

## Tema 6: Circulación arterial y regulación de la presión

El corazón izquierdo impulsa la sangre a través de la **circulación sistémica**, hasta que llega nuevamente al corazón; por lo tanto, el lugar de máxima presión es la aorta y el de menor presión la aurícula derecha. El corazón derecho impulsa la sangre a través de la **circulación pulmonar**, donde la resistencia al flujo es mucho menor que en la sistémica y por ello la presión necesaria es menor.

La circulación sistémica puede dividirse en:

- un sistema de **distribución**, formado por las **arterias**.
- un sistema de **resistencia variable**, formado por las **arteriolas**.
- un sistema de **intercambio** de sustancias con los líquidos extracelulares: el **sistema capilar**.
- un sistema **colector**, formado por las **venas**.

### Características de las arterias

Las arterias tienen dos funciones principales:

- actúan como **tubos** de baja resistencia que llevan la sangre desde el corazón hasta las arteriolas.
- **almacenan** sangre durante la diástole, de manera que llegue a las arteriolas con un flujo continuo. Esto se debe en gran parte a la capacidad de distensión de los vasos.

Al igual que arteriolas y venas, las arterias tienen tres capas:

- **túnica íntima**: formada por el **endotelio**, membrana basal y colágeno. Reduce la fricción de la sangre.
- **túnica media**: que contiene musculatura lisa y tejido elástico (elastina, colágeno). El músculo permite regular la luz del vaso. El tejido elástico le confiere a los vasos la capacidad de almacenamiento.
- **túnica adventicia**: formada por tejido conjuntivo (fundamentalmente colágeno). Le confiere resistencia y sujeta el vaso a los tejidos adyacentes.

Las proporciones de cada capa varían dependiendo del tipo de vaso.

### Presión arterial

El pulso arterial consiste en una onda de presión que se propaga a lo largo de las arterias. La presión en las arterias varía en forma más o menos triangular (la parte descendente de la onda tiene una muesca –muesca dicrótica- que corresponde al cierre de la válvula aórtica). Se denomina:

- **presión sistólica** a la presión máxima.
- **presión diastólica** a la presión mínima.
- **presión del pulso** a la diferencia entre la sistólica y la diastólica.
- **presión media** al promedio de todo un ciclo.

#### *Medida de la presión arterial*

En el hombre el método más común es el del **esfigmomanómetro** (método auscultatorio): consiste en aplicar presión al exterior de una arteria mediante un brazalete de goma hinchable, esto dificulta el flujo de sangre por la arteria, causando unos ruidos característicos debido al flujo turbulento de la sangre (Korotkoff). Estos ruidos pueden oírse con el **estetoscopio**. El brazalete está conectado con un manómetro.

El procedimiento es como sigue: se coloca el brazalete en la parte superior del brazo, de manera que este queda situado sobre la arteria radial. Se hincha el brazalete hasta que su presión sea superior a la de la arteria, cesando el flujo de sangre. A continuación se va disminuyendo la presión lentamente; la presión correspondiente

al momento en el que aparecen los primeros ruidos es la presión sistólica, y la presión que existe en el momento que cesan los ruidos es la presión diastólica.

#### *Factores cardiovasculares que influyen en la presión arterial*

La presión arterial depende de:

- el **gasto cardíaco**: éste variará dependiendo de las demandas metabólicas del organismo (reposo-ejercicio).
- la **resistencia periférica o sistémica**. Es la resistencia total al flujo ofrecida por todos los vasos de la circulación sistémica. Está determinada principalmente por el tamaño de las arteriolas, lo cual regula el flujo de sangre que llega a cada órgano. Si las arteriolas disminuyen de tamaño la presión se eleva, y si se abren la presión descende. Este flujo se está regulando constantemente y no es el mismo para todos los órganos. Por ejemplo, el flujo de sangre al riñón y al cerebro se mantiene muy constante, mientras que el músculo en reposo tiene un bajo aporte sanguíneo, que puede llegar a multiplicarse por 40 durante el ejercicio. El flujo en cada momento depende del grado de contracción o relajación del músculo liso de las arteriolas.

Por lo tanto, tenemos la siguiente relación:

$$\text{Presión arterial} = \text{gasto cardíaco} \times \text{resistencia periférica}$$

De las tres variables, la que menos oscila es la presión arterial, que se mantiene prácticamente constante variando principalmente la resistencia periférica. Los valores normales para la población, en una persona de mediana edad (hay un aumento con la edad) son de unos 130 mm Hg de presión sistólica y 80 mm Hg de presión diastólica (130/80). El 80 % de la población normal se mueve en un intervalo de  $\pm 10$  mm Hg respecto a estos valores.

#### **Regulación de la presión arterial**

Existen mecanismos de regulación a corto (seg, min), medio (min, horas) y largo plazo (días, meses).

Mecanismos de regulación rápida. Los centros encargados de este control se encuentran en la formación reticular del tronco del encéfalo. Influyen en el corazón mediante fibras simpáticas y parasimpáticas, y sobre los vasos sanguíneos mediante fibras simpáticas. El principal mecanismo de regulación rápida está activado por receptores de presión: **barorreceptores** (se estimulan por el estiramiento de la pared arterial). Están situados entre la cabeza y el corazón, en el camino directo al cerebro; los principales se encuentran en el arco aórtico y seno carotídeo. Los barorreceptores envían la información al **centro vasomotor** del tronco (a través del nervio vago, glosofaríngeo, etc). La estimulación de éste por un aumento de presión produce disminución de la frecuencia cardíaca (disminuye el gasto) y vasodilatación de todo el sistema circulatorio periférico (disminuye resistencia periférica), por lo que se produce una disminución de la presión. Por el contrario, el descenso de la presión tiene los efectos opuestos.

Mecanismos de regulación a medio plazo. Existen tres principales:

- sistema vasoconstrictor renina-angiotensina: la **renina** es una enzima liberada por los riñones a la circulación cuando disminuye la presión arterial. Esta enzima cataliza la formación de angiotensina I (un péptido); a partir de la cual se forma **angiotensina II**, que es un potente vasoconstrictor.
- filtración capilar: si la presión capilar disminuye, entra líquido extracelular a la circulación, aumentando el volumen sanguíneo y la presión.
- relajación ante el estrés: consisten en una distensión de los vasos que se produce cuando la presión es alta.

Mecanismos de regulación a largo plazo. Este control se lleva a cabo en los riñones, los cuales regulan el volumen del líquido extracelular: el aumento de presión arterial

origina un aumento de la eliminación de líquido extracelular por los riñones (agua y sal). Al contrario, una disminución de la presión provocaría un incremento de la retención renal. Además, el sistema renina-angiotensina también actúa a largo plazo en el aumento de la presión arterial, pues, mediante la estimulación de secreción de aldosterona (secretada por la corteza suprarrenal), disminuye la eliminación renal de agua y sal, aumentando el volumen de líquido extracelular.

### **Circulación venosa**

#### *Estructura de las venas*

Al igual que las arterias, están formadas por tres capas, pero sus paredes son mucho más finas, con mucho menos tejido elástico y muscular; por ello son mucho más distensibles y menos rígidas que las paredes arteriales. En muchas ocasiones discurren junto a las arterias, compartiendo a veces una capa de tejido conjuntivo.

En las venas largas, principalmente en las de las extremidades inferiores, el revestimiento endotelial se proyecta hacia el interior, formando **válvulas**. Estas válvulas condicionan la dirección del flujo de la sangre. Para favorecer este flujo y el retorno de la sangre al corazón, las venas son fácilmente comprimidas por las contracciones de los músculos circundantes, así como por las ondas del pulso de las arterias que viajan paralelas.

El músculo liso de las paredes venosas está inervado por el SN simpático; la actividad de éste produce contracción, disminuyendo la luz de los vasos.

#### *Funciones de las venas*

Las venas tienen dos funciones principales:

- actúan como un sistema colector, de baja resistencia, que devuelve la sangre de todo el organismo al lado derecho del corazón.
- actúan como un sistema de almacenamiento, de modo que contienen en cualquier momento más del 50 % de la sangre.

#### *Flujo y presión venosa*

El flujo en las venas es más continuo que en las arterias. La presión en el sistema venoso debe ser inferior a la que existe en los capilares, pero lo suficientemente alta para llenar el corazón y poder así mantener el gasto cardíaco. La presión media del sistema venoso suele ser inferior a 18 mmHg; la presión de la aurícula es menor de 5 mmHg.

Como las venas son estructuras de paredes finas, su forma depende en gran manera de la presión; si es alta su forma es circular, pero si es baja se colapsan y son difíciles de detectar por debajo de la piel (aunque la sangre siga discurrendo por ellas). Estos cambios de la presión venosa se pueden observar fácilmente en las venas del cuello (por ejemplo al inflar un globo, tocar una trompeta); ello es así porque los cambios de presión en la aurícula derecha y los aumentos de presión intratorácica distienden rápidamente esas venas.

La presión venosa se mantiene constante variando el volumen del reservorio venoso, en el cual participa la musculatura lisa de sus paredes. La tensión de esta musculatura controla el grado de distensión de la pared de las venas.

### **Microcirculación**

La microcirculación incluye la red capilar y los vasos asociados. En ella se produce el intercambio de gases, nutrientes, etc. Para llevar a cabo sus funciones, la sangre circula despacio por los capilares. Prácticamente ninguna célula del organismo está a una distancia mayor del 10µm de un capilar (excepto en el cristalino y en el cartílago).

### *Arteriolas*

Las arteriolas son vasos de paredes musculares, con una luz menor de 0,3 mm de diámetro. Estos vasos dan lugar a los capilares, aunque también presentan conexiones directas con las vénulas a través de dos tipos de vasos de derivación:

- **metaarteriolas:** existen en todos los tejidos. Sus paredes poseen tejido muscular de manera discontinua. Los capilares también se originan a partir de estos vasos.
- **anastomosis A-V:** son conexiones cortas entre el sistema arterial y el venoso que existen en algunos epitelios.

### *Capilares*

El lecho capilar está formado por vasos delgados, con paredes de 1µm de grosor y luz con un diámetro de unos 8µm, justo lo suficiente para dejar pasar a los eritrocitos. La pared de estos vasos tiene una única capa de células: el endotelio. Como se acaba de describir, los capilares nacen como ramificaciones laterales de las arteriolas y metaarteriolas; alrededor de los puntos de origen hay células musculares que actúan como **esfínteres precapilares**, los cuales controlan el flujo de sangre a su través.

Todos los tejidos (excepto el cristalino y el cartílago) tienen este tipo de microcirculación (los capilares del bazo e hígado forman sinusoides en lugar de verdaderos capilares). La mayoría de los órganos tienen tantos capilares que pueden ser considerados como esponjas llenas de sangre; cuando un músculo u otro órgano se contrae exprime parte de esa sangre a la circulación general, lo cual influye en la circulación.

La disposición de los capilares depende del tipo de tejido:

- en la piel se disponen como lazos que se dirigen hacia la superficie y a continuación vuelven hacia el interior.
- en los músculos se disponen longitudinalmente entre las fibras musculares.
- en membranas (como la pleura o el peritoneo) consisten en redes aplanadas.

### *Intercambio entre capilares y células*

El espacio que separa a la mayoría de las células de un capilar es inferior a 10µm. El movimiento de sustancias a través de la pared capilar, el espacio intersticial y la membrana celular se produce por **difusión**, proceso en el cual la materia es transportada, mediante movimientos espontáneos al azar de las moléculas individuales, desde las zonas de mayor concentración a las de menor. Las sustancias atraviesan la pared capilar moviéndose a través de canales entre las células, aunque también existe la hipótesis de que el intercambio se produzca mediante vesículas formadas en las células del endotelio.

Para que el intercambio sea efectivo el factor crítico es el área total de la superficie disponible; la gran área de superficie de la pared capilar (aproximadamente dos campos de tenis) se consigue haciendo los capilares tan delgados como lo permita la circulación de los eritrocitos en su interior.

### *Control de la circulación capilar*

Toda la sangre que el corazón expulsa en cada latido fluye a través de la microcirculación, de forma que el tamaño de sus vasos determina la resistencia periférica total del sistema vascular.

- el SN controla la resistencia periférica y la llegada de sangre a los distintos órganos variando el nivel de contracción del músculo liso de la pared de las arteriolas y metaarteriolas. El músculo arteriolar está ricamente innervado, principalmente por nervios simpáticos que liberan noradrenalina produciendo vasoconstricción, aunque en los vasos del músculo esquelético también existe

inervación simpática que libera ACh la cual dilata las arteriolas. En algunas regiones también existen vasos con innervación parasimpática, que liberan ACh, produciendo dilatación.

- autorregulación: en cada tejido, la concentración de O<sub>2</sub> y de metabolitos locales controlan los esfínteres precapilares: por ejemplo, la disminución de O<sub>2</sub> produce la dilatación de los esfínteres y con ello el aumento de flujo hacia los capilares. Una de las sustancias sintetizadas en el endotelio y que afectan al estado contráctil de las arteriolas es el **factor relajante derivado del endotelio**, cuya composición química se desconocía hasta hace poco; ahora se sabe que es el **óxido nítrico**.

### **Sistema linfático**

El sistema linfático es un sistema de vasos que se encuentra en la mayoría de tejidos del cuerpo. Recoge el exceso de líquido intersticial y proteínas, devolviéndolos a la circulación venosa. También constituye una de las vías principales de absorción de productos nutritivos desde el tubo digestivo. Las sustancias de elevado peso molecular como las proteínas, no pueden ser reabsorbidas por los capilares venosos, por lo que son eliminadas a través de los **capilares linfáticos**. Estos capilares presentan un endotelio con conexiones intercelulares muy laxas.

Una vez que el líquido intersticial penetra en el sistema linfático pasa a denominarse **linfa**. De manera similar al sistema venoso, existen válvulas que facilitan el flujo de linfa en una dirección. La linfa de la parte inferior del cuerpo y de la mitad izquierda del resto del cuerpo se concentra finalmente en el **conducto torácico**, el cual está conectado con el sistema venoso. La linfa de la mitad derecha del cuerpo (cabeza, cuello, brazo y tórax) se concentra normalmente en el **conducto linfático derecho**.

El sistema linfático también participa en el sistema inmune: en los **ganglios linfáticos**, que se encuentran localizados a lo largo de los vasos linfáticos, se producen y acumulan linfocitos. También existen macrófagos. Los elementos extraños que no son destruidos en los tejidos, penetran en la linfa y fluyen a través de los vasos linfáticos hasta los ganglios, en donde son atacados.

---

Para la próxima clase debes:

- leer el texto y tratar de comprenderlo.
  - conocer los mecanismos de regulación de la presión arterial.
  - saber representar en un dibujo la estructura de la microcirculación.
  - diferenciar las funciones de la circulación sanguínea y linfática.
-