrículos la eyectan desde el corazón hacia los vasos que la distribuyen, las arterias. En la cara anterior de cada aurícula se encuentra una estructura semejante a una pequeña bolsa denominada **orejuela** (debido a su parecido con las orejas de un perro) (Figura 20.3). Cada orejuela aumenta ligeramente la capacidad de las aurículas, lo que les permite a éstas recibir un volumen de sangre mayor. Además, en la superficie del corazón existe una serie de **surcos** que contienen vasos coronarios y una cantidad variable de grasa. Cada surco marca el límite externo entre dos cámaras cardíacas. El **surco coronario** (de forma circular o de corona) profundo rodea a casi todo el corazón y limita dos sectores: el sector auricular (superior) y el ventricular (inferior). El **surco interventricular anterior** es una hendidura poco profunda, ubicada en la cara anterior del corazón, que marca el límite entre el ventrículo derecho y el izquierdo. Se continúa en la cara posterior como **surco interventricular posterior**, delimitando ambos ventrículos en la parte posterior del corazón (Figura 20.3c).

Aurícula derecha

La **aurícula derecha** (atrio derecho) recibe sangre de tres venas: la **vena cava superior**, la **vena cava inferior** y el **seno coronario** (Figura

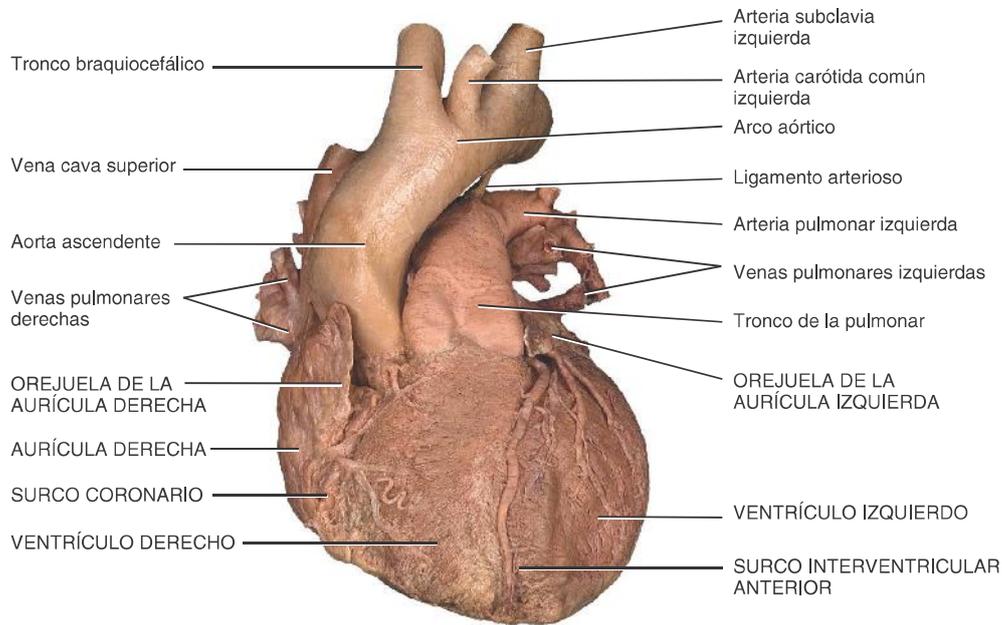
Figura 20.3 Estructura del corazón: configuración superficial. Los vasos sanguíneos que transportan sangre oxigenada (de color rojo brillante) han sido pintados de color rojo, mientras que aquellos que transportan sangre no oxigenada (de color rojo oscuro) han sido pintados de color azul.

Los surcos son hendiduras que contienen vasos sanguíneos y grasa, y marcan los límites entre las diferentes cámaras cardíacas.

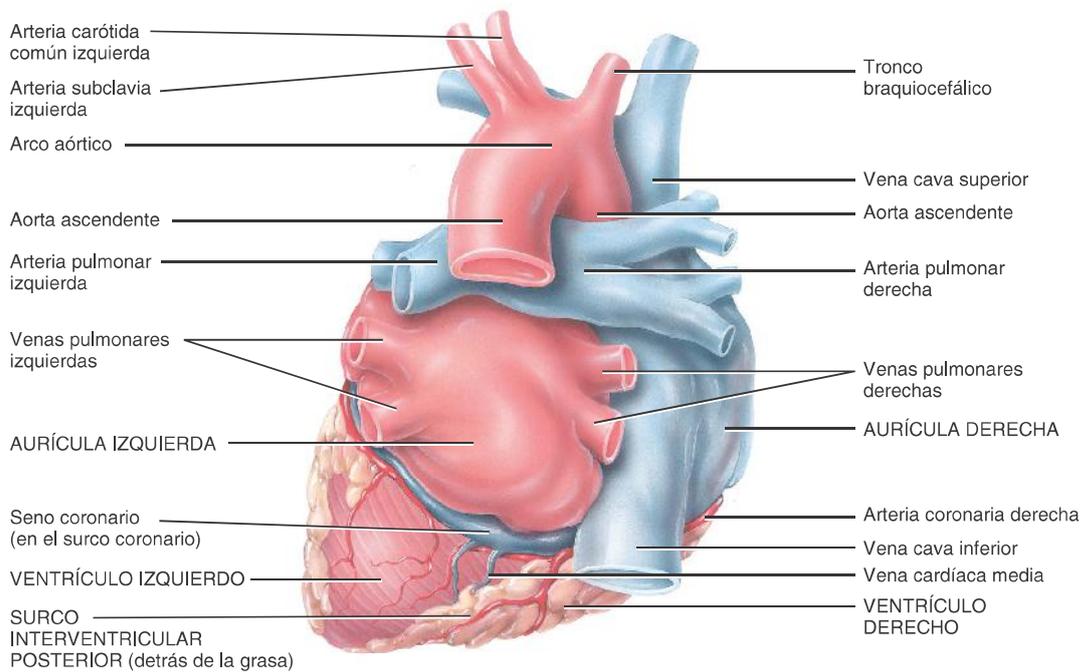


(a) Vista anterior externa que muestra las características superficiales

FIGURA 20.3 CONTINUACIÓN ▶



(B) Vista externa anterior



(c) Vista posterior externa que muestra las características superficiales

¿Cuáles son las cámaras cardíacas delimitadas por el surco coronario?



20.4a). (Las venas siempre llevan sangre al corazón). Las paredes de la aurícula derecha tienen un espesor promedio de 2 a 3 mm. Las paredes anterior y posterior de la aurícula derecha difieren mucho entre sí. La pared posterior es lisa; la pared anterior es trabeculada, debido a la presencia de crestas musculares denominadas **músculos pectíneos**, que también se extienden dentro de la orejuela (Figura 20.4b). Entre la aurícula derecha y la izquierda se encuentra un tabique delgado, denominado **septum** o **tabique interauricular** (*inter-*, entre). Una formación anatómica importante de este tabique es la **fosa oval**, depresión oval remanente del *foramen ovale*, una comunicación interauricular en el corazón fetal que normalmente se cierra luego del nacimiento (véase la Figura 21.30). La sangre pasa desde la aurícula derecha hacia el ventrículo derecho a través de una válvula, la **válvula tricúspide**, que posee tres valvas o cúspides (Figura 20.4a). También se denomina **válvula auriculoventricular** o **atrioventricular** derecha. Las válvulas cardíacas están compuestas de tejido conectivo denso, cubierto por endocardio.

Ventrículo derecho

El **ventrículo derecho** tiene una pared de entre 4 y 5 mm, y forma la mayor parte de la cara anterior del corazón. En su interior, contiene una serie de relieves constituidos por haces de fibras musculares cardíacas denominadas **trabéculas carnosas** (véase la Figura 20.2a). Algunas de estas trabéculas contienen fibras que forman parte del sis-

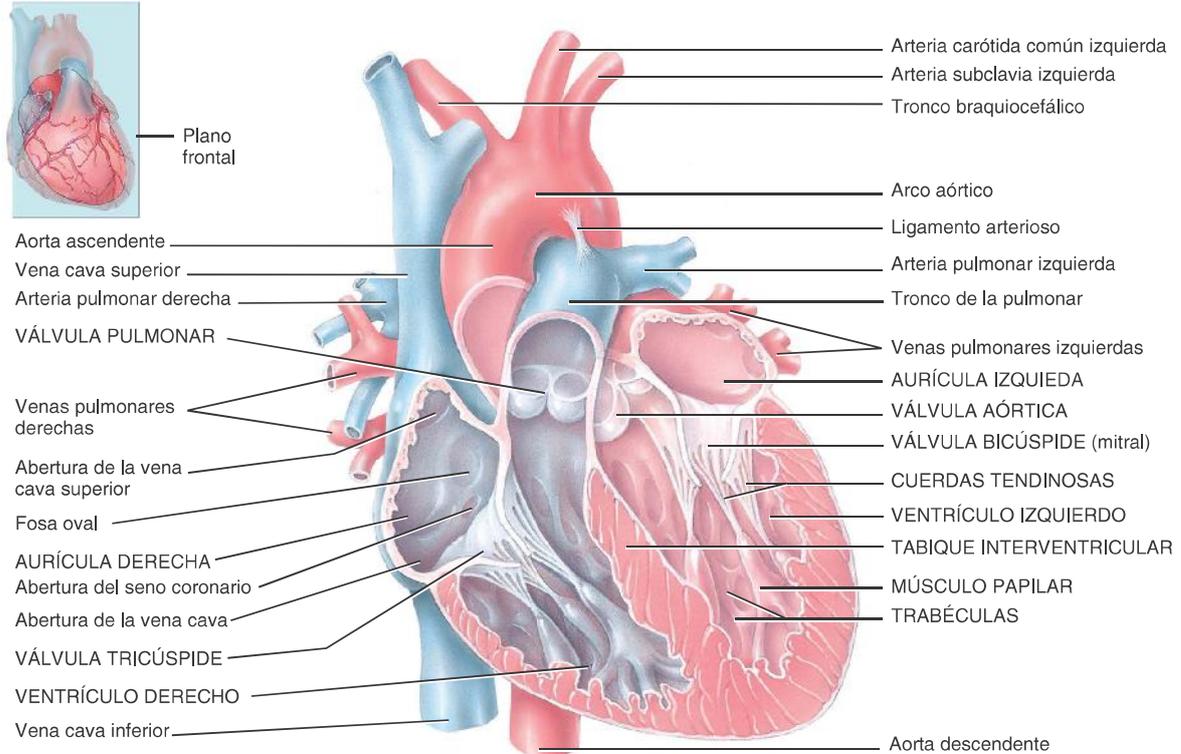
tema de conducción cardíaco, que se verá más adelante en este capítulo (véase la Sección 20.3). Las cúspides o valvas de la válvula tricúspide se conectan mediante cuerdas de apariencia tendinosa, las **cuerdas tendinosas**, que a su vez se conectan con trabéculas cónicas denominadas **músculos papilares** (de papilla, pezón). El ventrículo derecho se encuentra separado del ventrículo izquierdo por el **septum** o **tabique interventricular**. La sangre pasa desde el ventrículo derecho, a través de la **válvula pulmonar**, hacia una gran arteria, el *tronco pulmonar*, que se divide en las *arterias pulmonares* derecha e izquierda que transportan la sangre hacia los pulmones. Las arterias siempre llevan la sangre fuera del corazón.

Aurícula izquierda

La **aurícula izquierda** (atrio izquierdo) forma la mayor parte de la base del corazón (véase la Figura 20.4a). Recibe sangre proveniente de los pulmones, por medio de cuatro *venas pulmonares*. Al igual que la aurícula derecha, su pared posterior es lisa. La pared anterior de la aurícula izquierda también es lisa, debido a que los músculos pectíneos están confinados a la orejuela izquierda. La sangre pasa desde la aurícula izquierda al ventrículo izquierdo, a través de la **válvula bicúspide**, que, como su nombre indica, posee dos valvas o cúspides. El término *mitral* se refiere a su semejanza con una mitra de obispo (sombrero que tiene dos caras). También se la llama **válvula auriculoventricular** (atrioventricular) **izquierda**.

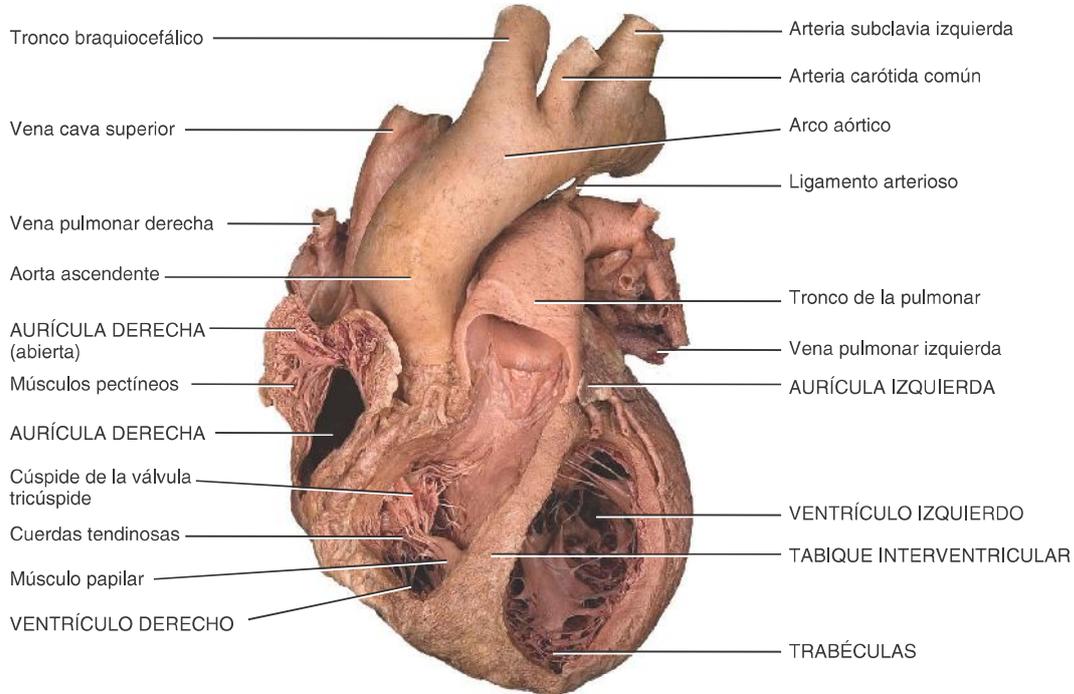
Figura 20.4 Estructura del corazón: anatomía interna.

La sangre que fluye hacia la aurícula derecha proviene de la vena cava superior, la vena cava inferior y el seno coronario; la que llega a la aurícula izquierda lo hace a través de las cuatro venas pulmonares.

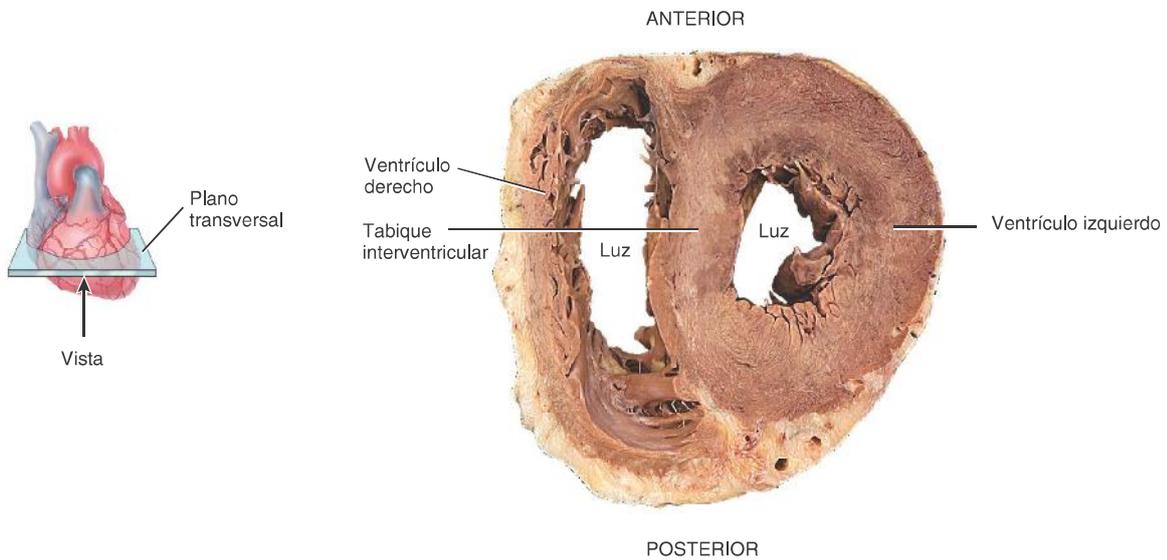


(a) Vista anterior del corte frontal que muestra la anatomía interna

FIGURA 20.4 CONTINUACIÓN



(b) Vista anterior del corazón parcialmente abierto



(c) Vista inferior de un corte transversal que muestra las diferencias en el espesor de las paredes ventriculares

¿Cómo se relaciona el espesor miocárdico de una cámara cardíaca con el trabajo que ésta debe realizar?



Ventrículo izquierdo

El **ventrículo izquierdo** tiene la pared más gruesa de las cuatro cámaras (un promedio de 10 a 15 mm) y forma el vértice o ápex del corazón (véase la **Figura 20.1b**). Al igual que el ventrículo derecho, contiene trabéculas carnosas y cuerdas tendinosas que conectan las valvas de la válvula mitral a los músculos papilares. La sangre pasa desde el ventrículo izquierdo, a través de la **válvula aórtica**, hacia la *aorta ascendente*. Parte de la sangre de la aorta ascendente se dirige hacia las *arterias coronarias*, que nacen de ella e irrigan el corazón. El resto de la sangre sigue su camino a través del *arco o cayado aórtico* y de la *aorta descendente (aorta torácica y abdominal)*. Las ramas del cayado aórtico y de la aorta descendente transportan la sangre hacia todo el organismo.

Durante la vida fetal, un vaso temporario denominado *conducto arterioso (ductus arteriosus)* transporta sangre desde la arteria pulmonar hacia la aorta. Por lo tanto, sólo una pequeña cantidad de sangre se dirige a los pulmones fetales no funcionantes (véase la **Figura 21-30**). El conducto arterioso normalmente se cierra al poco tiempo de nacer, y deja una estructura remanente conocida como **ligamento arterioso**, que conecta el arco aórtico con el tronco pulmonar (**Figura 20.4a**).

Espesor miocárdico y función

El espesor miocárdico de las cuatro cámaras varía de acuerdo con la función de cada una de ellas. Las aurículas, de paredes finas, entregan sangre a los ventrículos. Debido a que los ventrículos bombean sangre a mayores distancias, sus paredes son más gruesas (**Figura 20.4a**). A pesar de que los ventrículos derecho e izquierdo actúan como dos bombas separadas que eyectan simultáneamente iguales volúmenes de sangre, el lado derecho tiene una carga de trabajo menor. Bombea sangre que recorre una corta distancia hasta los pulmones, a menor presión y contra una menor resistencia al flujo sanguíneo. Por su parte, el ventrículo izquierdo bombea sangre hacia sectores del organismo distantes, a mayor presión y contra una mayor resistencia al flujo sanguíneo. En consecuencia, el ventrículo izquierdo realiza un trabajo

mucho más intenso que el derecho para mantener la misma velocidad de flujo sanguíneo. La anatomía de los ventrículos confirma esta diferencia funcional: la pared muscular del ventrículo izquierdo es considerablemente más gruesa que la del ventrículo derecho (**Figura 20.4c**). Además, la forma de la luz del ventrículo izquierdo es más o menos circular, mientras que la del ventrículo derecho es semilunar.

Esqueleto fibroso del corazón

Además de músculo cardíaco, la pared cardíaca también contiene tejido conectivo denso que forma el **esqueleto fibroso del corazón** (**Figura 20.5**). Esta estructura consiste, básicamente, en cuatro anillos de tejido conectivo denso que rodean las válvulas cardíacas fusionándose entre sí y uniéndolas al tabique interventricular. Al mismo tiempo que forma la base estructural de las válvulas cardíacas, el esqueleto fibroso también evita el sobreestiramiento de las válvulas al pasar la sangre a través de ellas. Asimismo, sirve como punto de inserción a los haces de fibras musculares cardíacas y como aislante eléctrico entre las aurículas y los ventrículos.

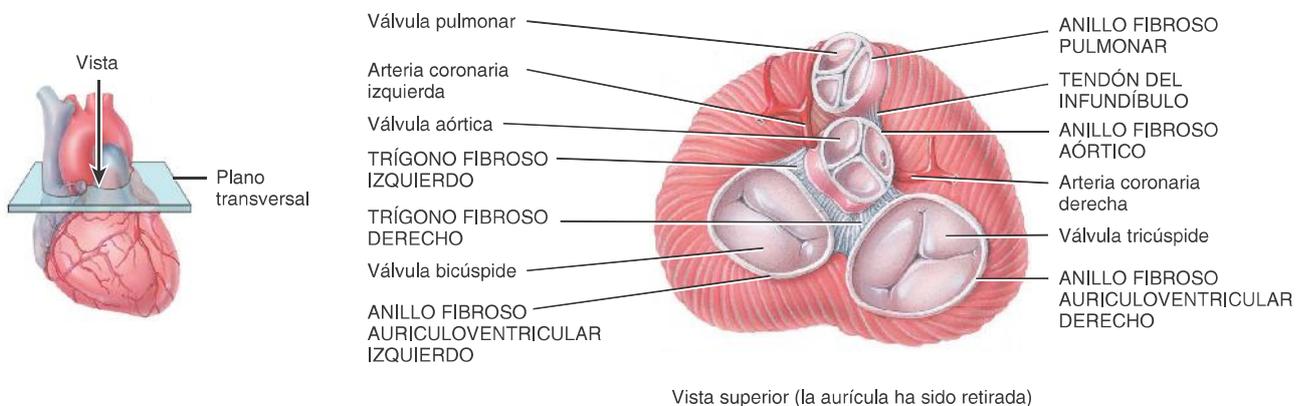
✓ PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Defina cada una de las siguientes formaciones anatómicas cardíacas externas: orejuela, surco coronario, surco interventricular anterior y surco interventricular posterior.
2. Describa la estructura del pericardio y las capas de la pared cardíaca.
3. ¿Cuáles son las características de la anatomía interna de cada cámara cardíaca?
4. ¿Qué vasos sanguíneos entregan sangre a las aurículas derecha e izquierda?
5. ¿Cuál es la relación existente entre el espesor miocárdico y la función de las diferentes cámaras cardíacas?
6. ¿Qué tipo de tejido compone el esqueleto fibroso del corazón y cómo está organizado?

Figura 20.5 Esqueleto fibroso del corazón. Los elementos del esqueleto fibroso están escritos con mayúsculas.



Los anillos fibrosos prestan soporte a las cuatro válvulas cardíacas y se fusionan entre sí.



¿De qué dos maneras contribuye el esqueleto fibroso al funcionamiento de las válvulas cardíacas?

20.2 LAS VÁLVULAS CARDÍACAS Y LA CIRCULACIÓN

OBJETIVOS

- Describir la estructura y funcionamiento de las válvulas cardíacas.
- Destacar la circulación sanguínea a través de las cámaras cardíacas y de las circulaciones pulmonar y sistémica.
- Describir la circulación coronaria.

Cuando una cámara cardíaca se contrae, eyecta un determinado volumen de sangre dentro del ventrículo o hacia una arteria. Las válvulas se abren y cierran en respuesta a los *cambios de presión*, a medida que el corazón se contrae y relaja. Cada una de las cuatro válvulas

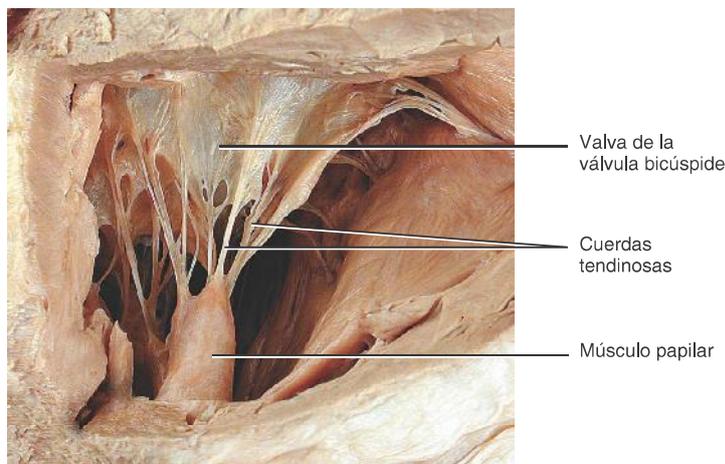
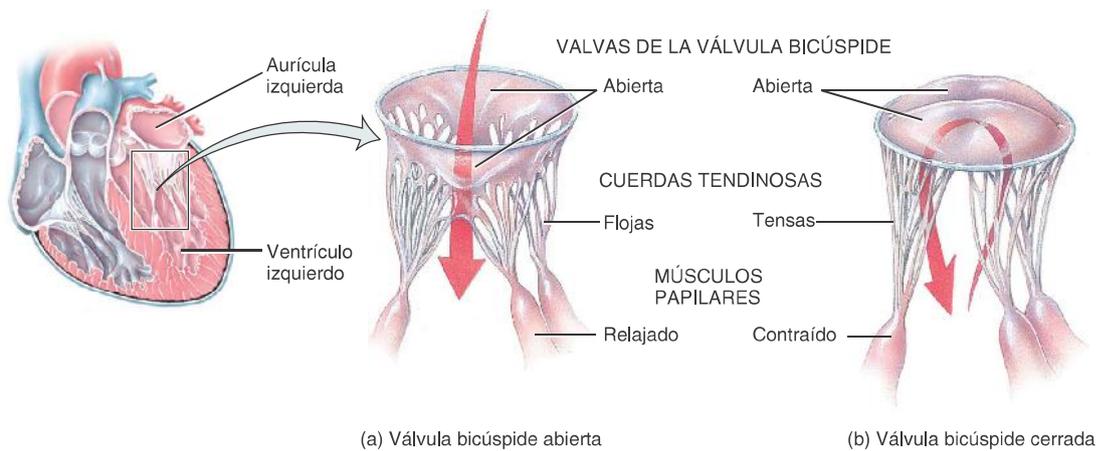
contribuye a establecer el flujo en un solo sentido, abriéndose para permitir el paso de la sangre y luego cerrándose para prevenir el reflujo.

Funcionamiento de las válvulas auriculoventriculares

Las válvulas mitral y tricúspide también reciben el nombre de válvulas **auriculoventriculares** o **atrioventriculares (AV)** debido a que se encuentran ubicadas entre una aurícula y un ventrículo. Cuando una válvula AV está abierta, los extremos de las valvas se proyectan dentro del ventrículo. Cuando los ventrículos se encuentran relajados, los músculos papilares también lo están, las cuerdas tendinosas están flojas y la sangre se mueve desde un sitio de mayor presión, la aurícula, hacia otro de menor presión, el ventrículo, gracias a que las válvulas AV están abiertas (Figuras 20.6a, d). Cuando los ventrículos se con-

Figura 20.6 Respuesta de las válvulas al bombeo cardíaco.

Las válvulas cardíacas evitan el reflujo de sangre.



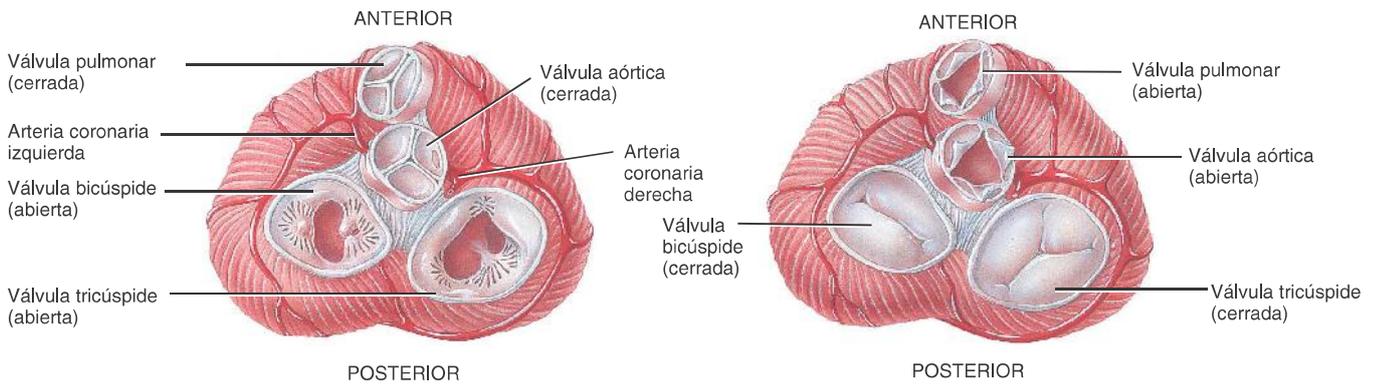
(c) Válvula tricúspide abierta



traen, la presión de la sangre empuja las valvas hacia arriba hasta que sus bordes se juntan y cierran el orificio auriculoventricular (Figuras 20.6b, e). Al mismo tiempo, los músculos papilares se contraen estirando las cuerdas tendinosas. Esto evita que las cúspides valvulares reviertan y se abran a la cavidad auricular por acción de la elevada presión ventricular. Si las cuerdas tendinosas o las válvulas AV se dañan, la sangre puede refluir hacia las aurículas durante la contracción ventricular.

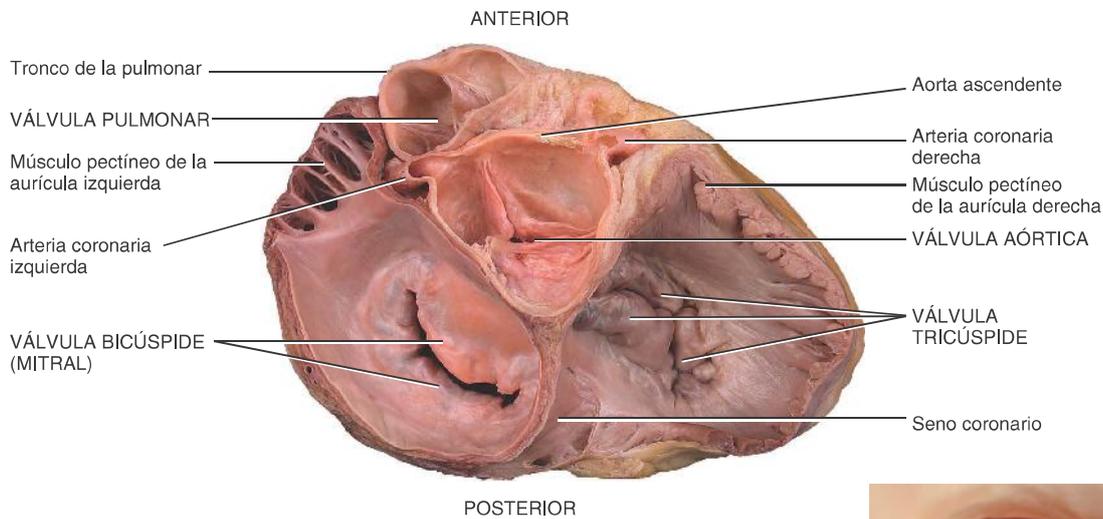
Funcionamiento de las válvulas semilunares

Las válvulas aórticas y pulmonares también se conocen como **válvulas semilunares (SL)** (*semi-*, medio; y *-lunaris*, relativo a la luna) porque que están formadas por tres valvas con aspecto de medialuna (Figura 20.6d). Cada valva se une a la pared arterial en su borde convexo externo. Las válvulas SL permiten la eyección de la sangre desde el corazón hasta las arterias, pero evitan el reflujos de sangre hacia los

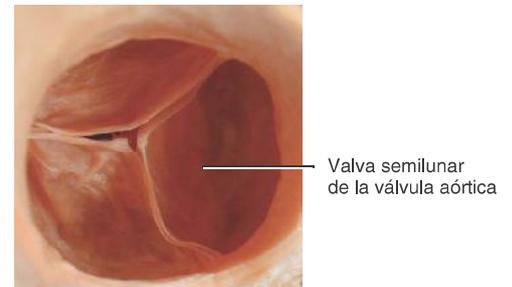


(d) Vista superior con la aurícula eliminada: las válvulas pulmonar y aórtica cerradas; las válvulas bicúspide y tricúspide abiertas

(e) Vista superior con la aurícula eliminada: las válvulas pulmonar y aórtica abiertas; las válvulas bicúspide y tricúspide cerradas



(f) Vista superior de las válvulas auriculoventriculares y semilunares



(g) Vista superior de la válvula aórtica

¿Cuál es el mecanismo por el que los músculos papilares evitan la reversión de las cúspides valvulares AV hacia el interior de las aurículas?

ventrículos. Los bordes libres de las valvas se proyectan hacia la luz de la arteria. Cuando el ventrículo se contrae, la presión aumenta dentro de las cámaras. Las válvulas SL se abren cuando la presión ventricular excede la tensión arterial permitiendo así la eyección de la sangre desde los ventrículos hacia el tronco pulmonar y la aorta (Figura 20.6e). A medida que los ventrículos se relajan, la sangre comienza a empujar las cúspides valvulares, haciendo que las válvulas semilunares se cierren y ocluyan la comunicación entre los ventrículos y las arterias (Figura 20.6d).

Sorprendentemente, no hay válvulas que resguarden los orificios de desembocadura de las venas cavas superior e inferior en la aurícula derecha o los de las venas pulmonares, en la aurícula izquierda. Cuando las aurículas se contraen, una pequeña cantidad de sangre refluye desde las aurículas hacia dichos vasos. Sin embargo, el reflujo se minimiza por medio de un mecanismo diferente: a medida que el músculo auricular se contrae, comprime y produce —casi— el colapso de los orificios de desembocadura venosos.



CORRELACIÓN CLÍNICA | Enfermedades valvulares

Cuando las válvulas cardíacas funcionan normalmente, se abren y cierran por completo en el momento correcto. La disminución en el diámetro de apertura de una válvula cardíaca se denomina **estenosis**, mientras que la falla en el cierre valvular se denomina **insuficiencia** o **incompetencia valvular**. En la **estenosis mitral**, la formación de cicatrices o defectos congénitos produce disminución de la apertura de la válvula mitral. Una causa de **insuficiencia mitral**, en la que existe regurgitación de sangre desde el ventrículo hacia la aurícula izquierda, es el **prolapso de válvula mitral (PVM)**. En el PVM, una o ambas valvas de la mitral protruyen en la cavidad auricular durante la contracción ventricular. El prolapso de válvula mitral es una de las enfermedades valvulares más comunes, que afecta a casi el 30% de la población. Es prevalente en mujeres y no siempre representa una amenaza seria para la salud. En la **estenosis aórtica**, la válvula se encuentra estrechada, mientras que en la **insuficiencia aórtica** se encuentra regurgitación de sangre desde la aorta hacia el ventrículo izquierdo. Ciertas enfermedades infecciosas pueden dañar o destruir las válvulas cardíacas. Un ejemplo de ello es la **fiebre reumática**, enfermedad sistémica inflamatoria que se presenta generalmente luego de una infección estreptocócica de la garganta. La bacteria dispara una respuesta inmune en la cual los anticuerpos producidos para destruirla terminan atacando e inflamando el tejido conectivo de articulaciones y válvulas cardíacas, entre otros órganos. A pesar de que la fiebre reumática afecta y debilita toda la pared cardíaca, daña más frecuentemente las válvulas mitral y aórtica.

Si las actividades diarias se ven afectadas por los síntomas y una válvula no puede ser reparada quirúrgicamente, deberá ser reemplazada. Los tejidos valvulares pueden sustituirse con tejidos de donantes o de cerdo; a veces se usan reemplazos mecánicos. En cualquier caso, el reemplazo valvular implica una cirugía abierta. La válvula aórtica es la que más comúnmente se reemplaza.

Circulaciones pulmonar y sistémica

Después del nacimiento, el corazón bombea sangre dentro de dos circuitos cerrados: la **circulación sistémica** (o general) y la **circulación pulmonar**. Los dos circuitos están dispuestos en serie: la salida de uno es la entrada del otro, como ocurre al unir dos mangueras (véase la Figura 21.17). El lado izquierdo del corazón es la bomba de la circulación sistémica; recibe sangre desde los pulmones, rica en oxígeno, roja brillante u *oxigenada*. El ventrículo izquierdo eyecta sangre hacia la **aorta** (Figura 20.7). Desde la aorta, la sangre se va dividiendo en diferentes flujos e ingresa en **arterias sistémicas** cada vez más pequeñas que

transportan hacia todos los órganos, exceptuando los alvéolos pulmonares, que reciben sangre de la circulación pulmonar. En los tejidos sistémicos, las arterias originan **arteriolas**, vasos de menor diámetro que finalmente se ramifican en una red de **capilares sistémicos**. El intercambio de nutrientes y gases se produce a través de las finas paredes capilares. La sangre descarga el O₂ (oxígeno) y toma el CO₂ (dióxido de carbono). En la mayoría de los casos, la sangre circula por un solo capilar y luego entra en una **vénula sistémica**. Las vénulas transportan la sangre desoxigenada (pobre en oxígeno) y se van uniendo para formar las **venas sistémicas**, de mayor tamaño. Por último, la sangre retorna al corazón, hacia la aurícula derecha.

El lado derecho del corazón es la bomba del circuito pulmonar; recibe la sangre desoxigenada, rojo oscuro, que retorna de la circulación sistémica. Esta sangre es eyectada por el ventrículo derecho y se dirige al **tronco pulmonar**, que se divide en las **arterias pulmonares**, las que transportan sangre a ambos pulmones. En los capilares pulmonares, la sangre libera el CO₂ y capta el O₂ inspirado. La sangre oxigenada fluye hacia las venas pulmonares y regresa a la aurícula izquierda, completando el circuito.

Circulación coronaria

Los nutrientes no pueden difundir lo suficientemente rápido desde la sangre de las cámaras cardíacas a todas las capas de la pared del corazón. Por ello, el miocardio posee su propia red de vasos sanguíneos: la **circulación coronaria** o **cardíaca**. Las **arterias coronarias** nacen de la aorta ascendente y rodean el corazón, como una corona que rodea una cabeza (Figura 20.8a). Cuando el corazón se contrae, fluye poca sangre por las arterias coronarias, ya que son comprimidas hasta cerrarse. Sin embargo, cuando el corazón se relaja, la elevada presión en la aorta permite la circulación de la sangre a través de las arterias coronarias hacia los capilares y luego, hacia las **venas coronarias** (Figura 20.8b).

Arterias coronarias

Las dos arterias coronarias, derecha e izquierda, nacen de la aorta ascendente y proporcionan sangre oxigenada al miocardio (Figura 20.8a). La **arteria coronaria izquierda** pasa por debajo de la orejuela izquierda y se divide en las ramas interventricular anterior y circunfleja. La **rama interventricular anterior** o **arteria descendente anterior (DA)** se encuentra en el surco interventricular anterior y proporciona sangre oxigenada a las paredes de ambos ventrículos. La **rama circunfleja** recorre el surco coronario y distribuye sangre oxigenada a las paredes del ventrículo y la aurícula izquierda.

La **arteria coronaria derecha** da pequeñas ramas a la aurícula derecha (**ramos auriculares**). Luego, discurre por debajo de la orejuela derecha y se divide en las ramas marginal e interventricular posterior. La **rama interventricular posterior (descendente posterior)** discurre por el surco interventricular posterior y provee de oxígeno a las paredes de ambos ventrículos. La **rama marginal** se encuentra en el surco coronario y transporta sangre oxigenada hacia el miocardio del ventrículo derecho.

Gran parte del cuerpo recibe sangre de ramas provenientes de más de una arteria, y en los lugares donde dos o más arterias irrigan la misma región, éstas generalmente se conectan entre sí. Estas conexiones, denominadas **anastomosis** (*anastómoosis*-, abocamiento), proporcionan rutas alternativas —que constituyen la **circulación colateral**— para que la sangre llegue a un determinado tejido u órgano. El miocardio contiene muchas anastomosis que conectan ramas de una determinada arteria coronaria entre sí o que unen ramas de arterias coronarias diferentes. Estas anastomosis representan desvíos para la sangre arterial, en el caso de que una ruta principal se obstruya. Así,



el miocardio puede recibir suficiente oxígeno, aun cuando una de sus arterias coronarias se halle parcialmente obstruida.

Venas coronarias

Una vez que la sangre pasa a través de las arterias coronarias, llega a los capilares, donde libera el oxígeno y los nutrientes al miocardio y recoge el dióxido de carbono y productos de desecho, y desde allí se dirige a las venas coronarias. La mayor parte de la sangre desoxigenada del miocardio drena en el gran *seno vascular* ubicado en el surco coronario de la cara posterior del corazón, denominado **seno**

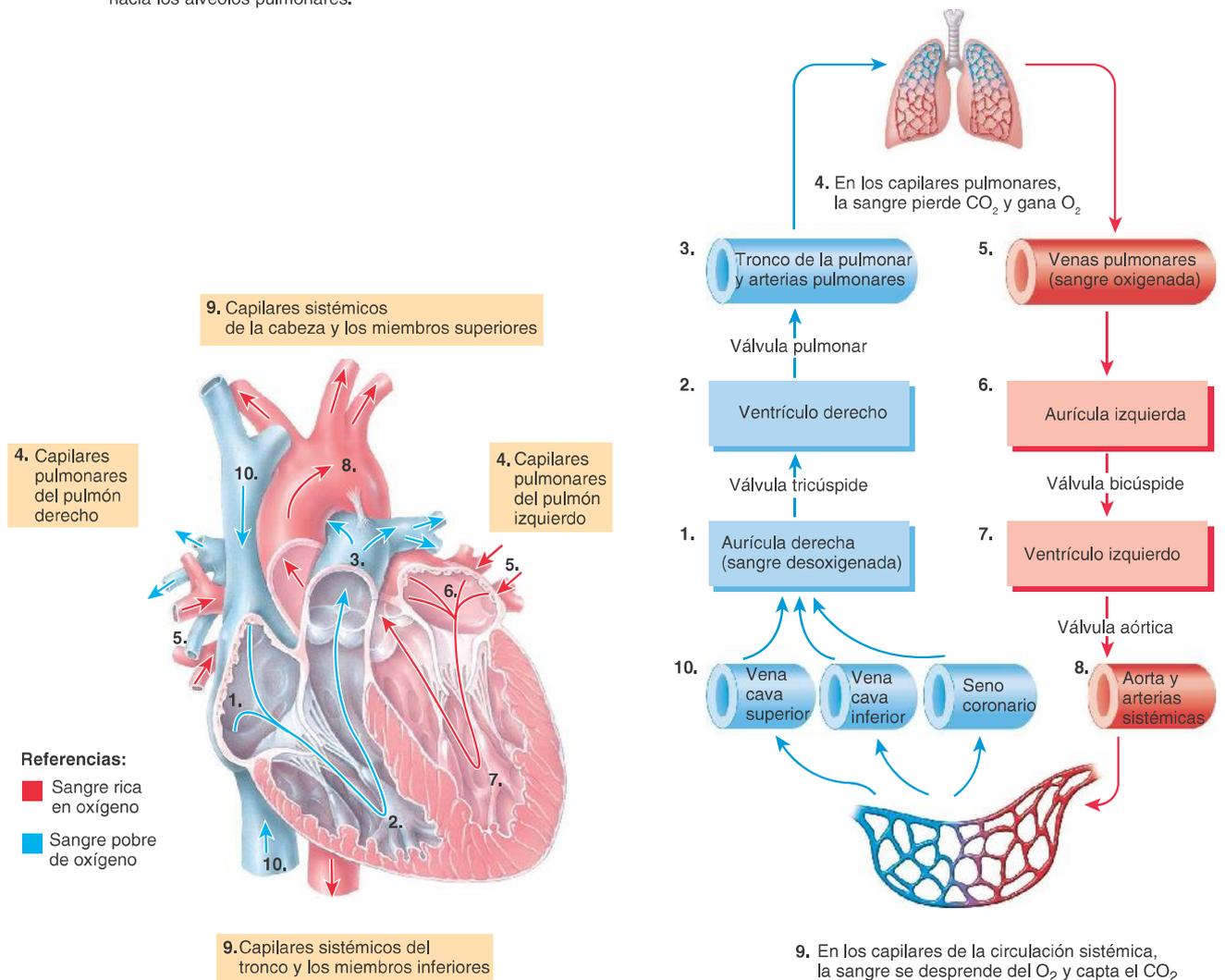
coronario (Figura 20.8b). (Un *seno vascular* es una vena con una pared delgada que carece de músculo liso, lo que le permitiría variar el diámetro.) La sangre desoxigenada del seno coronario desemboca en la aurícula derecha. Las principales venas tributarias del seno coronario son:

- **Vena cardíaca magna:** presente en el surco interventricular anterior, drena las áreas del corazón que son irrigadas por la arteria coronaria izquierda (ventrículos derecho e izquierdo y aurícula izquierda).

Figura 20.7 Sistemas de circulación: pulmonar y sistémica.



El lado izquierdo del corazón bombea la sangre oxigenada hacia la circulación sistémica para que se distribuya en los tejidos, exceptuando los alvéolos pulmonares. El lado derecho del corazón bombea la sangre desoxigenada hacia el circuito pulmonar; desde allí, es dirigida hacia los alvéolos pulmonares.

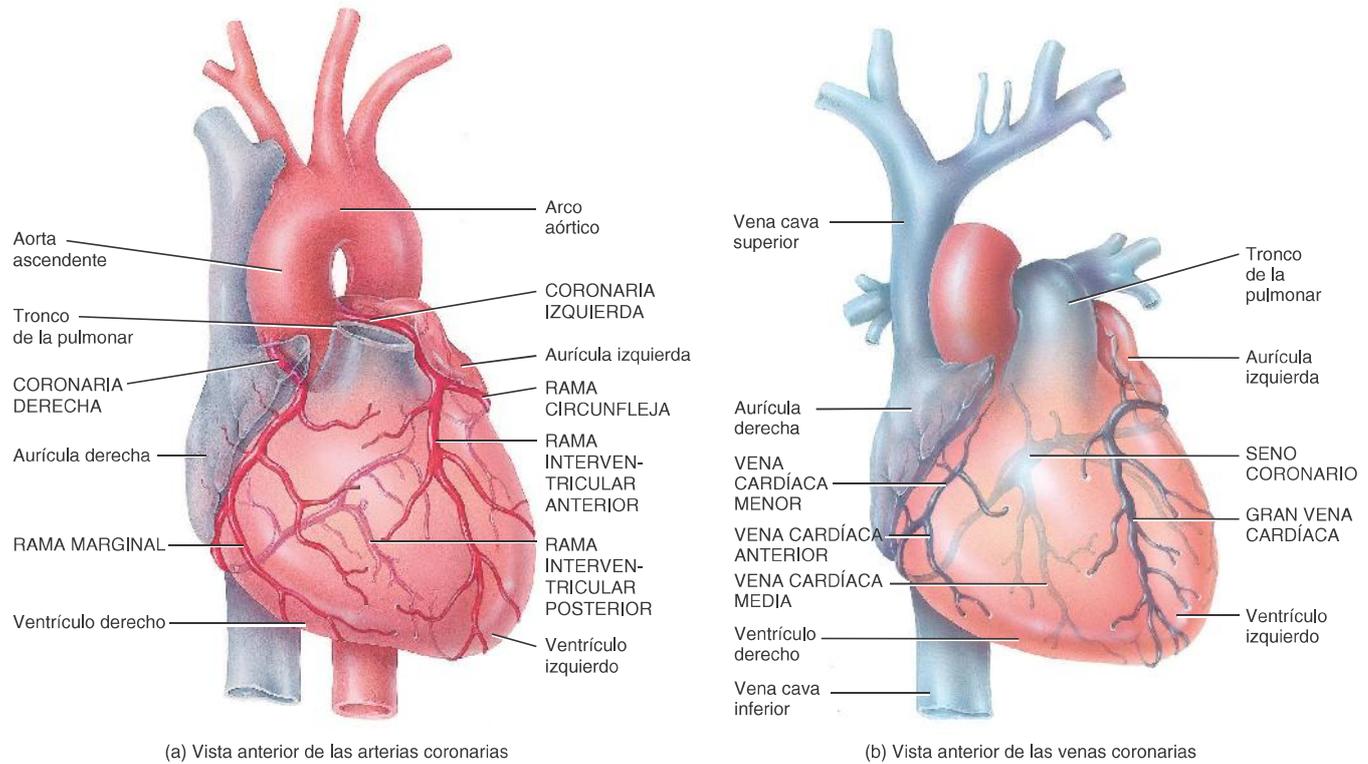


(b) Diagrama del flujo sanguíneo

¿Qué números corresponden a la circulación pulmonar? ¿Y a la circulación sistémica?

Figura 20.8 La circulación coronaria. Las vistas anteriores del corazón (a) y (b) han sido dibujadas como si éste fuera transparente, para que puedan verse los vasos sanguíneos posteriores.

 Las arterias coronarias derecha e izquierda transportan sangre hacia el corazón; las venas coronarias drenan la sangre del corazón en el seno coronario.



- **Vena cardíaca media:** discurre por el surco interventricular posterior, drena las áreas irrigadas por el ramo interventricular posterior de la arteria coronaria derecha (ventrículos derecho e izquierdo).
- **Vena cardíaca mínima:** se encuentra en el surco coronario y drena las cavidades derechas.
- **Venas cardíacas anteriores:** drenan el ventrículo derecho y desembocan directamente en la aurícula derecha.

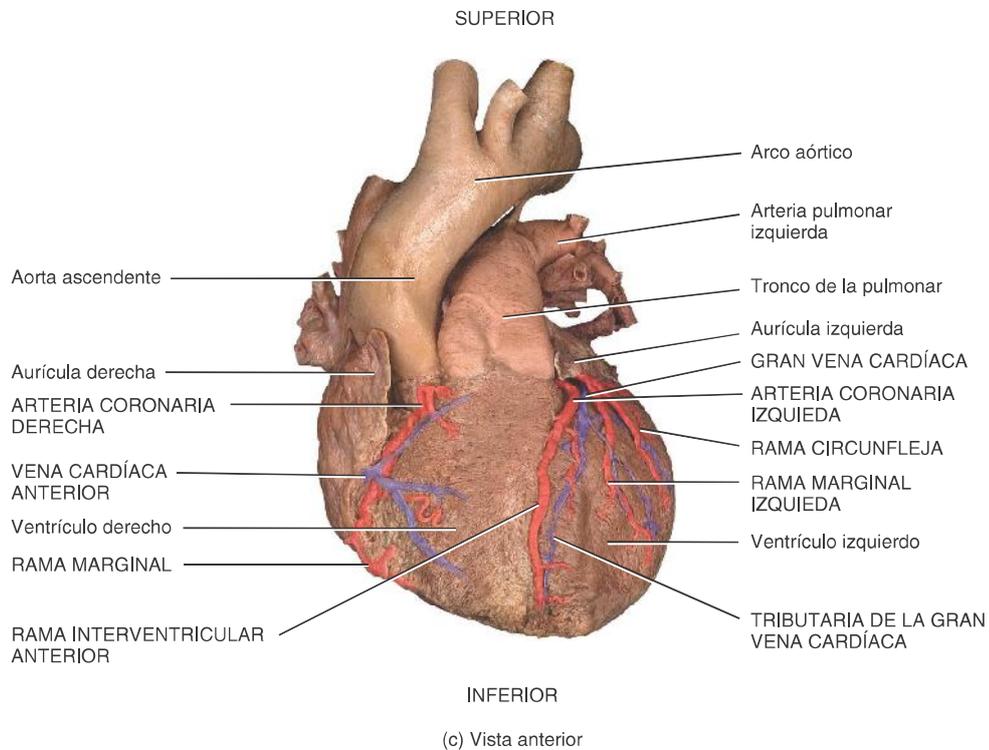
Cuando la obstrucción de una arteria coronaria priva al músculo cardíaco del aporte de oxígeno, la **reperusión** posterior (restablecimiento del flujo sanguíneo) puede generar aun mayor daño tisular. Este efecto paradójico se debe a la formación de **radicales libres** de oxígeno generados a partir del oxígeno reintroducido. Como se vio en el Capítulo 2, los radicales libres son moléculas eléctricamente cargadas que poseen un electrón desapareado (véase la **Figura 2-3b**). Estas moléculas, altamente reactivas y muy inestables, provocan reacciones en cadena que conducen al daño y a la muerte celular. Para contrarrestar los efectos de los radicales libres, las células producen enzimas que los convierten en sustancias menos reactivas. Dos de estas enzimas son la **superóxido dismutasa** y la **catalasa**. Además, ciertos nutrientes como las vitaminas C y E, los betacarotenos, el cinc y el selenio poseen funciones antioxidantes que les permiten remover los radicales libres generados por el oxígeno. Actualmente, se investigan varios fármacos que posibilitarían disminuir el daño generado por la reperfu-

sión, luego de un infarto cardíaco o de un accidente cerebrovascular isquémico.



CORRELACIÓN CLÍNICA | Isquemia miocárdica e infarto

La obstrucción parcial al flujo sanguíneo en las arterias coronarias puede causar **isquemia** (isque-, de *iskhein*, retener, y -emia, de *háima*, sangre) **miocárdica**, fenómeno en el que el flujo sanguíneo del miocardio está reducido. Habitualmente, la isquemia produce **hipoxia** (disminución del aporte de oxígeno), lo que puede debilitar las células sin matarlas. La **angina de pecho** (que significa literalmente "sensación estrangulante en el pecho") es un dolor grave que suele acompañar a la isquemia miocárdica. Típicamente, los pacientes la describen como una sensación de compresión u opresión torácica, como si el pecho estuviera en una prensa. El dolor asociado a la angina de pecho se irradia generalmente hacia el cuello, el mentón o descendiendo por el brazo izquierdo hacia el codo. La **isquemia miocárdica silenciosa**, episodio isquémico sin dolor, es particularmente peligrosa debido a que la persona no detecta el ataque cardíaco inminente. Una obstrucción completa del flujo sanguíneo en una arteria coronaria puede producir un **infarto de miocardio**, o **IM**, comúnmente



¿Cuál es la arteria coronaria que transporta sangre oxigenada hacia la aurícula y ventrículo izquierdos?

denominado *ataque cardíaco*. Un *infarto* es la muerte de un área de tejido producida por la interrupción al flujo sanguíneo. Debido a que el tejido cardíaco distal a la obstrucción se muere y es reemplazado por tejido cicatrizal no contráctil, el músculo cardíaco pierde parte de su fuerza. Dependiendo del tamaño y localización del área infartada, un infarto puede alterar el sistema de conducción cardíaca y provocar muerte súbita por fibrilación ventricular. El tratamiento del infarto de miocardio incluye: la administración de agentes trombolíticos (lisante de trombos), como la estreptocinasa o t-PA, más heparina (un anticoagulante), o la realización de una angioplastia coronaria o de un *bypass* coronario. Afortunadamente, el músculo cardíaco puede continuar viviendo –cuando el individuo permanece en reposo– con sólo el 10 o el 15% de su aporte sanguíneo normal.

20.3 TEJIDO MUSCULAR CARDÍACO Y SISTEMA DE CONDUCCIÓN DEL CORAZÓN

OBJETIVOS

- Describir las características estructurales y funcionales del músculo cardíaco y del sistema de conducción del corazón.
- Describir cómo se genera un potencial de acción en las fibras contráctiles cardíacas.
- Describir los fenómenos eléctricos de un electrocardiograma normal (ECG).

PREGUNTAS DE REVISIÓN

- ¿Qué provoca la apertura y el cierre valvular? ¿Qué estructuras de soporte aseguran el correcto funcionamiento valvular?
- ¿Qué cámaras cardíacas, válvulas cardíacas y vasos sanguíneos encontrará una gota de sangre durante su transporte desde la aurícula derecha hasta la aorta, si sigue la secuencia correcta?
- ¿Qué arterias transportan sangre oxigenada al miocardio ventricular derecho e izquierdo?

Histología del tejido muscular cardíaco

En comparación con las fibras musculares esqueléticas, las fibras musculares cardíacas son más cortas y menos circulares en sección transversa (Figura 20.9). También presentan ramificaciones, que les confieren la apariencia “en peldaños de escalera” característica de las fibras musculares cardíacas (véase el Cuadro 4.5b). Una fibra muscular cardíaca típica mide de 50 a 100 μm de longitud y tiene un diámetro de aproximadamente 14 μm . En general, presenta un solo núcleo de localización central, aunque algunas células pueden presentar ocasionalmente dos núcleos. Los extremos de las fibras musculares car-

díacas se conectan con las fibras vecinas a través de engrosamientos transversales del sarcolema denominados **discos intercalares** (de *intercalare*, in-sertado entre). Estos discos contienen **desmosomas** (desmo-, de *desmós*, unión, banda, y -soma, de *sóoma*, cuerpo), que unen las fibras entre sí, y **uniones en hendidura (gap)** que permiten la conducción de los potenciales de acción desde una fibra muscular hasta las fibras vecinas. Las uniones gap permiten que todo el miocardio de las aurículas y de los ventrículos se contraiga como una única unidad coordinada.

Las mitocondrias son más grandes y numerosas en las fibras musculares cardíacas que en las esqueléticas. En una fibra muscular cardíaca ocupan el 25% del citosol, mientras que en una fibra muscular esquelética sólo el 2%. Las fibras musculares cardíacas poseen la misma disposición de filamentos de actina y miosina, las mismas bandas, zonas y discos Z que las fibras musculares esqueléticas. Los túbulos transversos del miocardio son más anchos, pero más escasos que los del músculo esquelético; el único túbulo transverso por sarcómero se localiza en el disco Z. El retículo sarcoplásmico de las fibras musculares cardíacas es algo más pequeño que el de las fibras musculares esqueléticas. En consecuencia, el músculo cardíaco presenta menores reservas intracelulares de Ca^{2+} .



CORRELACIÓN CLÍNICA | Regeneración de las células cardíacas

Como se explicó previamente en este capítulo, el sobreviviente de un ataque cardíaco presenta, generalmente, regiones de tejido muscular cardíaco infartado (muerto), que son gradualmente reemplazadas por tejido fibroso cicatrizal no contráctil. Nuestra incapacidad para reparar el daño producido por un infarto ha sido atribuida a la falta de células madre (*stem cells*) en el músculo cardíaco y a la ausencia de mitosis en las fibras musculares cardíacas maduras. Sin embargo, un estudio reciente realizado por científicos italianos y norteamericanos en pacientes receptores de trasplantes cardíacos aporta evidencia de un reemplazo significativo de células cardíacas. Los investigadores estudiaron a individuos que habían recibido corazones provenientes de una mujer, y luego buscaron la presencia del cromosoma Y en las células cardíacas (todas las células femeninas, exceptuando los gametos, tienen dos cromosomas X y carecen del cromosoma Y). Varios años después del trasplante, entre el 7 y el 16% de las células cardíacas presentes en el tejido trasplantado, incluyendo las fibras musculares cardíacas y las células endoteliales de las arteriolas coronarias y capilares, habían sido reemplazadas por células del receptor, evidenciadas por la presencia de un cromosoma Y. El estudio también reveló la existencia de células con algunas características de células madre (*stem cells*) tanto en corazones trasplantados como en los corazones de control. Evidentemente, las células madre pueden migrar desde la sangre hasta el corazón y diferenciarse en fibras musculares funcionales y en células endoteliales. La esperanza es que los investigadores descubran cómo lograr esa regeneración de células cardíacas para poder tratar a los pacientes con insuficiencia cardíaca o con miocardiopatías.

Fibras automáticas: el sistema de conducción

La existencia de una actividad cardíaca eléctrica intrínseca y rítmica permite que el corazón pueda latir toda la vida. La fuente de esta actividad eléctrica es una red de fibras musculares cardíacas especializadas denominadas **fibras automáticas** (auto-, de *autós*, por sí mismo), debido a que son autoexcitables. Las fibras automáticas generan potenciales de acción en forma repetitiva que disparan las contracciones cardíacas. Continúan estimulando el corazón para que lata, aún

después de haber sido extraído del cuerpo (p. ej., para ser trasplantado a otra persona) y de que todos sus nervios hayan sido cortados. (NOTA: los cirujanos no intentan reinervar el corazón luego de haberlo trasplantado. Por esta razón, se dice que los cirujanos del corazón son mejores “plomeros” que “electricistas”). Durante el desarrollo embrionario, sólo el 1% de las fibras musculares cardíacas se diferencian en fibras automáticas; estas fibras relativamente raras cumplen dos funciones importantes.

1. Actúan como **marcapasos**, determinando el ritmo de la excitación eléctrica que causa la contracción cardíaca.
2. Forman el **sistema de conducción**, una red de fibras musculares cardíacas especializadas, que provee un camino para que cada ciclo de excitación cardíaca progrese a través del corazón. El sistema de conducción asegura que las cámaras cardíacas sean estimuladas para contraerse en forma coordinada, lo que hace del corazón una bomba efectiva. Como veremos luego en este capítulo, los problemas con las fibras automáticas pueden causar arritmias (ritmos anormales), donde el corazón late en forma anómala, demasiado rápido o demasiado despacio.

Los potenciales de acción cardíacos se propagan a lo largo del sistema de conducción con la siguiente secuencia (Figura 20.10a):

- 1 En condiciones normales, la excitación cardíaca comienza en el **nodo sinoauricular** o **sinoatrial (SA)**, localizado en la aurícula derecha, justo por debajo del orificio de desembocadura de la vena cava superior. Las células del nodo SA no tienen un potencial de reposo estable. En lugar de ello, se despolarizan en forma continua y alcanzan espontáneamente el potencial umbral. La despolarización espontánea es un **potencial marcapasos**. Cuando el potencial marcapasos alcanza el umbral, se desencadena un potencial de acción (Figura 20.10b). Cada potencial de acción del nodo SA se propaga a través de ambas aurículas, por medio de las uniones en hendidura presentes en los discos intercalares de las fibras musculares auriculares. Siguiendo el potencial de acción, las aurículas se contraen.
- 2 Mediante la conducción a lo largo de las fibras musculares auriculares, el potencial de acción llega al **nodo auriculoventricular** o **atrioventricular (AV)**, localizado en el tabique interauricular, delante del orificio de desembocadura del seno coronario (Figura 20.10a).
- 3 Desde el nodo AV, el potencial de acción se dirige hacia el **fasículo auriculoventricular** o **atrioventricular** (también conocido como **haz de His**). Este es el único sitio por donde los potenciales de acción pueden propagarse desde las aurículas hasta los ventrículos. (En el resto del corazón, el esqueleto fibroso aísla eléctricamente las aurículas de los ventrículos.)
- 4 Luego de propagarse a lo largo del haz de His, el potencial de acción llega a las ramas derecha e izquierda, las que se extienden a través del tabique interventricular hacia el vértice cardíaco.
- 5 Finalmente, las anchas **fibras de Purkinje** o **ramos subendocárdicos** conducen rápidamente el potencial de acción desde el vértice cardíaco hacia el resto del miocardio ventricular. Luego, los ventrículos se contraen y empujan la sangre hacia las válvulas semilunares.

Las fibras automáticas del nodo SA iniciarían por su cuenta un potencial de acción cada 0,6 segundos, o 100 veces por minuto. Así, el nódulo sinoauricular establece el ritmo de contracción del corazón: es el *marcapasos natural*. Esta frecuencia es mayor que la del resto de las fibras automáticas. Debido a que los potenciales de acción del