

CAPITULO 20

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. 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. El pericardio (peri-, de Perú, 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. 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. La pared cardíaca se divide en tres capas: el epicardio (capa externa), el miocardio (capa media) y el endocardio (capa interna). El epicardio está compuesto por dos planos tisulares. El más 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. 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) La aurícula derecha (atrio derecho) recibe sangre de tres venas: la vena cava superior, la vena cava inferior y el seno coronario. 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. La aurícula izquierda (atrio izquierdo) forma la mayor parte de la base del corazón. 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. 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. 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. 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. 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. Además, la forma de la luz del ventrículo izquierdo es más o menos circular, mientras que la del ventrículo derecho es semilunar. Además de músculo cardíaco, la pared cardíaca también contiene tejido conectivo denso que forma el esqueleto fibroso del corazón. Esta estructura consiste, básicamente, en cuatro anillos de tejido conectivo denso que rodean las válvulas cardíacas fusionándolas 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. 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. 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. 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 medialun. 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. 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. 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. 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. Desde la aorta, la sangre se va dividiendo en diferentes flujos e ingresa en arterias sistémicas cada vez más pequeñas que la 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. 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. 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. Las dos arterias coronarias, derecha e izquierda, nacen de la aorta ascendente y proporcionan sangre oxigenada al miocardio. 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. 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. En comparación con las fibras musculares esqueléticas, las fibras musculares cardíacas son más cortas y menos circulares en sección transversa. También presentan ramificaciones, que les confieren la apariencia “en peldaños de

escalera” característica de las fibras musculares cardíacas. 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. 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+} . 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. Un ciclo cardíaco incluye todos los fenómenos asociados con un latido cardíaco. Por lo tanto, un ciclo consiste en: la sístole y la diástole de las aurículas, además de la sístole y la diástole de los ventrículos. En cada ciclo cardíaco, las aurículas y ventrículos se contraen y se relajan en forma alternada, y transportan la sangre desde las áreas de menor presión hacia las de mayor presión. A medida que una cámara del corazón se contrae, la presión de la sangre que contiene aumenta. Durante el período de relajación, que dura 0,4 s, tanto las aurículas como los ventrículos están relajados. A medida que el corazón late más rápido, el período de relajación se hace más corto, mientras que la duración de la sístole auricular y ventricular sólo se acorta levemente. La auscultación es el acto de explorar los sonidos dentro el organismo y usualmente se realiza con un estetoscopio. El ruido de un latido cardíaco proviene fundamentalmente del flujo turbulento de la sangre causado por el cierre de las válvulas cardíacas. El flujo laminar es silencioso. Recuerde los sonidos de los rápidos de agua o de una cascada, comparados con el silencioso fluir de un río calmo. Durante cada ciclo cardíaco, hay cuatro ruidos cardíacos, pero en un corazón normal sólo el primero y el segundo ruido (R1 y R2) son los suficientemente intensos como para ser oídos con un estetoscopio. Este volumen está cerca del volumen sanguíneo total, que es de aproximadamente 5 L en un hombre adulto promedio. Por lo tanto, todo el volumen sanguíneo fluye a través de la circulación sistémica y pulmonar en cada minuto. Los factores que incrementan el volumen o descarga sistólica o la frecuencia cardíaca, generalmente, también aumentan el GC. Por ejemplo, durante el ejercicio leve, el VS puede aumentar a 100 mL/lat y la FC a 100 lpm. El GC sería entonces de 10 L/min. Durante el ejercicio intenso (no máximo), la FC puede aumentar a 150 lpm y el VS puede incrementarse a 130 mL/lat, y el GC resultante es de 19,5 L/min. La resistencia cardiovascular de una persona puede mejorar a cualquier edad, con la práctica regular de ejercicio. Algunos tipos de ejercicio son

más efectivos que otros para mejorar la salud del aparato cardiovascular. El ejercicio aeróbico, cualquier actividad que haga trabajar las grandes masas musculares, al menos por 20 minutos, aumenta el gasto cardíaco y el índice metabólico. Escuchar por primera vez el latido cardíaco del feto es un momento inolvidable para los futuros padres, pero también es una importante herramienta diagnóstica. El aparato cardiovascular es uno de los primeros en formarse en el embrión, y el corazón es el primer órgano funcionando. Este orden en el desarrollo es esencial, debido a que el embrión crece tan rápido que necesita obtener oxígeno y nutrientes y eliminar los desechos. El desarrollo del corazón es un proceso complejo, y una interrupción en cualquiera de sus etapas puede producir enfermedades cardíacas congénitas (presentes al nacimiento). Estas enfermedades, descritas en Desequilibrios homeostáticos al final de este capítulo, son responsables de casi la mitad de las muertes por malformaciones congénitas. El corazón comienza su desarrollo a partir del mesodermo, 18 o 19 días después de la fertilización. Se desarrolla a partir de un grupo de células mesodérmicas ubicadas en el polo cefálico del embrión, denominado campo cardiogénico (cardio-, de kardía, corazón, y -génico, de gennaán, producir). En respuesta a las señales provenientes del endodermo subyacente, el mesodermo del área cardiogénica forma un par de tiras alargadas: las cuerdas cardiogénicas. Enseguida, estas cuerdas se ahuecan y se transforman en los tubos endocárdicos. Con el plegamiento lateral del embrión, en el día 21 posfertilización, los tubos endocárdicos comienzan a aproximarse y terminan fusionándose en un único tubo, denominado tubo cardíaco primitivo.