

## Capítulo 3

# Fisiología cardíaca

**Dr. Juan Carlos García Rubira**

Médico adjunto del Servicio de Cardiología. Instituto Cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos, Madrid

### El latido cardíaco

El corazón se compone de dos aurículas y dos ventrículos. La sangre llega al corazón por las aurículas y sale impulsada por los ventrículos. El corazón y los vasos sanguíneos (venas y arterias) tienen la misión común de llevar la sangre a todas las células del organismo para que obtengan el oxígeno, los nutrientes y otras sustancias necesarias. Constituyen un sistema perfecto de riego con sangre rica en oxígeno y recolección de la que es pobre en oxígeno y está cargada de detritus. Mientras que los vasos sanguíneos actúan como las tuberías conductoras de la sangre, el corazón es la bomba que da el impulso para que esa sangre recorra su camino. Con cada latido el corazón impulsa una cantidad (habitualmente, 60-90 ml) de esa sangre hacia los vasos sanguíneos.

Son fundamentalmente los ventrículos los que se encargan del trabajo de impulsar la sangre. Las aurículas, en cambio, contribuyen al relleno óptimo de los ventrículos en cada latido. El movimiento de aurículas y ventrículos se hace de forma ordenada y coordinada, en un ciclo que se repite (ciclo cardíaco) con cada latido, en el cual lo más importante, en primer lugar, es el llenado de los ventrículos; posteriormente, tiene lugar su vaciamiento mediante la eyección de esa sangre al torrente circulatorio.

El ciclo cardíaco presenta dos fases: diástole y sístole. La diástole es el período del ciclo en el cual los ventrículos están relajados y se están llenando de la sangre que luego

tendrán que impulsar. Para que puedan llenarse, las válvulas de entrada a los ventrículos (mitral y tricúspide) tienen que estar abiertas. Y para que la sangre no se escape aún, las válvulas de salida de los ventrículos (aórtica y pulmonar) deben estar cerradas. Así, se puede definir la diástole como el período que va desde el cierre de las válvulas aórtica y pulmonar, hasta el cierre de las válvulas mitral y tricúspide. Un 70% del volumen que llega a los ventrículos presenta forma pasiva, es decir, los ventrículos se llenan simplemente porque las válvulas de entrada están abiertas. El 30% restante llega activamente mediante la contracción de las aurículas, que impulsan la sangre que les queda hacia los ventrículos.

La sístole es el período del ciclo en el cual los ventrículos se contraen y provocan la eyección de la sangre que contienen. Para ello, las válvulas aórtica y pulmonar han de estar abiertas y, para que la sangre no vuelva hacia las aurículas, las válvulas mitral y tricúspide deben estar cerradas. Así, se puede definir la sístole como el período que va desde el cierre de las válvulas mitral y tricúspide hasta el de las válvulas aórtica y pulmonar.

Cuando las válvulas cardíacas se cierran, producen unas vibraciones que se oyen con el fonendoscopio; se conocen con el nombre de *ruidos cardíacos*. Son dos diferentes en cada ciclo. El primer ruido lo produce el cierre de las válvulas mitral y tricúspide, que da inicio a la sístole ventricular. El segundo ruido lo produce el cierre de las

válvulas aórtica y pulmonar, que da comienzo a la diástole ventricular. Existen otros muchos ruidos que se pueden auscultar, unos fisiológicos (o normales) y otros patológicos (o anormales).

Son normales, por ejemplo, un tercer ruido después del segundo en personas jóvenes, o un segundo ruido que se aprecie doble mientras la persona está inspirando.

### El músculo cardíaco

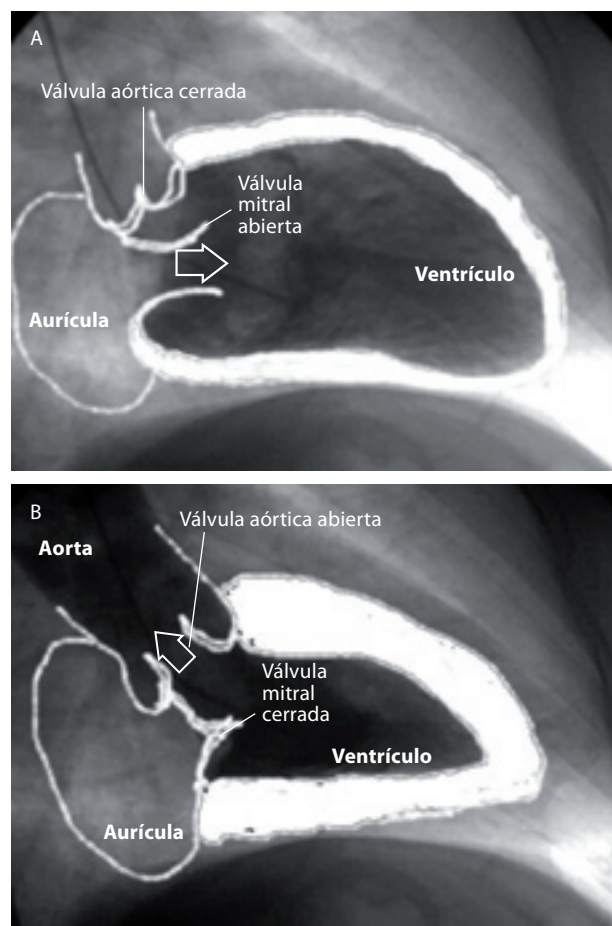
Para que el corazón pueda cumplir su función debe poder tanto relajarse, para permitir su llenado, como contraerse, para provocar la eyección de la sangre. Esto no sería posible si no fuera porque su pared está formada, entre otros tejidos, por músculo (el miocardio). Las células musculares o miocitos cardíacos forman este tejido muscular y tienen en su interior las proteínas responsables de la contracción y la relajación: la actina y la miosina, también llamadas filamentos finos y filamentos gruesos, respectivamente. Estas proteínas se disponen entrelazadamente, de forma que se pueden deslizar entre sí. El calcio es el responsable de que el mecanismo de contracción y relajación se ponga en marcha. Los miocitos cardíacos tienen un sistema de tubuladuras que hacen que el calcio pueda llegar rápidamente a cada fibrilla muscular, de manera que todas se puedan contraer en cada latido.

La contracción se produce de la siguiente manera: cuando a la célula muscular le llega el orden de contraerse mediante un impulso eléctrico, se produce la liberación de calcio en su interior. Este calcio permite que se fusionen la actina y la miosina. Al unirse, la miosina utiliza energía para deslizar sobre la actina, y la célula acorta su longitud, es decir, se contrae. Para que se produzca la relajación, el calcio sale de la célula muscular, lo que provoca que la actina y la miosina se separen, y cese así la contracción. Este proceso ocurre de forma continua y ordenada en todas las células musculares cardíacas, gracias a las uniones comunicantes entre ellas y al sistema de conducción de los impulsos eléctricos.

### La actividad eléctrica del corazón

El corazón tiene un sistema de conducción cardíaco que permite que la orden de contracción llegue a todas sus células musculares en una secuencia ordenada. Este sistema está formado por el nodo sinusal, el nodo auriculoventricular, el haz de His y el sistema de Purkinje. El sistema funciona de forma parecida al circuito eléctrico de un aparato automático, que en este caso sería el propio

corazón, cuya misión es funcionar ininterrumpidamente, con una fuerza y una frecuencia (número de contracciones por minuto) adecuadas a las necesidades del organismo. El nódulo sinusal sería el *procesador electrónico* que decide cuándo debe contraerse el corazón; lanza entonces un impulso eléctrico que llega a las aurículas y al nódulo auriculoventricular. Este nódulo sería un *segundo procesador*, que se encarga de controlar que el nódulo sinusal no se haya equivocado, actuando a modo de filtro si vienen más impulsos eléctricos de los necesarios, o envía sus propios impulsos eléctricos si no llega ningún impulso del nódulo sinusal. Los impulsos que salen del nódulo auriculoventricular pasan a una red de



Diástole (A) y sístole (B). Imágenes obtenidas de un cateterismo sobre las que se ha dibujado el perfil de la aurícula izquierda, la válvula mitral, el ventrículo izquierdo, la válvula aórtica y la aorta. En la diástole, la válvula mitral permanece abierta y la aórtica, cerrada. En la sístole, se contrae la pared del ventrículo, se cierra la válvula mitral y se abre la aórtica; se produce entonces la expulsión de sangre desde el ventrículo izquierdo hacia la aorta.

conducción que distribuye el impulso eléctrico por los dos ventrículos: el haz de His y el sistema de Purkinje, que a su vez lo distribuyen por los ventrículos. Todo este proceso no lleva más de 0,3-0,4 segundos.

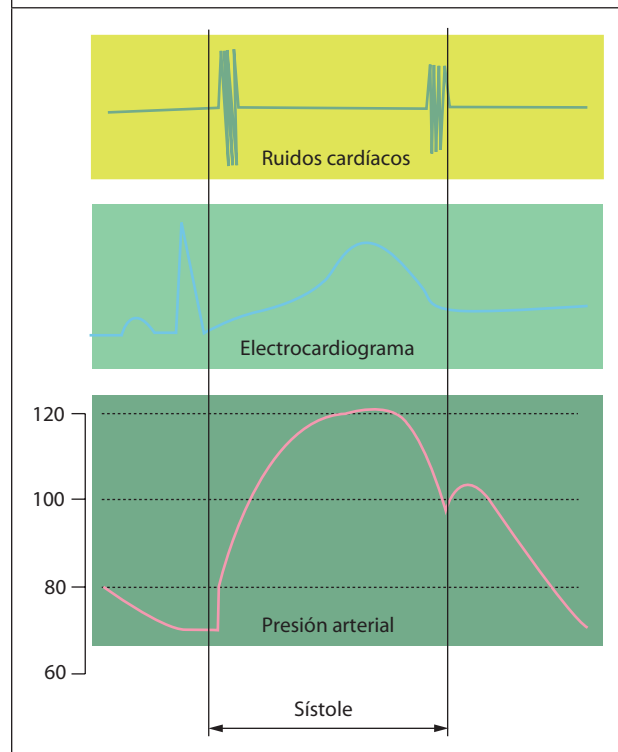
El paso de esta corriente eléctrica por el corazón se detecta fácilmente mediante el electrocardiograma. Cada una de estas partes del sistema de conducción tiene la propiedad de poder activarse de forma espontánea y provocar la contracción cardíaca; es lo que se llama *función de marcapasos*. Cuando el individuo tiene un corazón sano, es el nodo sinusal el responsable del latido cardíaco, por lo que también se lo conoce como *marcapasos fisiológico o normal*. Conforme se avanza a otros elementos del sistema de conducción, la frecuencia de activación es menor, es decir, más lenta. Por tanto, el más rápido es el nodo sinusal, luego el nodo auriculoventricular, posteriormente el haz de His y, por último, el sistema de Purkinje. Cuando el nodo sinusal no funciona correctamente, la responsabilidad del latido cardíaco recae sobre los *otros marcapasos*, y es el nodo auriculoventricular el siguiente en rapidez.

El nodo sinusal hace que el corazón lata entre 60 y 100 veces por minuto; dicho de otra forma, la frecuencia cardíaca normal es de 60 a 100 latidos por minuto. Cuando ésta disminuye por debajo de 60, recibe el nombre de *bradicardia*; y si aumenta por encima de 100, se denomina *taquicardia*. Con el ejercicio se produce una taquicardia fisiológica (o normal). De la misma forma, durante el sueño o la relajación tiene lugar la bradicardia fisiológica.

### La regulación cardíaca

El corazón está dotado de un sistema de regulación intrínseco (propio) que genera contracciones rítmicas adecuadas a cada situación del organismo. Éste no se controla de forma voluntaria. Su regulación depende del llamado *sistema nervioso autónomo*, que tiene dos componentes: el sistema simpático y el sistema parasimpático. El componente simpático produce un aumento en la frecuencia cardíaca (mayor número de latidos o pulsaciones por minuto), y un incremento en la fuerza de contracción cardíaca. El componente parasimpático se ocupa de lo contrario: disminuye la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción. En una situación de normalidad, ambos componentes se mantienen en equilibrio, pero en determinadas ocasiones, uno predomina sobre el otro. Por ejemplo, durante el ejercicio existe una activación simpática que origina, entre otras cosas, un aumento de la fuerza de contracción y de la frecuencia cardíacas. En el otro extremo, un estímulo

**FIGURA 1. Esquema de los ruidos cardíacos, el electrocardiograma y la presión arterial**

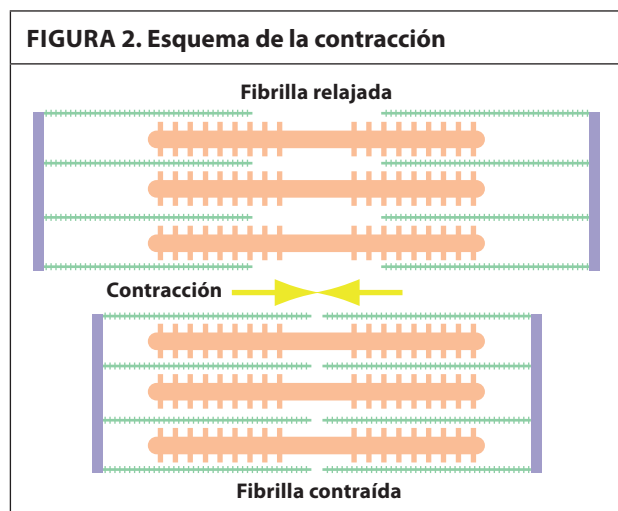


Esquema sencillo de los ruidos cardíacos, el electrocardiograma y la curva de presión arterial. La activación eléctrica del corazón se refleja en el electrocardiograma con la aparición de las ondas QRS (véase el capítulo sobre el electrocardiograma). Seguidamente se producen el ascenso en la curva de presión arterial y el primer ruido cardíaco.

potente del sistema parasimpático puede producir una bajada importante en la frecuencia cardíaca.

### La irrigación del corazón

Además de llevar sangre a todos los órganos del cuerpo, el corazón tiene su propio sistema de irrigación sanguínea, de forma que las células cardíacas tengan suficiente aporte de oxígeno y nutrientes. Este sistema está formado por las arterias y las venas coronarias. Cuando el corazón está en fase de sístole, es decir, de contracción ventricular, las arterias coronarias quedan comprimidas por la fuerza del ventrículo y no pueden transportar la sangre al corazón. Es, por tanto, en la fase de diástole o de relajación ventricular cuando el corazón se puede nutrir a través de las arterias coronarias (llamadas así porque rodean el corazón a modo de corona). Este fenómeno cobra importancia en las situaciones en que se acorta el tiempo de diástole, como



Esquema de la contracción con el deslizamiento de los filamentos finos (actina) y gruesos (miosina). Este deslizamiento produce el acortamiento de las fibrillas musculares cardíacas y, finalmente, la contracción del ventrículo.

en la taquicardia. Al durar menos la relajación ventricular, el tiempo que permanecen abiertas las arterias coronarias es menor.

La circulación del corazón tiene preferencia sobre la de otros órganos. Al ser éste una estructura imprescindible para la vida, es prioritario que le llegue una cantidad suficiente de sangre en todo momento. Así, cuando se produce una situación en la que hay menos sangre de la que debería, o las arterias no tienen la presión necesaria para irrigar los órganos, se produce un aumento de la llegada de sangre al corazón, y una disminución de ésta con respecto a otros órganos, como la piel o los tejidos del abdomen. Esto se consigue gracias a la regulación del sistema nervioso autónomo, que permite que las arterias coronarias aumenten su grosor, mientras que el de las arterias de otros órganos disminuye.

### El sistema circulatorio

Anteriormente se ha comentado que el corazón y los vasos sanguíneos constituyen un sistema perfecto de riego sanguíneo. Pues bien, en realidad, el aparato circulatorio se compone de dos sistemas de riego conectados en serie: el circuito sistémico y el circuito pulmonar. La circulación sistémica tiene como objetivo llevar la sangre a todas las células del organismo para que puedan obtener el oxígeno y los nutrientes que ésta transporta, así como recoger las sustancias de desecho. El objetivo de la circulación



El pulso radial se localiza en la muñeca, cerca del dedo pulgar.

pulmonar es llevar a los pulmones la sangre que ha recorrido ya todo el organismo, y que tiene ya poco oxígeno, para que vuelva a oxigenarse. El corazón es la bomba encargada de poner en marcha ambos circuitos.

En cuanto a los vasos sanguíneos por donde sale la sangre del corazón, o grandes arterias, son dos: la aorta, que procede del ventrículo izquierdo, y la arteria pulmonar, proveniente del ventrículo derecho. Los vasos sanguíneos que llevan la sangre hacia el corazón se llaman *venas*; al final, desembocan en las aurículas. Las principales son: las venas pulmonares (normalmente hay cuatro), que entran en la aurícula izquierda, y las venas cavas (habitualmente existen dos: inferior y superior), que entran en la aurícula derecha.

### La circulación sistémica

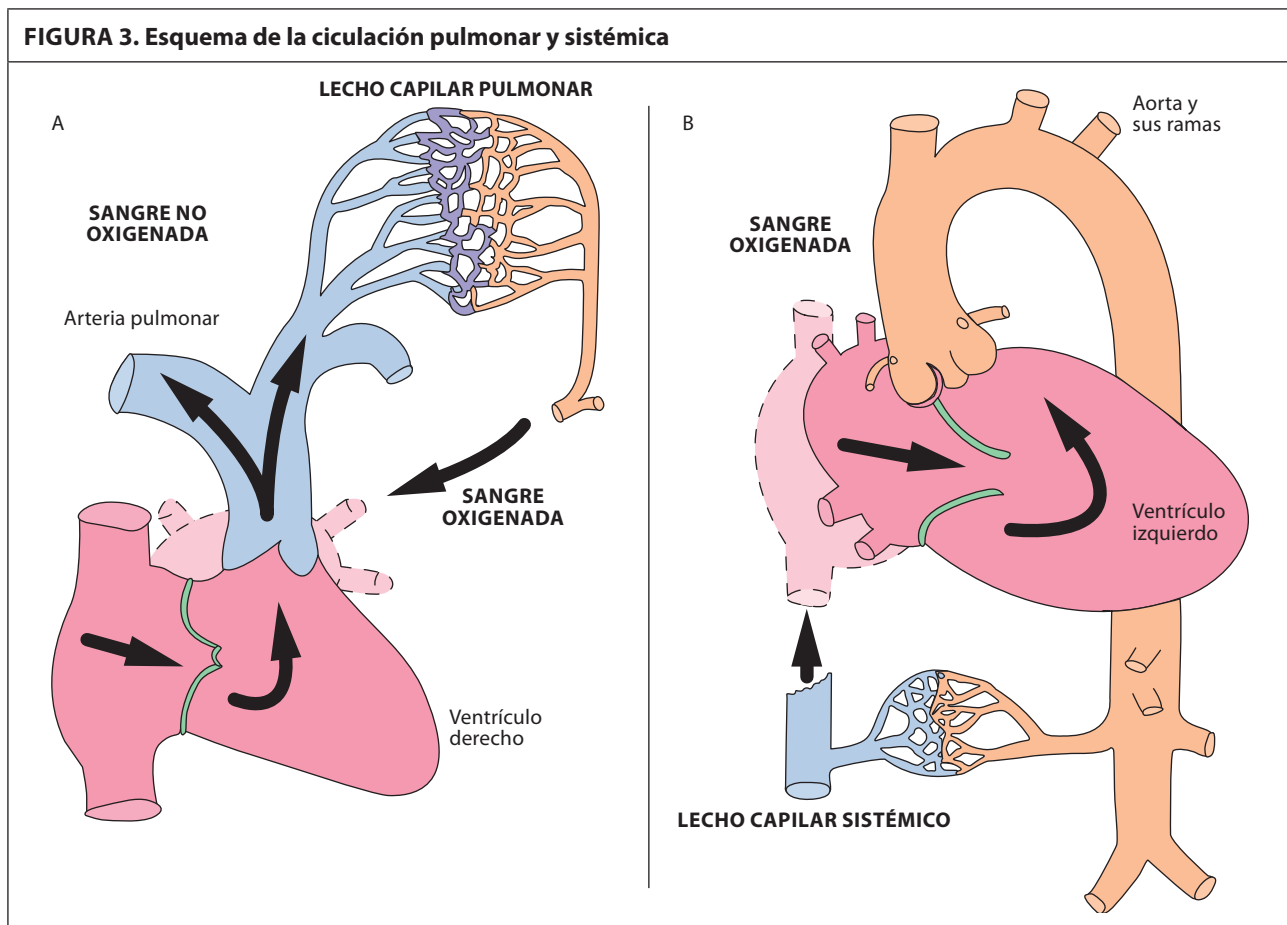
La circulación sistémica comienza en el ventrículo izquierdo, que con cada latido produce la expulsión de la sangre que contiene a través de la arteria aorta. Esta sangre llega a todas las células del organismo a través de sus sucesivas ramificaciones. Las células obtienen el oxígeno y los nutrientes que necesitan de esta sangre, y a ella vierten las sustancias de desecho. La sangre con poco oxígeno vuelve entonces al corazón a través de las venas. Las pequeñas venas convergen y forman otras mayores hasta llegar a las venas cavas, superior e inferior, que desembocan en la aurícula derecha.

La cantidad de sangre que el ventrículo izquierdo expulsa en cada latido es de unos 70-90 ml, lo que supone que el ventrículo no se vacía del todo, puesto que su capacidad es de 130 ml aproximadamente. Por tanto, el ventrículo izquierdo de una persona sana expulsa un 65% de su contenido de sangre; es decir, la fracción de eyección normal del ventrículo izquierdo es del 65%. Cuando el corazón enferma y pierde su fuerza para expulsar la sangre, esta fracción de eyección disminuye. Saber cuánto desciende es un dato importante para conocer el pronóstico del paciente.

Durante la sístole, se ha visto que la sangre sale del ventrículo izquierdo hacia la aorta y sus ramas. Este desplazamiento de sangre hacia delante forma una onda de

presión que expande las paredes de las arterias, que se puede palpar; es lo que se denomina *pulso*. El punto más conocido para palparlo se sitúa en la muñeca.

Otro concepto derivado de esta onda de presión es la tensión arterial. Comúnmente se denomina *tensión arterial* a la presión que se mide en una arteria del brazo llamada *arteria humeral*. Habitualmente, la presión se mide con un manguito de presión y un fonendoscopio. La tensión arterial se expresa mediante dos cifras: una máxima y una mínima. La máxima es la presión que tiene la arteria durante la sístole, es decir, durante el período de contracción del corazón. Durante este período el ventrículo impulsa la sangre, de ahí que sea lógico que en este momento del ciclo la presión sea la mayor. La mínima, por el contrario, es



Circulación pulmonar (A) y sistémica (B). La sangre no oxigenada, recogida en las venas, pasa a la aurícula derecha, de ésta al ventrículo derecho y de aquí a la arteria pulmonar. A partir de entonces se distribuye por los vasos pulmonares hasta llegar a los capilares alveolares (sistema capilar pulmonar), donde la sangre se recarga de oxígeno y se desprende del anhídrido carbónico. De los capilares pasa a las venas pulmonares y, finalmente, desemboca en la aurícula izquierda. La sangre rica en oxígeno sale del ventrículo izquierdo a la aorta, desde donde se distribuye a todos los órganos del cuerpo. Tras pasar por los capilares, regresa a las venas y finalmente a la aurícula derecha.



la presión que tiene la arteria durante la diástole, es decir, cuando el ventrículo está relajado. Durante esta etapa las válvulas de salida del ventrículo están cerradas y la sangre impulsada por la sístole anterior se está distribuyendo por todo el árbol arterial. Por lo tanto, la tensión dentro de las arterias va bajando lentamente. Cuanto más larga sea la diástole, más puede bajar la tensión mínima. Esta relación de la presión con el ciclo cardíaco se aprecia muy bien en las curvas de presión.

La tensión arterial normal en adultos jóvenes es de 120/70 (120 es la presión máxima o sistólica y 70 es la presión mínima o diastólica). Se considera que una tensión es demasiado alta, o hipertensión arterial, si es mayor de 140/90.

La tensión arterial aumenta en determinadas circunstancias fisiológicas o normales, como con las emociones o el ejercicio. También disminuye en otras circunstancias, por ejemplo, durante el sueño.

### La circulación pulmonar

La circulación pulmonar comienza en el ventrículo derecho. Durante la sístole, éste se contrae e impulsa la sangre a través de la arteria pulmonar, que no lleva la sangre a todo el organismo, sino solamente a los pulmones. Esta arteria se va ramificando y finalmente forma unos vasos sanguíneos muy pequeños llamados *capilares pulmonares*. Estos capilares (de *capilo*, 'cabello') tienen una pared muy delgada y permiten que entre el oxígeno y se introduzca en las células rojas de la sangre (hematíes), que son las responsables del transporte del oxígeno y, a la vez, eliminan el dióxido de carbono acumulado. Así, se obtiene de nuevo una sangre oxigenada lista para llevar de nuevo el oxígeno a todo el organismo. De los capilares pulmonares, la sangre pasa a unas venas, que finalmente forman las cuatro venas pulmonares y desembocan en la aurícula izquierda.

El circuito pulmonar funciona con unas presiones mucho más bajas que el circuito sistémico. Por este motivo, el ventrículo derecho normal tiene unas paredes mucho más finas que el ventrículo izquierdo. La hipertensión pulmonar no tiene nada que ver con la hipertensión arterial. La hipertensión pulmonar es el aumento de la presión en la arteria pulmonar, y puede darse tanto en niños, frecuentemente asociada a enfermedades cardíacas congénitas (de nacimiento), como en adultos. En éstos, si no se consigue revertir, acaba dañando la función del ventrículo derecho y provoca una insuficiencia cardíaca derecha.

### El colapso o choque circulatorio

Cuando el sistema circulatorio no es capaz de aportar suficiente riego a todo el organismo, se produce el colapso circulatorio o estado de choque circulatorio (en inglés se denomina *shock*). El choque circulatorio se caracteriza por la tensión arterial baja y la sensación de gravedad. Es una situación dramática en la que no se aporta suficiente riego sanguíneo a los órganos, lo que puede llegar a producir el fracaso multiorgánico y finalmente la muerte. El choque circulatorio puede tener lugar por un fallo en cualquiera de los elementos que componen el sistema circulatorio: los vasos sanguíneos, el corazón o el contenido del sistema circulatorio. Cuando lo que falla es el contenido, se habla de choque hipovolémico. Las causas más comunes son la deshidratación o la hemorragia. Cuando falla el corazón, recibe el nombre de choque cardiogénico. La causa más frecuente es el infarto de miocardio. Finalmente, cuando fallan los vasos, se llama choque vasogénico o distributivo. Un ejemplo de este último es el choque anafiláctico, producido a consecuencia de una reacción alérgica grave. Cada una de las formas de choque tiene una respuesta adaptativa diferente; estas diferencias ayudan al médico a identificar rápidamente cuál es la causa y así iniciar las medidas convenientes de reanimación circulatoria.

## Consultas más frecuentes

### ¿Qué es el ciclo cardíaco?

Es la sucesión ordenada de movimientos del corazón que se repite con cada latido cardíaco. Tiene dos fases: la diástole, en la que se llenan los ventrículos, y la sístole, durante la cual éstos se contraen e impulsan la sangre a los vasos sanguíneos.

### ¿Qué son los ruidos cardíacos?

Son los producidos por las válvulas cardíacas al cerrarse. El primer ruido lo genera el cierre de las válvulas mitral y tricúspide, e indica el comienzo de la sístole. El segundo lo causa el cierre de las válvulas pulmonares y señala el comienzo de la diástole.

### ¿Qué es el pulso?

En cardiología, el pulso es la percepción del impulso de la sangre al tocar sobre una arteria. El más conocido es el pulso radial, localizado en la muñeca. También se denomina *pulso* al número de veces que se nota el pulso por minuto (también conocido como *pulsaciones por minuto*).

### ¿Cuál es la diferencia entre las venas y las arterias?

Las arterias son los vasos que impulsan la sangre hacia los órganos; las venas recogen la sangre de los órganos o tejidos y la llevan hacia el corazón.

### ¿Las arterias llevan sangre arterial?

Se denomina *sangre arterial* a la que está enriquecida en oxígeno, y *sangre venosa* a la que es pobre en dicho elemento. En la circulación sistémica, las arterias llevan sangre arterial a los órganos. En la circulación pulmonar, las arterias llevan sangre venosa a los pulmones.

## Glosario

**Anafilaxia o shock anafiláctico:** tipo de reacción alérgica muy grave en la que se produce choque circulatorio. Si no se ataja a tiempo y adecuadamente, puede causar la muerte.

**Auscultar:** oír los ruidos de algún órgano o vaso sanguíneo a través del fonendoscopio.

**Congénitas:** enfermedades que aparecen ya desde el nacimiento. Algunas pueden ser hereditarias.

**Eyección:** salida de sangre del corazón con cada latido.

**Fisiológico:** funcionamiento normal de un órgano o de un tejido.

**Fonendoscopio:** instrumento que permite oír los ruidos producidos por el corazón u otros órganos (como el pulmón o el intestino) o los vasos sanguíneos. Se conoce también como estetoscopio.

**Órgano:** cada una de las partes del cuerpo que posee una función.

**Proteínas:** sustancias del organismo, ricas en aminoácidos, que son fundamentales para las estructuras y para numerosas funciones. Son el componente más importante de los músculos.

**Sistema nervioso autónomo:** sistema que funciona con independencia de la voluntad y controla importantes funciones del organismo, como el ritmo del corazón, la contracción de las arterias, los movimientos del intestino o la sudoración.

## Bibliografía

FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE CARDIOLOGÍA. *Descubre tu corazón. ¿Qué es y cómo funciona?* <http://www.fundaciondelcorazon.com>. (Fecha de consulta: 28/11/08.)

GANONG, W. F. «El corazón considerado como una bomba». En W. F. Ganong. *Fisiología médica*. México, D. F.: El Manual Moderno, 2002, 613-624.

GUYTON, A. C., y J. E. HALL. «El corazón». En *Manual de fisiología médica*. Madrid y Barcelona: McGraw-Hill, 2001, 115-127.

MERCK & Co. *Manual Merck de información médica para el hogar*. Cap. 14, *Biología cardiovascular*. [http://www.msd.es/publicaciones/mmerck\\_hogar/seccion\\_03/seccion\\_03\\_014.html](http://www.msd.es/publicaciones/mmerck_hogar/seccion_03/seccion_03_014.html). (Fecha de consulta: 28/11/08.)

TEXAS HEART INSTITUTE. *Centro de información cardiovascular. El latido cardíaco*. [http://www.texasheartinstitute.org/HIC/Anatomy\\_Esp/systole\\_sp.cfm](http://www.texasheartinstitute.org/HIC/Anatomy_Esp/systole_sp.cfm). (Fecha de consulta: 28/11/08.)

## Resumen

- El corazón es la bomba que impulsa la sangre en el sistema circulatorio. Los ventrículos son los responsables de lanzar la sangre con fuerza a este sistema. Para que la sangre fluya eficientemente en el sentido correcto, los ventrículos tienen válvulas de entrada (mitral y tricúspide) y válvulas de salida. El corazón necesita un sistema de riego propio, las arterias coronarias, y un sistema de conducción de los impulsos eléctricos.
- El ventrículo derecho impulsa la sangre al sistema circulatorio pulmonar, donde la sangre venosa se oxigena y luego, convertida ya en sangre arterial, llega a la aurícula izquierda a través de las venas pulmonares. El ventrículo izquierdo trabaja a más presión porque es responsable de

enviar sangre al sistema circulatorio sistémico o general. Mediante este sistema arterial, la sangre llega a todos los órganos del cuerpo. La sangre sale de los órganos convertida en sangre venosa, que llega a la aurícula derecha a través de las venas cavas.

- Cuando las presiones en el sistema circulatorio sistémico son demasiado altas, se dice que existe hipertensión arterial. En cambio, cuando la presión está alta en el sistema circulatorio se habla de hipertensión pulmonar. Si el sistema circulatorio no impulsa suficiente flujo de sangre, los órganos sufren esta falta de aporte y se produce la situación de choque cardíaco o colapso circulatorio.

