**VISIÓN GENERAL DE LA CIRCULACIÓN; BIOFÍSICA DE LA PRESIÓN, EL FLUJO Y LA RESISTENCIA**

**CAPÍTULO 14 ☺**

La función de la circulación es atender a las necesidades del organismo, en general su función es mantener un entorno apropiado en todos los líquidos tisulares del organismo para lograr la supervivencia y funcionalidad óptima de las células.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA CIRCULACIÓN**

La circulación está dividida en circulación sistémica/mayor/periférica (en todos los tejidos del organismo menos en los pulmones) y la circulación pulmonar.

**Componentes funcionales de la circulación**

* **Arterias:** Las arterias son las que llevan la sangre a los tejidos, por ende transportan grandes presiones de sangre y es necesario que sus paredes sean fuertes.
* **Arteriolas:** Son las terminaciones de la circulación arterial y controlan los conductos para el paso de la sangre a los capilares. Tienen paredes musculares fuertes que pueden cerrarse por completo o relajarse (dilatarse) alterando el flujo de sangre, según sus necesidades.
* **Capilares:** Aquí se produce la función más importante de la circulación. Se da el intercambio de sustancias (electrolitos, líquido, nutrientes, hormonas y demás) en la sangre y sustancia intersticial. 🡪 Poros capilares diminutos permeables.
* **Vénulas:** Recogen la sangre de los capilares y se vuelven venas progresivamente.
* **Venas:** Transportan la sangre que vuelve desde las vénulas al corazón. Sirven como reserva importante de sangre. Sus paredes son muy finas pero tienen mucha fuerza muscular para contraerse o expandirse.

**Volumen de sangre en los distintos componentes de la circulación**

* Circulación sistémica🡪 84% de todo el volumen de sangre
* Venas🡪 64%
* Arterias🡪 13%
* Capilares sistémicos y arteriolas🡪 7%
* Circulación pulmonar🡪 16%
* Corazón🡪 7%
* Vasos pulmonares🡪 9%

**Superficies transversales y velocidades del flujo sanguíneo**

|  |  |
| --- | --- |
| Vaso | Superficie transversal (cm2) |
| Aorta | **2.5** |
| Pequeñas arterias | **20** |
| Arteriolas | **40** |
| Capilares | **2,500** |
| Vénulas | **250** |
| Pequeñas venas | **80** |
| Venas cavas | **8** |

Las venas tienen una st mucho mayor a las arterias lo cual representa la capacidad de las venas para almacenar sangre.

Como debe pasar el mismo flujo sanguíneo (F) por cada segmento de la circulación en cada minuto, la velocidad del flujo sanguíneo (v) es inversamente proporcional a la superficie transversal vascular (A) =>

**v=F/A**

**Presiones en las distintas porciones de la circulación**

|  |  |
| --- | --- |
| Circulación sistémica | Circulación pulmonar |
| Presión arterial (aorta) | **Presión arterial (arterias pulmonares)** |
| * Media 100mmhg | * Media 16mmhg |
| * Sistólica 120mmhg | * Sistólica 25mmhg |
| * Diastólica 80mmhg   Presión en capilares   * Cerca de extremos de arteriolas 35mmhg * Cerca de extremos de venas 10mmhg * Media (funcional) lechos v 17mmhg | * Diastólica 8mmhg   **Presión en capilares**   * Media 7mmhg |

**PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FUNCIÓN CIRCULATORIA**

* **La velocidad del flujo sanguíneo en cada tejido del organismo casi siempre se controla con precisión en relación con la necesidad del tejido.**

Esto explica que NO es posible aumentar el flujo sanguíneo de todo el organismo (no se puede aumentar el gasto cardíaco del corazón en más de 4-7 veces su gasto por encima del reposo y hay tejidos que requieren hasta 20 o 30 veces su flujo en reposo), en cambio la microvasculatura de cada tejido controla las necesidades de su territorio. También el sistema nervioso y las hormonas regulan el flujo tisular.

* **El gasto cardíaco se controla principalmente por la suma de todos los flujos tisulares locales.**

El corazón actúa como un autómata en respuesta a las necesidades de los tejidos; cuando la sangre atraviesa un tejido rápidamente llega al corazón por las venas y el corazón responde enviando esta sangre a las arterias. A veces requiere ayuda (señales nerviosas).

* **La regulación de la presión arterial es generalmente independiente del control del flujo sanguíneo local o del control del gasto cardíaco.**

Cuando decae la presión arterial señales nerviosas:

a) Aumentan la fuerza de bomba, b) Contraen los reservorios venosos, c) Constricción generalizada de la mayoría de las arteriolas (se acumula más sangre en las arterias y aumenta la presión). Los riñones también colaboran segregando hormonas y regulando el volumen de sangre.

**INTERRELACIONES ENTRE LA PRESIÓN, EL FLUJO Y LA RESISTENCIA**

El flujo sanguíneo que atraviesa un vaso sanguíneo está determinado por dos factores:

1. Diferencia de presión en la sangre entre dos extremos (gradiente de presión)
2. Los impedimentos del flujo de sangre por el vaso (resistencia vascular)

Ley de Ohm

Para calcular el flujo:

F=ΔP/R 🡪 de esta fórmula se afirma que el flujo es directamente proporcional al ΔP e inversamente a la R

* F🡪 flujo
* ΔP🡪 cambio de presión entre los dos extremos
* R🡪 resistencia

La ley de Ohm de acuerdo a esta ecuación expresa las relaciones más importantes entre todas las existentes que el lector debe conocer para entender la hemodinámica de la circulación.

**Flujo sanguíneo**

Se define como la cantidad de sangre que pasa por cualquier punto dado de la circulación en un período de tiempo determinado. (en ml/min – L/min)

**flujo 5000 ml/min 🡪** Flujosanguíneo global de toda la circulación en un adulto en reposo, **es igual al gasto cardíaco** porque es la cantidad de sangre que bombea el corazón en la aorta en cada minuto.

**Métodos de medición del flujo**

* Dentro del vaso sanguíneo
* Afuera, en la pared del vaso (flujómetro)
  + Flujómetro electromagnético
  + Flujómetro ultrasónico Doppler

**Flujo de sangre LAMINAR en los vasos**

Flujo en equilibrio en un vaso largo y liso, aerodinámico, manteniéndose cada capa de sangre a la misma distancia de la pared del vaso. La porción de sangre más central se mantiene en el centro del vaso. Flujo laminar o aerodinámico.

**Perfil de velocidad parabólica durante el flujo laminar:** Con este flujo la parte central es más rápida, se desplaza antes que los extremos. 🡪 **perfil parabólico de la velocidad del flujo sanguíneo.**

La causa de esto: Las capas de sangre a los extremos se adhieren en la pared del vaso. La siguiente capa de moléculas se desliza sobre la primera, y la tercera sobre la segunda, la cuarta sobre la tercera, etc. Por tanto el líquido de la parte central se puede mover rápidamente porque hay muchas capas de molécuñas deslizantes entre la zona central del vaso y su pared, es decir, **cada capa que se sitúa más hacia el centro fluye progresivamente con más rapidez que las capas más externas.**

**Flujo de sangre TURBULENTO en algunas situaciones**

El flujo turbulento es el flujo sanguíneo que transcurre en todas las direcciones del vaso y se mezcla continuamente en su interior. Cuando la velocidad del flujo sanguíneo es demasiado grande, cuando atraviesa una obstrucción en un vaso, hace un giro brusco o pasa sobre una superficie rugosa, el flujo puede volverse turbulento o desordenado.

Existe corriente en torbellino 🡪 espirales transversales y longitudinales. Se aumenta la resistencia.

El flujo turbulento aumenta en proporción directa con la velocidad del flujo sanguíneo, al diámetro del vaso y a la densidad de la sangre y es inversamente proporcional a la viscosidad de la sangre:

Re=v\*d\*ρ/η

Viscosidad sangre-🡪 1/30 poise

* Re🡪 número de Reynolds
* V🡪 velocidad flujo cm/s
* d 🡪 cm
* ρ🡪 densidad
* η🡪 poise
* Re> 200-400 🡪 se producirá f turbulento en algunas ramas de los vasos pero se desvanecerá en las porciones más pequeñas de los mismos.
* Re>2000 🡪 habrá turbulencia en TODOS los vasos rectos pequeños.
* Re del flujo en el sistema vascular normal 200-400 en grandes arterias
* Re aumenta a varios miles en la porción proximal de la arteria pulmonar y aorta.

Condiciones apropiadas para que haya turbulencia: (aorta-arteria pulmonar)

* Una v elevada del flujo
* Naturaleza pulsátil
* Cambio brusco del diámetro del vaso
* Diámetro de gran calibre

**Presión sanguínea**

**Unidades estándar de presión**

mmHg 🡪 1846 Poiseuille

La presión arterial mide la fuerza ejercida por la sangre contra una unidad de superficie de la pared del vaso. La presión también puede medirse en centímetros de agua (cm H2O).

**Una presión de 1 mmHg es igual a una presión de 1.36cm H2O**, porque la densidad del Hg es 13.6 veces mayor que la del agua y 1cm es 10 veces mayor que 1mm.

**Resistencia al flujo sanguíneo**

**Unidades de resistencia**

La resistencia es el impedimento al flujo sanguíneo en un vaso. No puede determinarse por medios directos sino primero tiene que determinarse el flujo sanguíneo y la diferencia de presión entre dos puntos. Si la diferencia de presión es de 1mmHg y el flujo es de 1ml/s, se dice que la resistencia es de **una unidad de resistencia periférica (PRU).**

**Expresión de la resistencia en unidades CGS (centímetros, gramos, segundos)🡪 dina \* s/cm5**

**R(en dina\*s/cm5) = 1.333 \* mmHg/ (ml/s)**

**Resistencia vascular periférica total y resistencia pulmonar total**

La velocidad del flujo sanguíneo a través de todo el sistema circulatorio es igual a la velocidad de la sangre que bombea el corazón, es decir, igual al gasto cardíaco.

En un adulto es aproximadamente = 100ml/s. La diferencia de presión entre las arterias y venas sistémicas es de unos 100mmHg. Por tanto la resistencia de toda la circulación sistémica, que se denomina resistencia periférica total, es de 100/100 o 1 PRU.

Cuando todos los vasos sanguíneos se contraen con fuerza la resistencia periférica total puede aumentar hasta 4 PRU, mientras que cuando se dilatan cae hasta 0.2 PRU.

En el sistema pulmonar la presión arterial media es de 16mmHg y la presión media en la aurícula izquierda es de 2mmHg, con lo que la diferencia de presión neta es de 14mm. Por tanto cuando el gasto cardíaco es normal, en torno a 100ml/s, se calcula que la resistencia vascular pulmonar total es de 0.14 PRU (la 7ma parte que en la circulación sistémica).

**Conductancia de la sangre en un vaso y su relación con la resistencia**

Es la medición del flujo sanguíneo en un vaso para dar una diferencia de presión dada. En ml por s por mmHg. También puede expresarse en otras dimensiones.

Es evidente que la conductancia es el recíproco exacto de la resistencia según:

**Conductancia= 1/resistencia**

**Cambios muy pequeños en el diámetro de un vaso cambian muchísimo la conductancia**

Cuando el flujo sanguíneo es aerodinámico. La conductancia del vaso aumenta en proporción a la cuarta potencia del diámetro según:

Conductancia Diámetro4

*Ley de Poiseuille:* Ver fig 14-8 pág 163. La causa del gran aumento de la conductancia cuando aumenta el diámetro se encuentra en la fig 14-8 B, en la que se muestran cortes transversales de un vaso grande y uno pequeño. Los anillos concéntricos del interior de los vasos indican que la velocidad del flujo de cada anillo es diferente de la que hay en anillos adyacentes como consecuencia del flujo laminar. Es decir, la sangre del anillo que toca la pared del vaso apenas se mueve porque está adherida al endotelio vascular. El anillo siguiente de sangre hacia el centro del vaso se desliza sobre el primer anillo y, por tanto fluye con mayor rapidez. Al igual que los anillos tercero, cuarto, quinto y sexto, que también fluyen con velocidades crecientes. Es decir, la sangre que está cerca de la pared de los vasos fluye lentamente, mientras que la que está en el centro del vaso fluye mucho más rápidamente.

En el vaso pequeño, esencialmente toda la sangre está cerca de la pared, por lo que, sencillamente, NO existe un chorro central de sangre que fluya con rapidez.

Al integrar las velocidades de todos los anillos concéntricos de la sangre en movimiento y multiplicarlos por las superficies de los anillos se puede obtener:

**F= πΔPr4/8ηL**

* **F**🡪 **velocidad flujo s**
* **ΔP🡪 diferencia de presión entre extremos**
* **R🡪 radio del vaso, tiene la mayor importancia para determinar F.**
* **L🡪 longitud**
* **η🡪 viscosidad**

**Importancia de la ley de la cuarta potencia del diámetro del vaso para determinar la resistencia arteriolar**

En la circulación sistémica, aprox 2/3 de toda la resistencia sistémica al flujo sanguíneo se debe a la resistencia arteriolar en las pequeñas arteriolas. El diámetro varía entre 4um hasta 25um. Las fuertes paredes de las arteriolas pueden incrementar su diámetro hasta 4 veces.

Como consecuencia de la ley de la cuarta potencia puede observarse que el incremento de 4 veces del diámetro incrementa el flujo hasta en 256 veces. Esta ley hace que sea posible que las arteriolas, que responden sólo con pequeños cambios del diámetro a las señales nerviosas o a las señales químicas de los tejidos locales, hagan desaparecer casi completamente el flujo hacia el tejido o vayan al otro extremo, provocando un inmenso incremento del flujo.

**Resistencia al flujo sanguíneo en circuitos vasculares en serie y en paralelo**