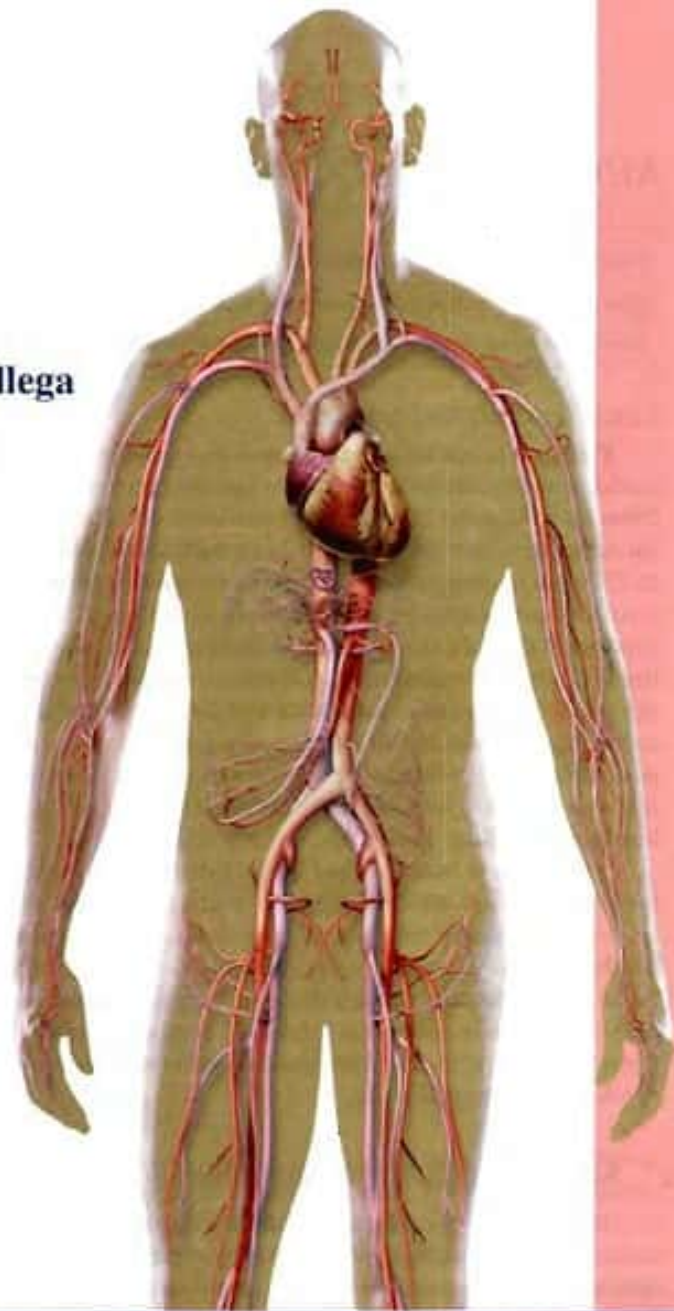


El aparato circulatorio: el corazón

El corazón y la homeostasis

El corazón bombea sangre que llega a todos los tejidos corporales a través de los vasos sanguíneos.





Según lo aprendido en el capítulo anterior, el **aparato circulatorio** está compuesto por la sangre, el corazón y los vasos sanguíneos. También se examinaron la composición y las funciones de la sangre. Este capítulo estará dedicado a la bomba que permite la circulación a través del organismo: el corazón.

La sangre debe ser constantemente bombeada a través de los vasos sanguíneos de manera tal que pueda alcanzar las células del organismo e intercambiar sustancias con ellas. Para lograr esto, el corazón late aproximadamente 100 000 veces cada día, lo que suma un total de 35 millones de latidos anuales. Incluso cuando dormi-

mos, nuestro corazón bombea 30 veces su propio peso por minuto (5 L), lo que significa más de 14 000 litros de sangre en un día y 10 millones de litros en un año. Como uno no está todo el día durmiendo y el corazón bombea en forma más vigorosa cuando se está activo, el volumen de sangre bombeado al corazón en un solo día es aún mayor.

El estudio científico del corazón normal y las enfermedades asociadas con él se conoce como **cardiología** (cardio-, de *kardia*, corazón, y -logía, de *lógos*, estudio). Este capítulo examina el diseño del corazón y las singulares propiedades que le permiten bombear durante toda la vida sin descanso.

ANATOMÍA DEL CORAZÓN

▶ OBJETIVOS

Describir la ubicación del corazón.

Describir la estructura del pericardio y de la pared cardíaca.

Examinar la anatomía interna y externa de las cámaras cardíacas.

Localización del corazón

Para todo lo que hace, el corazón es un órgano relativamente pequeño, aproximadamente 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 descansa sobre el diafragma, cerca de la línea media de la cavidad torácica. Yace en el **mediastino**, una masa de tejido que se extiende desde el esternón hasta la columna vertebral, entre los pulmones (fig. 20-1a). Aproximadamente dos tercios del corazón se encuentran a la izquierda de la línea media del cuerpo (fig. 20-1b). Se puede imaginar al corazón como un cono que yace de lado. El **vértice** o punta (*ápe*x) se dirige hacia delante, abajo y a la izquierda. La **base** ancha se dirige hacia atrás, arriba y a la derecha.

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 ubica entre el vértice y el **borde derecho** y descansa principalmente sobre el diafragma (fig. 20-1b). El borde derecho mira hacia el pulmón derecho y se extiende desde la cara inferior hasta la base. El **borde izquierdo**, también llamado **borde pulmonar**, mira hacia el pulmón izquierdo y se extiende desde la base al ápex.

Reanimación cardiopulmonar

Debido a que el corazón se encuentra ubicado entre dos estructuras rígidas —la columna vertebral y el esternón (fig. 20-1a)— la presión externa aplicada sobre el tórax (compresión) puede emplearse para forzar la salida de la sangre del corazón a 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 pul-

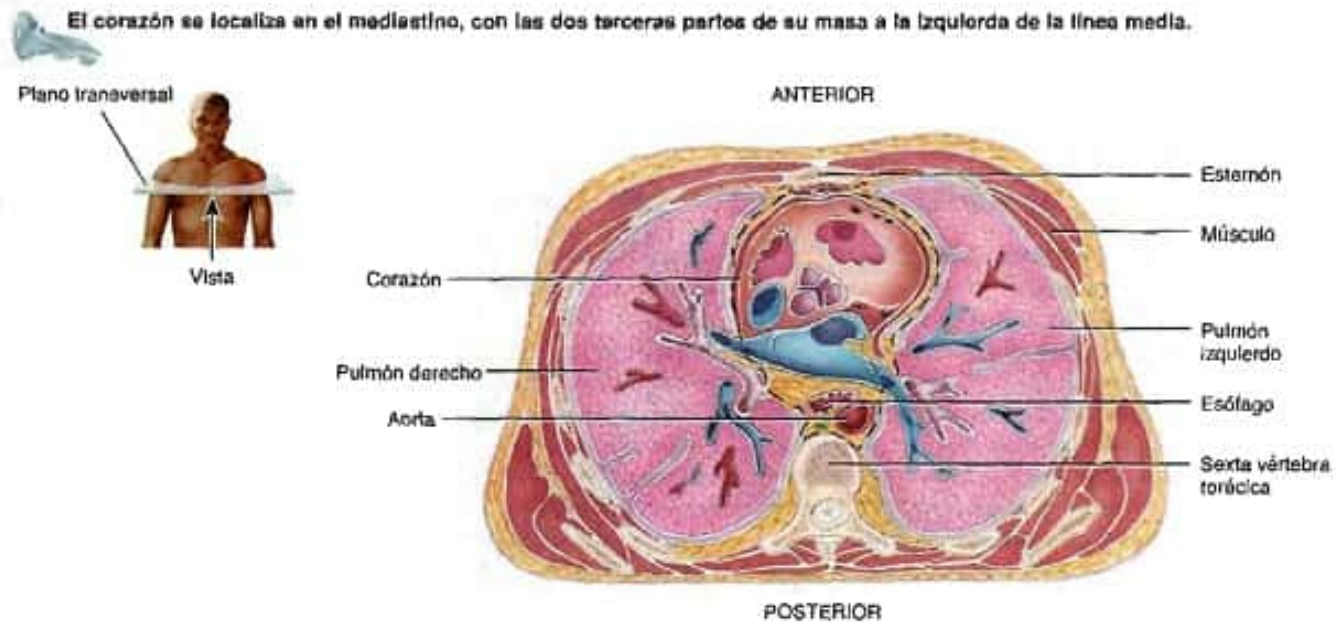
mones por medio de la respiración boca a boca—, salva vidas. La RCP permite mantener circulando a la sangre oxigenada hasta que el corazón vuelva a latir.

En un estudio realizado en Seattle en 2000, los investigadores hallaron que las compresiones torácicas solas son igualmente efectivas, si no 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 limitándose a la compresión torácica. Dado 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 que el tratamiento que incluye respiración boca a boca. ■

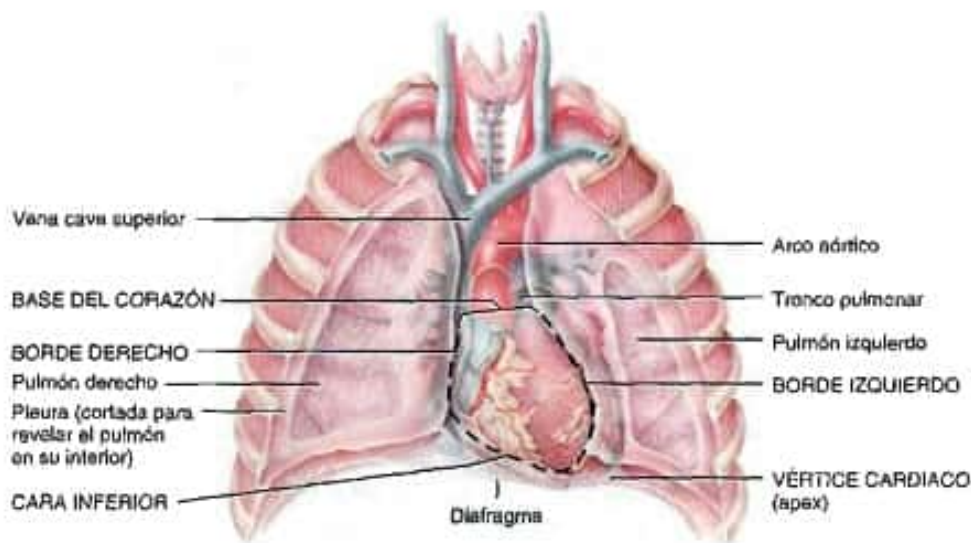
Pericardio

El **pericardio** (*peri-*, de *peri*, alrededor) es una membrana que rodea y protege al corazón. Mantiene al corazón 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: el **pericardio fibroso** y el **pericardio seroso** (fig. 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 yace 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 seroso** es más profundo, más delgado y delicado y forma una doble capa alrededor del corazón (fig. 20-2a). La **capa parietal** externa del pericardio seroso se fusiona al pericardio fibroso. La **capa visceral** interna, también denominada **epicardio** (*epi-*, de *epi*, 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 existe 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 llama **cavidad pericárdica**.

Fig. 20-1 Posición del corazón y las estructuras asociadas en el mediastino (contorno a trazos).

(a) Vista inferior de una sección transversal de la cavidad torácica que muestra el corazón en el mediastino



(b) Vista anterior del corazón en el mediastino

¿Qué es el mediastino?

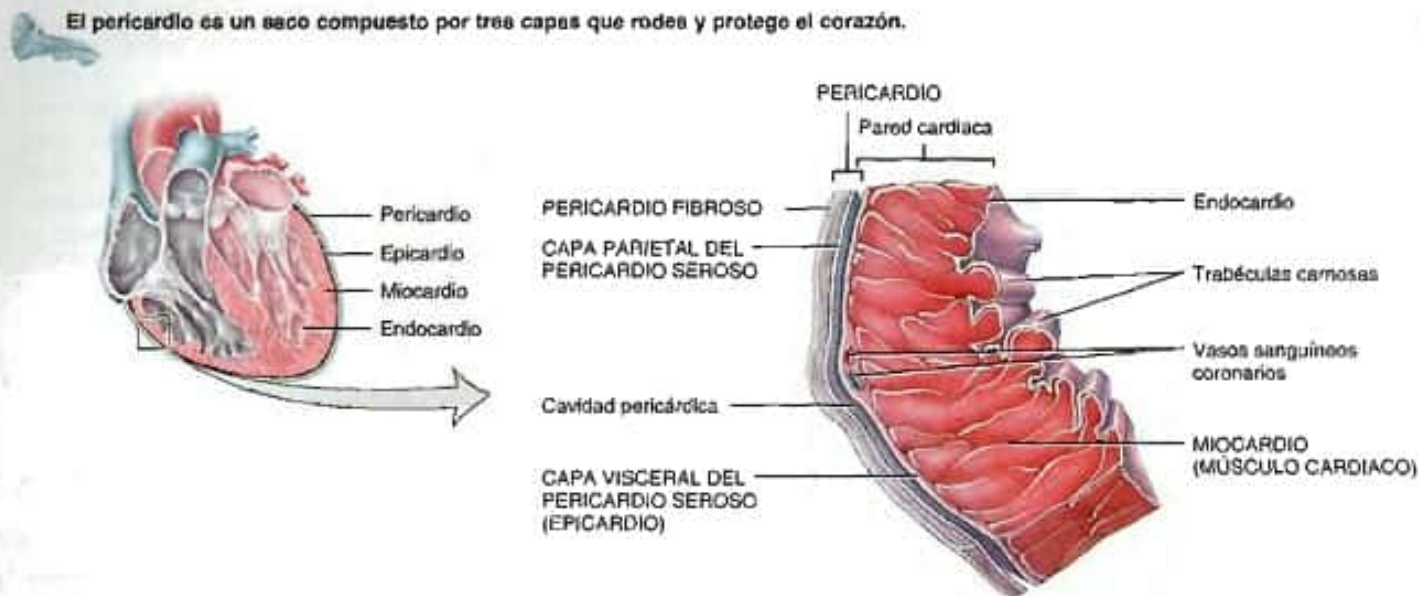
Pericarditis

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

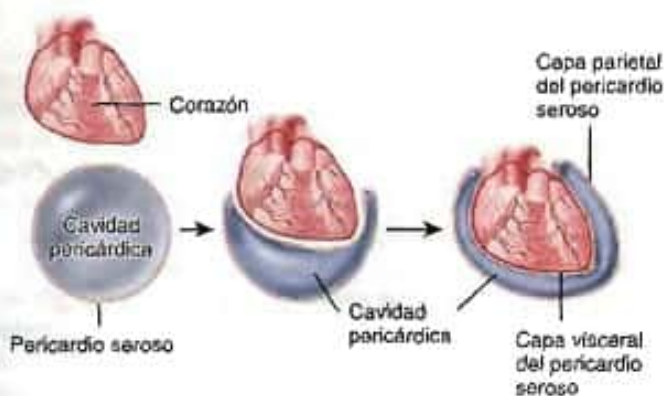
dolor torácico que puede extenderse hasta el hombro y miembro superior izquierdos (que a veces se confunde con un infarto de miocardio), y se genera el frote pericárdico (sonido crujiente, audible con el estetoscopio, producido por el rozamiento entre las capas visceral y parietal del pericardio seroso). 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.

Fig. 20-2 Pericardio y pared cardíaca.

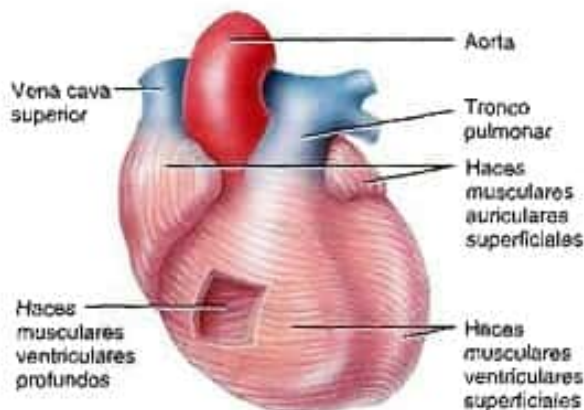
El pericardio es un saco compuesto por tres capas que rodea y protege el corazón.



(a) Porción del pericardio y pared cardíaca del ventrículo derecho que muestra las divisiones del pericardio y las capas de la pared cardíaca.



(b) Relación simplificada entre el pericardio seroso y el corazón



(c) Hazes musculares del miocardio

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

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 una situación potencialmente mortal, conocida como *taponamiento cardíaco*, en la que el líquido pericárdico comprime al corazón. Como resultado de dicha compresión, se produce descenso del llenado ventricular, disminución del retorno venoso y del volumen sistólico, caída de la presión 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 causada 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 (fig. 20-2a): el epicardio (capa externa), el miocardio (capa media) y el endocardio (capa interna). Como se subrayó previamente, la capa más externa, el epicardio, es una lámina delgada y transparente que también se conoce como *capa visceral del pericardio seroso*. Está formada por mesotelio y un delicado tejido conectivo que le otorgan una textura suave y lisa. El **miocardio** (mio-, de *myós*, músculo), tejido muscular cardíaco, confiere volumen al corazón y es responsable de la acción de bombeo. A pesar de que su músculo estriado es semejante al esquelético, el músculo cardíaco, al igual que el músculo liso, es involuntario. Las fibras musculares cardíacas se arremolman en haces

diagonales alrededor del corazón (fig. 20-2c). La capa más interna, el **endocardio** (endo-, de *endon*, dentro), es una fina capa de endotelio que yace sobre una capa delgada de tejido conectivo. Tapiza las cámaras cardíacas formando una pared lisa y recubre las válvulas cardíacas. El endocardio se continúa con el endotelio de los grandes vasos que llegan y salen del corazón.

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, fatiga, dolor torácico inespecífico, ritmo cardíaco rápido o irregular, artralgias y falta de aliento. Generalmente, la miocarditis es un cuadro leve y la recuperación se produce en dos semanas. Los casos graves pueden llevar 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 endo-

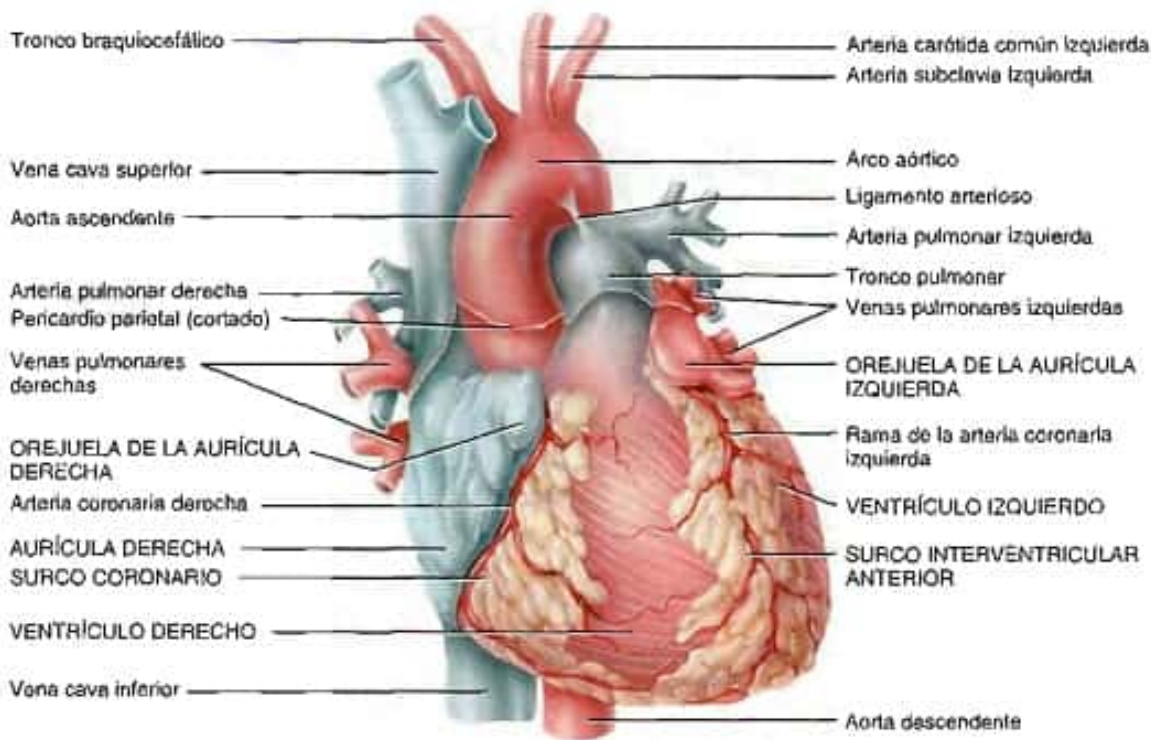
cardio y comúnmente compromete a las válvulas cardíacas. La mayoría de los casos se deben a bacterias (endocarditis bacteriana). Los signos y síntomas de la endocarditis incluyen fiebre, soplos cardíacos, ritmo cardíaco irregular, fatiga, pérdida de apetito, sudores nocturnos y escalofríos. El tratamiento se realiza con antibióticos intravenosos.

Cámaras cardíacas

El corazón tiene cuatro cámaras. Las dos cámaras superiores son las **aurículas** (atrios) y las dos inferiores los **ventrículos**. En la cara anterior de cada aurícula hay una estructura semejante a una pequeña bolsa denominada **orejuela** (debido a su parecido con las orejas de un perro) (fig. 20-3). Cada orejuela aumenta levemente la capacidad de las aurículas, permitiéndoles 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**

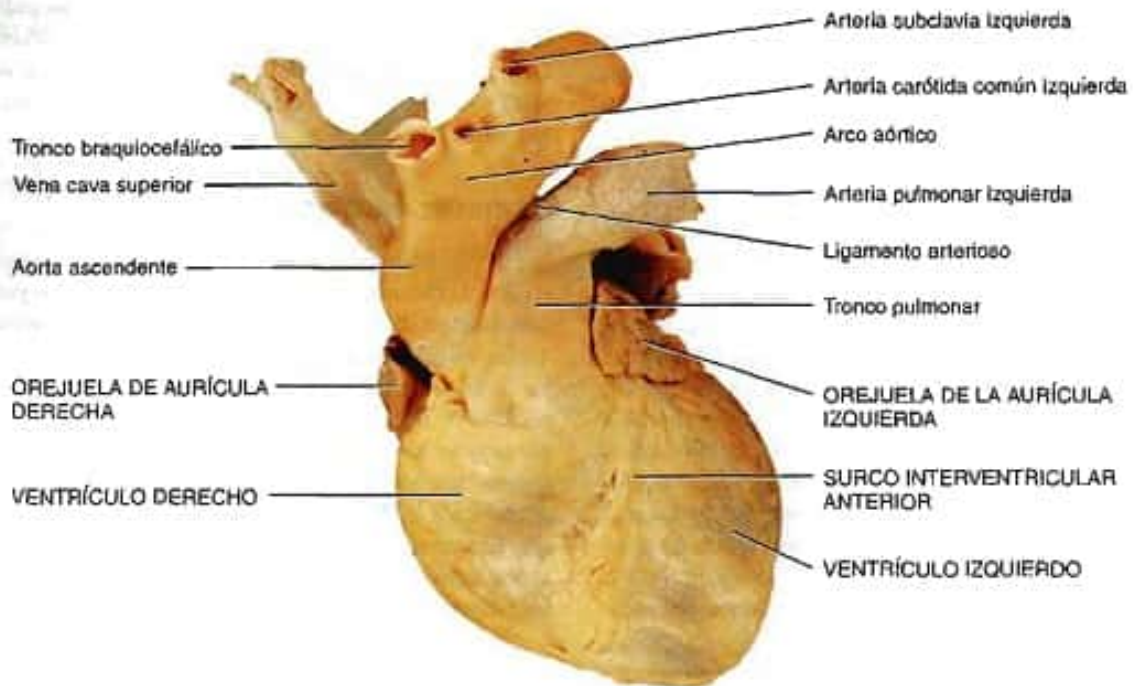
Fig. 20-3 Estructura del corazón: configuración superficial. Los vasos sanguíneos que transportan sangre oxigenada (de color rojo brillante) han sido pintados de color rojo, mientras que aquellos que transportan sangre no oxigenada (de color rojo oscuro) han sido pintados de color azul.

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

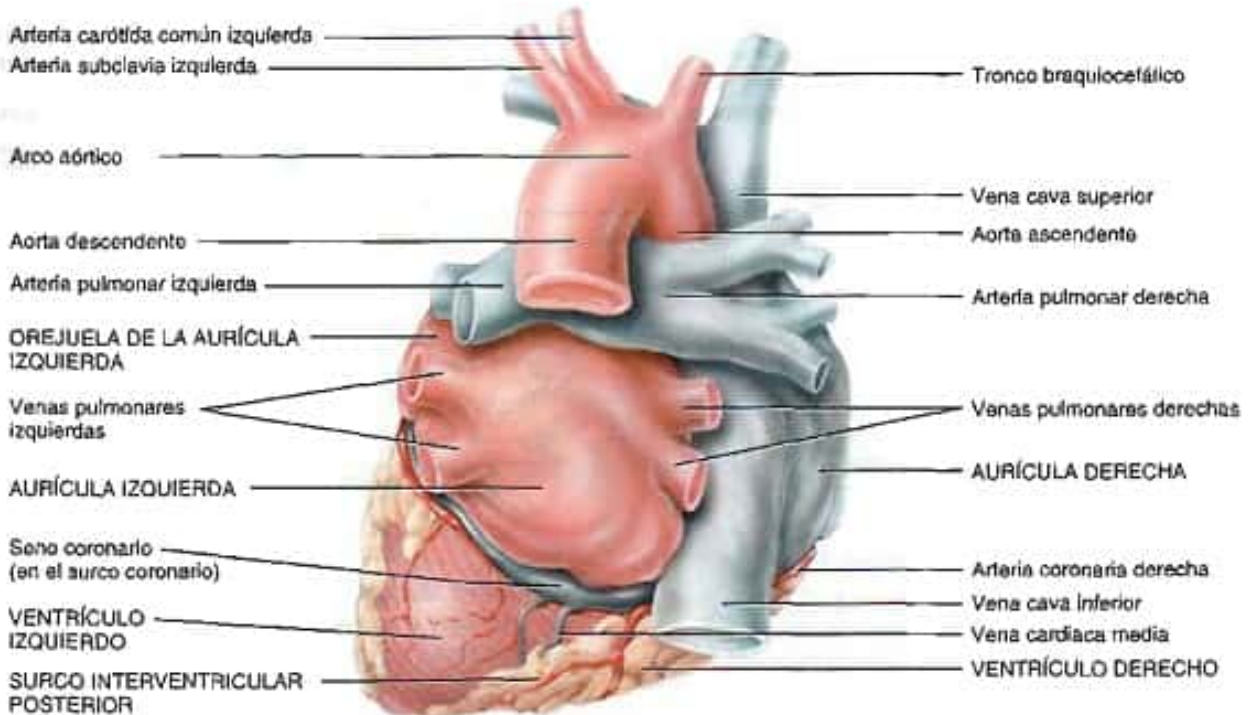


(a) Vista anterior externa que muestra las estructuras superficiales

Fig. 20-3 (continuación).



(b) Vista anterior externa que muestra las estructuras superficiales



(c) Vista externa posterior que muestra las estructuras superficiales

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

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 (fig. 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** (fig. 20-4a). 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 (fig. 20-4b). Entre la aurícula derecha y la izquierda se encuentra un tabique delgado, denominado **septum** o **tabique interauricular** (inter-, de *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 fig. 21-30 en p. 798). La sangre pasa desde la aurícula derecha hacia el ventrículo derecho a través

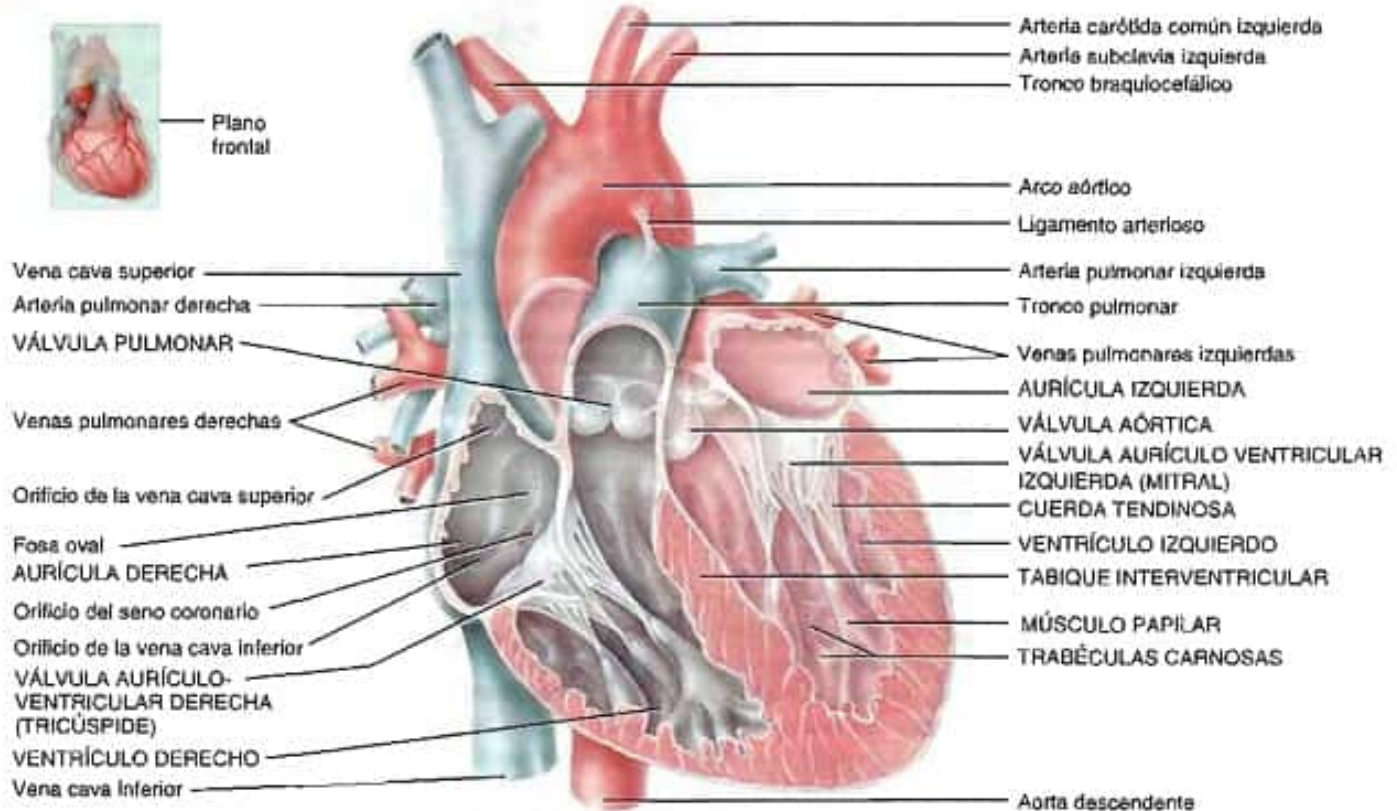
de una válvula, llamada **válvula tricúspide** porque tiene tres valvas o cúspides (fig. 20-4a). También se denomina **válvula auriculoventricular** o **atrioventricular** derecha. Las válvulas cardíacas están compuestas de tejido conectivo denso cubierto por endocardio.

Ventrículo derecho

El **ventrículo derecho** forma la mayor parte de la cara anterior del corazón. En su interior contiene una serie de relieves formados por haces de **fibras musculares cardíacas** llamados **trabéculas carnosas** (véase fig. 20-2a). Algunas de estas trabéculas contienen fibras que forman parte del sistema de conducción cardíaco, que se verá más adelante en este capítulo (véase p. 712). Las cúspides o valvas de la válvula tricúspide se conectan con 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, llamada **tronco pulmonar**, que se divide en las **arterias pulmonares derecha e izquierda**.

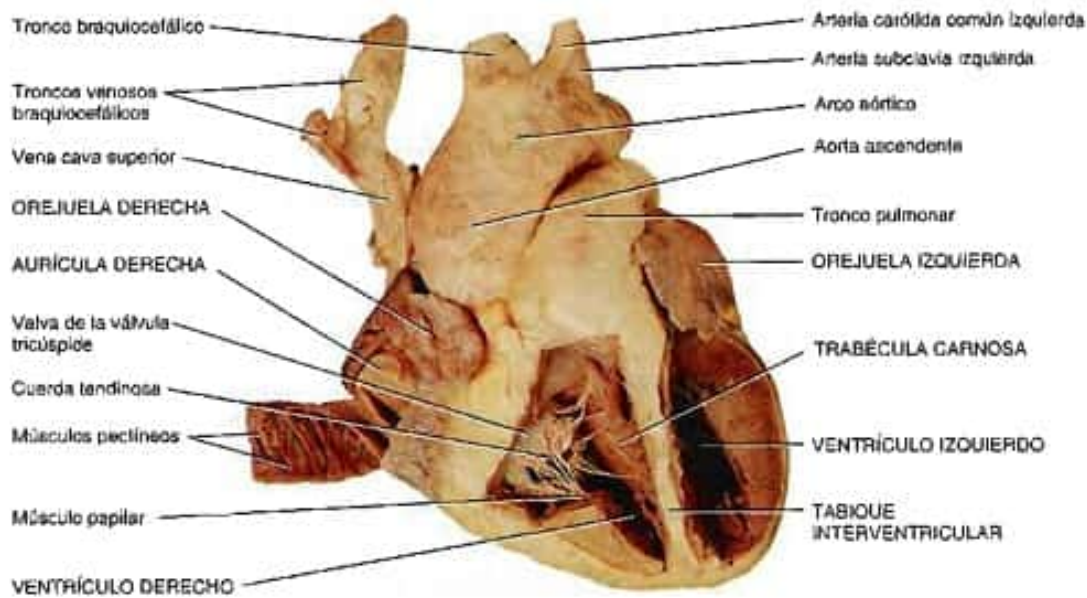
Fig. 20-4 Estructura del corazón: anatomía interna.

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

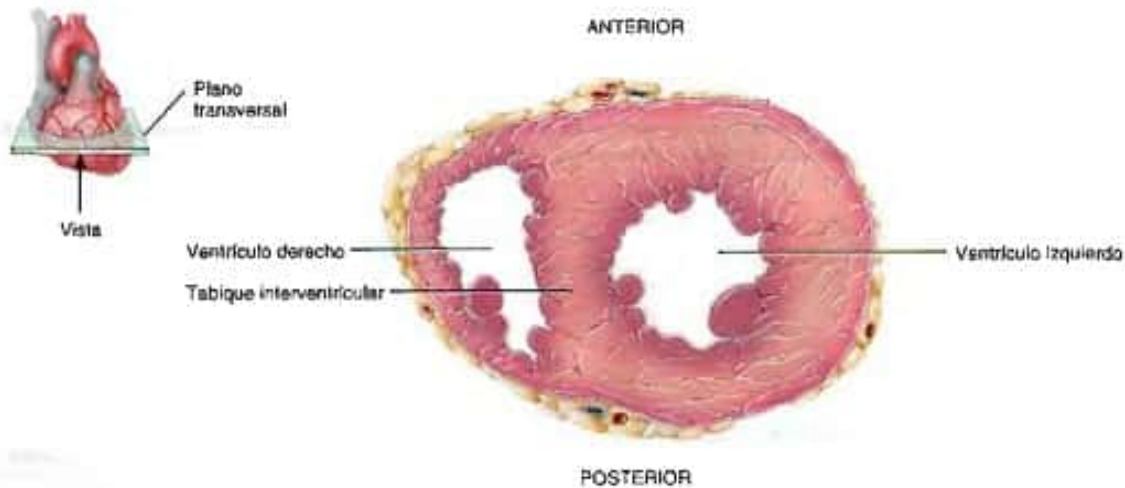


(a) Vista anterior de un corte frontal que muestra la anatomía interna

Fig. 20-4 (continuación).



(b) Vista anterior de una sección parcial de un corazón que muestra su anatomía interna



(c) Vista inferior de una sección transversal que muestra las diferencias de espesor de las paredes ventriculares

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

Aurícula izquierda

La aurícula izquierda (atrio izquierdo) forma la mayor parte de la base del corazón (véase fig. 20-1b). Recibe sangre proveniente de los pulmones a través 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**, la cual, como su nombre indica, posee dos valvas o cúspides. El término *mitral* se refiere a su semejanza

de obispo (sombbrero que tiene dos caras). También se la llama **válvula auriculoventricular (atrioventricular) izquierda**.

Ventrículo izquierdo

El ventrículo izquierdo forma el vértice o ápex del corazón (véase fig. 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 corona-*

rias, que nacen de ella e irrigan al corazón. El resto de la sangre sigue su camino a través del arco o cayado aórtico y la aorta descendente (aorta torácica y abdominal). Las ramas del cayado aórtico y de la aorta descendente transportan la sangre a 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 fig. 21-30). El conducto arterioso normalmente se cierra al poco tiempo de nacer, dejando una estructura remanente conocida como ligamento arterioso, que conecta el arco aórtico con el tronco pulmonar (fig. 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 (fig. 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 a 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 (fig. 20-4c). Además, la forma de la luz del ventrículo izquierdo es más o menos circular, mientras que la del ventrículo derecho es semilunar.

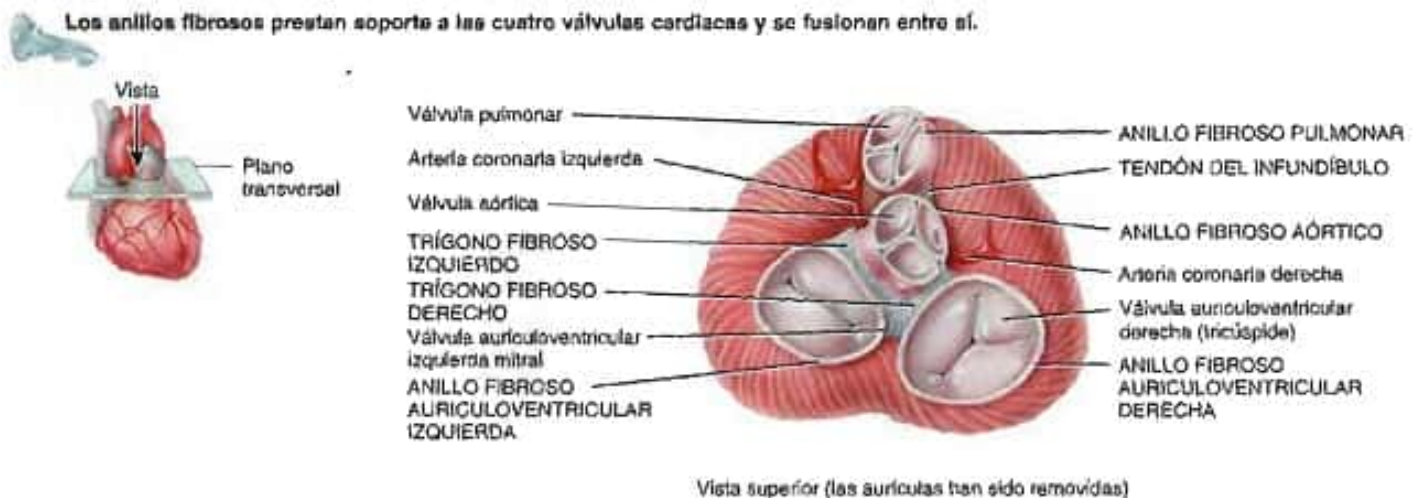
Esqueleto fibroso del corazón

Además de músculo cardíaco, la pared cardíaca también contiene tejido conectivo denso que forma el esqueleto fibroso del corazón (fig. 20-5). Esta estructura consiste básicamente en cuatro anillos de tejido conectivo denso que rodean a 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 sobrestiramiento 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 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 en 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? ¿Qué funciones tiene este tejido?

Fig. 20-5 Esqueleto fibroso del corazón. Los elementos del esqueleto fibroso están escritos en mayúscula.



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

LAS VÁLVULAS CARDIACAS Y LA CIRCULACIÓN

▶ OBJETIVOS

- Describir la estructura y funcionamiento de las válvulas cardíacas.
- Destacar los aspectos más importantes de la circulación sanguínea a través de las cámaras cardíacas y a través 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 están relajados, los músculos papilares también están relajados, las cuerdas tendinosas están flojas y la sangre se mueve desde un sitio de mayor presión, la aurícula, a otro de menor presión, el ventrículo, gracias a que las válvulas AV están abiertas (figs. 20-6a y c). Cuando los ventrículos se contraen, la presión de la sangre empuja las valvas hacia arriba hasta que sus bordes se juntan, cerrando el orificio auriculoventricular (figs. 20-6b y d). 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 regurgitar 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-*, de *semi*, medio, y *-lunar*, de *lunar*, relativo a la luna) debido a que están formadas por tres valvas con forma de medialuna (fig. 20-6c). 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 a las arterias, pero evitan el reflujo de sangre hacia los ventrículos. Los bordes libres de las valvas se proyectan hacia la luz de la arteria. Las válvulas SL se abren cuando la presión ventricular excede a la presión arterial, permitiendo la eyección de la sangre desde los ventrículos hacia el tronco pulmonar y la aorta (fig. 20-6d). A medida que los ventrículos se relajan, la sangre comienza a empujar las cúspides valvulares, haciendo que las válvulas semilunares se cierren (fig. 20-6c).

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 debido a un mecanismo diferente: a medida que el músculo auricular se contrae, comprime y produce casi el colapso de los orificios de desembocadura venosos.



Enfermedades valvulares

Cuando las válvulas cardíacas funcionan normalmente, se abren y cierran completamente y 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 producen disminución de la apertura de la válvula mitral. Una causa de **insuficiencia mitral**, en la que hay 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 casi al 30% de la población. Es más prevalente en mujeres y no siempre representa una amenaza seria a la salud. En la **estenosis aórtica** la válvula se encuentra estrechada, mientras que en la **insuficiencia aórtica** hay regurgitación de sangre desde la aorta hacia el ventrículo izquierdo.

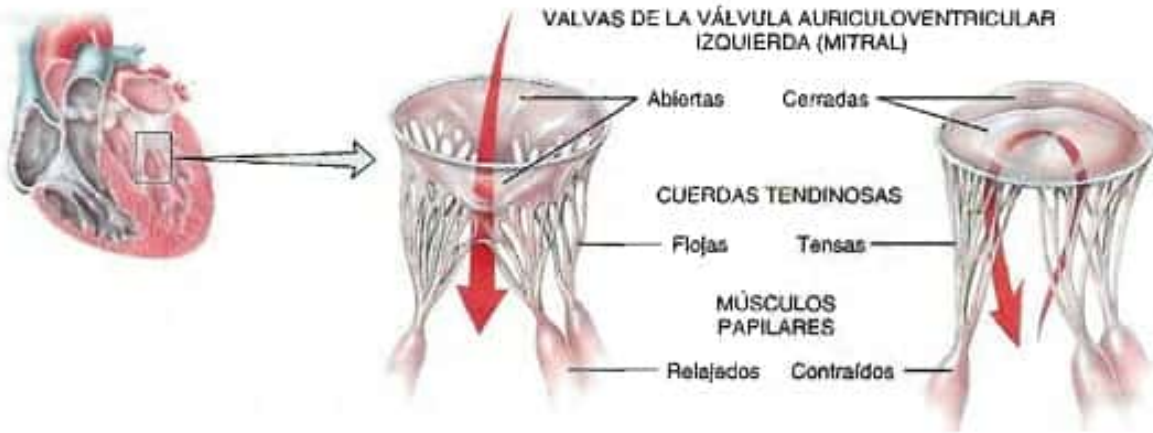
Ciertas enfermedades infecciosas pueden dañar o destruir las válvulas cardíacas. Un ejemplo de ello es la **fiebre reumática**, enfermedad sistémica inflamatoria que se presenta generalmente luego de una infección estreptocócica de la garganta. La bacteria dispara una respuesta inmune en la cual los 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. ■

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 fig. 21-17). El lado izquierdo del corazón es la bomba de la circulación sistémica; recibe sangre desde los pulmones, rica en oxígeno, roja brillante. El ventrículo izquierdo eyecta sangre hacia la **aorta** (fig. 20-7). Desde la aorta, la sangre se va dividiendo en diferentes flujos, entrando en **arterias sistémicas** cada vez más pequeñas que la transportan hacia todos los órganos, exceptuando a 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

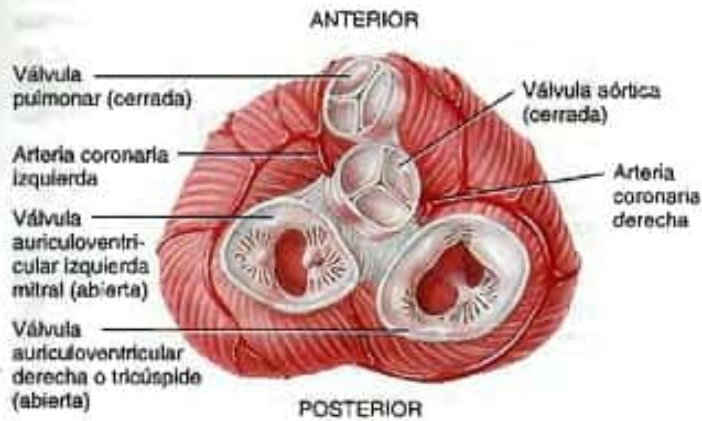
Fig. 20-6 Respuesta de las válvulas al bombeo cardíaco.

Las válvulas cardíacas evitan el reflujo de sangre.

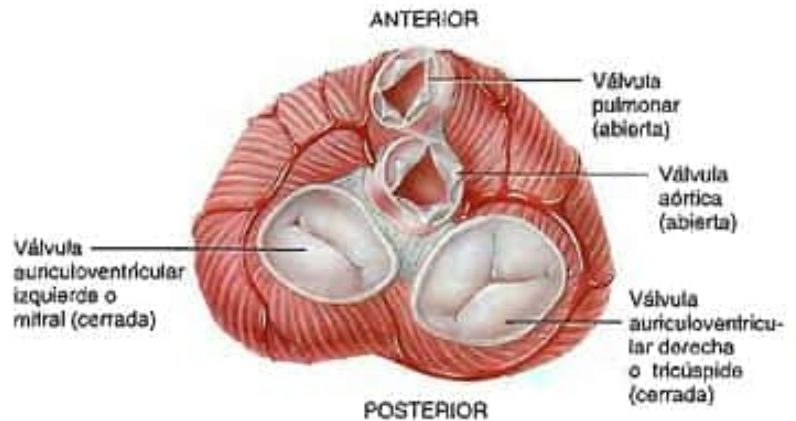


(a) Válvula auriculoventricular izquierda (mitral) abierta

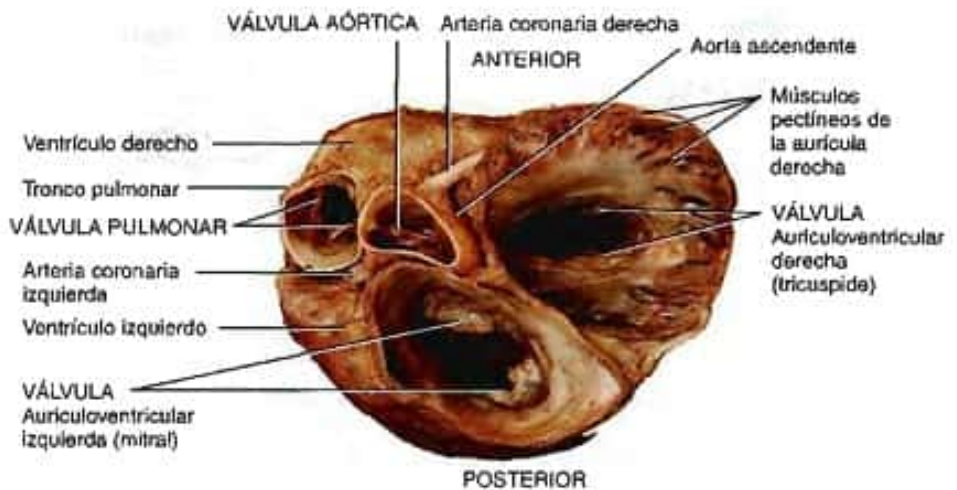
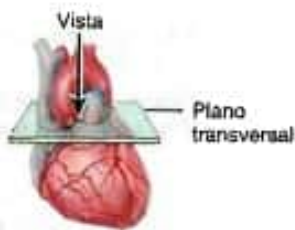
(b) Válvula auriculoventricular izquierda (mitral) cerrada



(c) Vista superior luego de retirar las aurículas: las válvulas aórtica y pulmonar están cerradas, las válvulas tricúspide y mitral están abiertas.



(d) Vista superior luego de retirar las aurículas: las válvulas semilunares están abiertas y las válvulas tricúspide y mitral están cerradas.

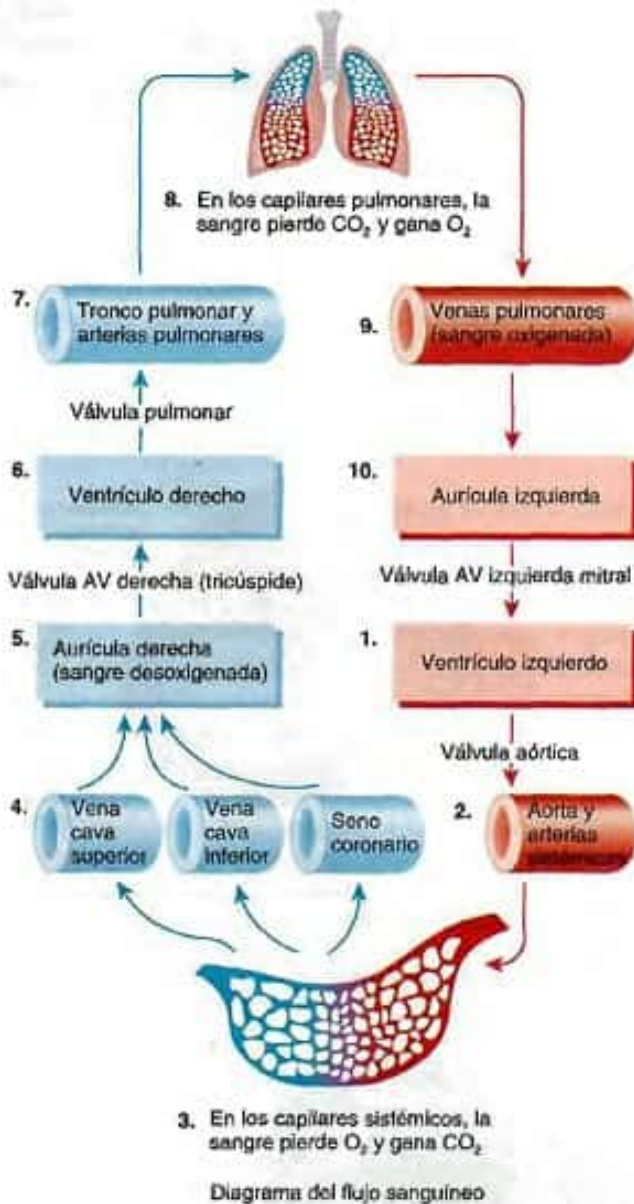


(e) Vista superior de las válvulas auriculoventriculares y semilunares

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

Fig. 20-7 Circulaciones pulmonar y sistémica.

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



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

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, a la aurícula derecha.

El lado derecho del corazón es la bomba del circuito pulmonar: recibe la sangre desoxigenada, roja oscura, que retorna de la circulación sistémica. Esta sangre es eyectada por el ventrículo derecho y se dirige al *tronco pulmonar*, el cual se divide en las *arterias pulmonares*, las que transportan sangre a ambos pulmones. En los capilares pulmonares, la sangre libera el CO_2 y capta el O_2 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 cardíaca. Por esta razón, el miocardio posee su propia red de vasos sanguíneos: la *circulación coronaria* o *cardíaca*. Las *arterias coronarias* nacen de la aorta ascendente y rodean al corazón, como una corona que rodea a una cabeza (fig. 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* (fig. 20-8b).

Arterias coronarias

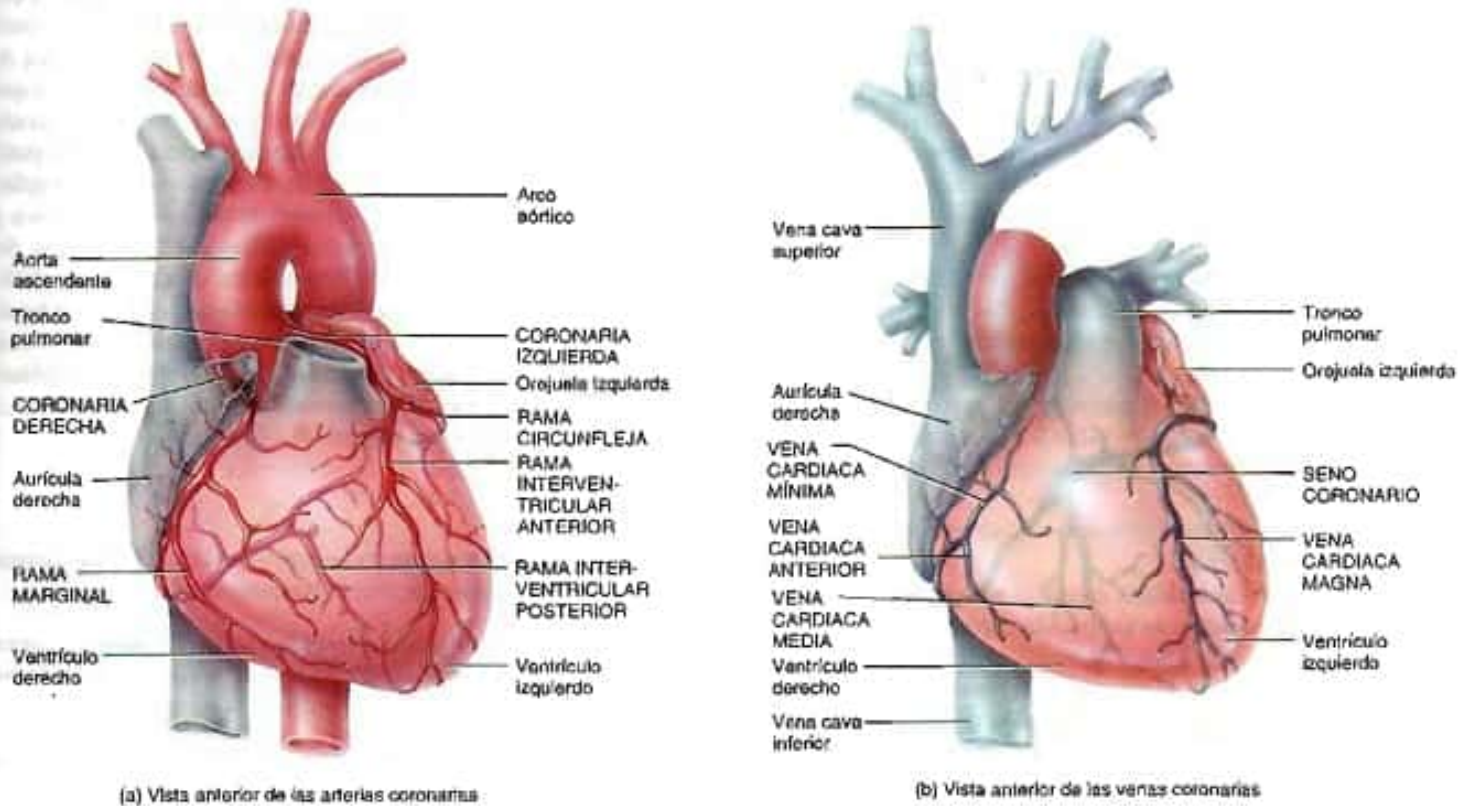
Las dos arterias coronarias, derecha e izquierda, nacen de la aorta ascendente y proveen de sangre oxigenada al miocardio (fig. 20-8a). La *arteria coronaria izquierda* pasa por debajo de la orejuela izquierda y se divide en las ramas *interventricular anterior* y *circunfleja*. La *rama interventricular anterior* o *arteria descendente anterior* (DA) se ubica en el surco interventricular anterior y provee de 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 (*ramas auriculares*). Luego discurre por debajo de la orejuela derecha y se ramifica de forma terminal 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 ubica en el surco coronario y transporta sangre oxigenada al miocardio del ventrículo derecho.

La mayor parte del organismo recibe sangre de ramas provenientes de más de una arteria, y en los lugares donde dos o más arterias irrigan la misma región, en general se conectan entre sí. Estas conexiones, denominadas *anastomosis* (de *anastómoois*, abocamiento), proveen rutas alternativas 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 pueda recibir suficiente oxígeno, aun cuando una de sus arterias coronarias se halle parcialmente obstruida.

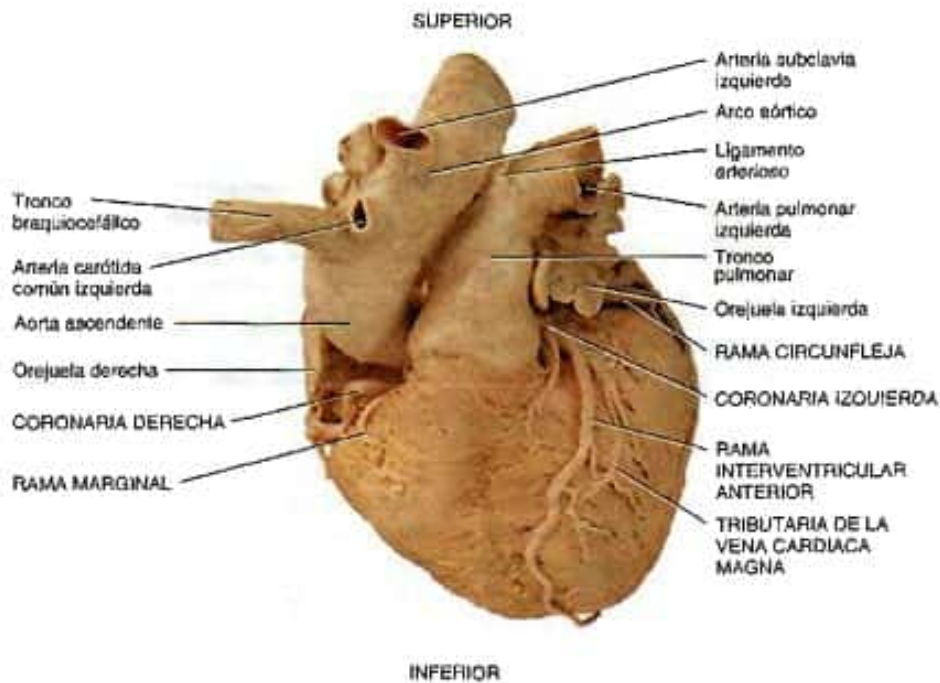
Fig. 20-8 La circulación coronaria. Las vistas anteriores del corazón (a) y (b) han sido dibujadas como si el corazón fuera transparente, para que puedan verse los vasos sanguíneos posteriores.

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



(a) Vista anterior de las arterias coronarias

(b) Vista anterior de las venas coronarias



(c) Vista anterior

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

Venas coronarias

Luego de que la sangre pasa a través de las arterias coronarias, llega a los capilares, donde entrega oxígeno y nutrientes al miocardio y recoge el dióxido de carbono y productos de desecho, y desde allí es transportada 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** (fig. 20-8b). (Un *seno vascular* es una vena con una pared delgada y que carece de músculo liso que le permita 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).
- **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 ubica 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 **reperfusión posterior**—reestablecimiento del flujo sanguíneo— puede generar aun mayor daño tisular. Este efecto paradójico se debe a la formación de **radicales libres** del 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 fig. 2-3b). Estas moléculas, altamente reactivas y muy inestables, provocan reacciones en cadena que llevan al daño y 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 zinc y el selenio tienen funciones antioxidantes que permiten remover los radicales libres del oxígeno generados. Actualmente se investigan varios fármacos que permitirían disminuir el daño generado por la reperfusión después de un infarto cardíaco o de un accidente cerebrovascular isquémico.

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 cual puede debilitar las células sin matarlas. La **angina de pecho** (que significa literalmente “pecho estrangulado”) es un dolor severo que generalmente acompaña 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 pe-

cho se irradia generalmente hacia el cuello, el mentón o desciende por el brazo izquierdo hacia el codo. La **isquemia miocárdica silente**, episodio isquémico sin dolor, es particularmente poligrosa 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 llamado **ataque cardíaco**. *Infarto* significa 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 cicatricial 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 causar 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 en una persona en reposo con sólo el 10 al 15% de su aporte sanguíneo normal. ■

► PREGUNTAS DE REVISIÓN

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

TEJIDO MUSCULAR CARDIACO Y SISTEMA DE CONDUCCIÓN CARDIACO

► 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).

Histología del tejido muscular cardíaco

En comparación con las fibras musculares esqueléticas, las fibras musculares cardíacas son más cortas y menos circulares en sección transversal (fig. 20-9). También presentan ramificaciones, que confieren la apariencia en peldaños de escalera característica de las fibras musculares cardíacas (véase cuadro 4-5b). Una fibra muscular cardíaca típica mide 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 cardíacas se conectan a las fibras vecinas a través de engrosamientos transversales del sarcolema, denominados **discos intercalares** (de *intercalare*, in-