

# **Fisiología Tema 24**

## **Microcirculación. Circulación venosa y linfática.**

### **1. Circulación en capilares**

**1.1.**Tipos especiales de poros en los capilares de algunos órganos.

**1.2.**Mecanismos de intercambio:

### **2. Circulación linfática**

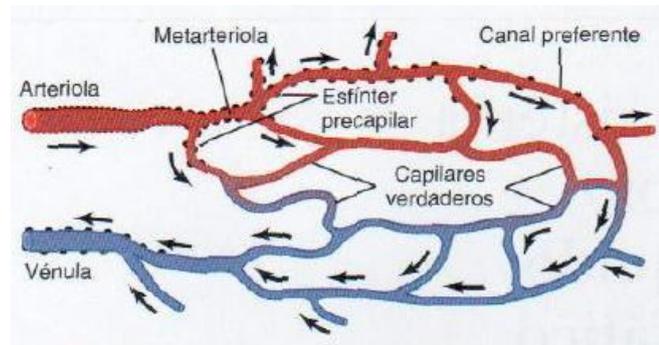
### **3. Circulación venosa**

**3.1.**Retorno venoso

## 1. CIRCULACIÓN EN CAPILARES

- Los capilares son el territorio vascular donde tiene lugar el **intercambio** de gases y nutrientes entre la sangre y el líquido intersticial que rodea las células.
- La circulación capilar se caracteriza por tener:
  - Una **baja presión**
  - Una **velocidad lenta**, lo que favorece dicho intercambio.
  - Una **elevada superficie de intercambio**, a mayor superficie de intercambio, mejor será el intercambio.
- La densidad de capilares varía en función del tipo de tejido y de las necesidades de flujo sanguíneo en los tejidos, siendo mayor en aquellos con un requerimiento más elevado de oxígeno.
- Dicha densidad puede crecer y decrecer en función de si la masa muscular aumenta o disminuye, respectivamente.

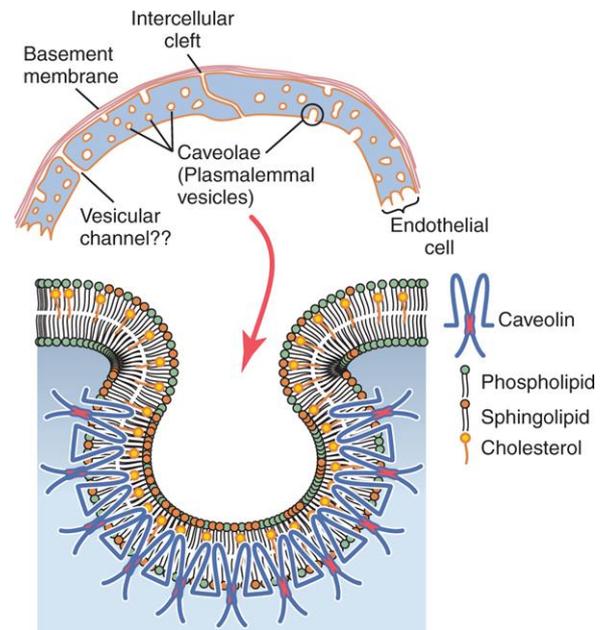
- En la **Fig. 1**, podemos ver la circulación capilar. En la imagen, llama la atención una enorme presencia de músculo (puntos negros) en la vertiente arteriolar, y a medida que pasamos de la arteriola a la metaarteriola, va disminuyendo el número de células musculares lisas, de manera que en un momento, los verdaderos capilares no tienen capa muscular, solo endotelio.



**Fig. 1.** Estructura del lecho capilar.

- Los **esfínteres capilares**, refuerzos capilares previos a la entrada en los capilares, regulan como parte de la arteriola o meta arteriola el flujo, es decir, cuando no se requiere un gran aporte sanguíneo al tejido, dichos esfínteres pueden cerrarse, y que la sangre circule por el canal preferencial; o que cuando las necesidades del tejido sean mayores, se abran y la sangre circule por toda la red, para satisfacer los requerimientos de flujo sanguíneo en el tejido.
  - Cabe señalar que en el capilar no se regula el flujo, pues no tiene capa muscular para ello.
- Un hecho frecuente en los territorios vasculares, son las **anastomosis arterio-venosas**, entre las arteriolas y las vénulas (No está dibujado en la Fig. 1.) con el objetivo de dejar de irrigar lugares, donde podemos dar flujo a esa comunicación y secuestrar todo el lecho capilar.
  - Es muy vistoso en la piel, en la que estas comunicaciones son muy frecuentes y nos sirve como mecanismo para dejarla libre de sangre, exangüe, evitando la pérdida de calor en invierno, por ejemplo.
  - Cuando dicha anastomosis se abre, la sangre pasa de arteriola a vénula directamente sin pasar por el capilar.

- En el territorio capilar tenemos, dependiendo de los tipos de capilares, nos encontraremos canales vesiculares celulares o paracelulares, donde se puede dar flujo preferencial a ciertas cosas.
- O nos encontramos con la estructura caveolar de la **Fig. 2.**, que en el fondo no es más que el precursor de una vesícula.
- La caveola no surge espontáneamente, necesita de la ayuda de una estructura proteica (caveolina) que la ayude a formarse.
- Esto es muy frecuente en los capilares para captar sustancias por endocitosis y transcitosis.



**Fig. 2.** Proceso de formación de una vesícula

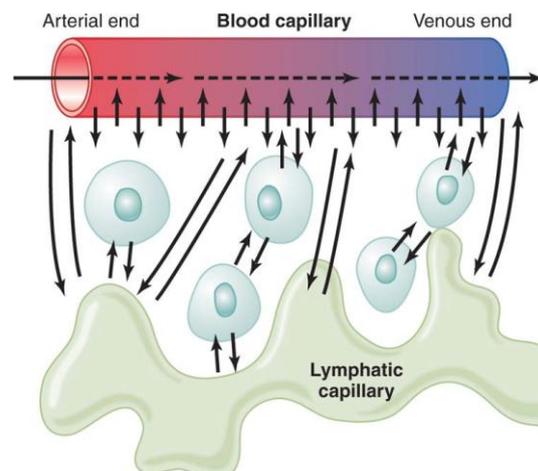
### 1.1. Tipos especiales de poros en los capilares de algunos órganos.

- Existen diferentes tipos de capilares, no son todos iguales.
- Tenemos extremos como en el **cerebro** los capilares cerebrales recubiertos además de las uniones estrechas, moléculas muy pequeñas, entre sus células endoteliales, recubiertos por células gliales, que establecen la barrera hematoencefálica, una estructura muy potente para impedir la difusión de sustancias al cerebro.
- En el otro extremo, tendríamos el **hígado**, donde el sinusoides hepático, prácticamente no tiene estructura, tiene de cuando en cuando un endotelio, grandes aperturas de tamaño celular, donde se permite la entrada y salida de distintas sustancias, lo cual tiene mucha utilidad para la función hepática.
- Entre estos dos extremos, nos encontramos con un término medio, **membranas capilares gastrointestinales**, son aquellas que regulan la absorción en el territorio mesentérico. Esto es importante porque estas membranas cuando se alteran por diversas razones, dejan de funcionar bien, pudiendo aumentar su permeabilidad, y permitiendo el paso de bacterias a la circulación mesentérica.
- Otra peculiaridad son las **fenestraciones** del glomérulo renal. Esto era tan relevante que había un tamaño de poro establecido, por las que solo pasaban unas moléculas con un peso molecular menor que el tamaño del poro, no dejando pasar las proteínas y manteniéndolas dentro de la sangre.

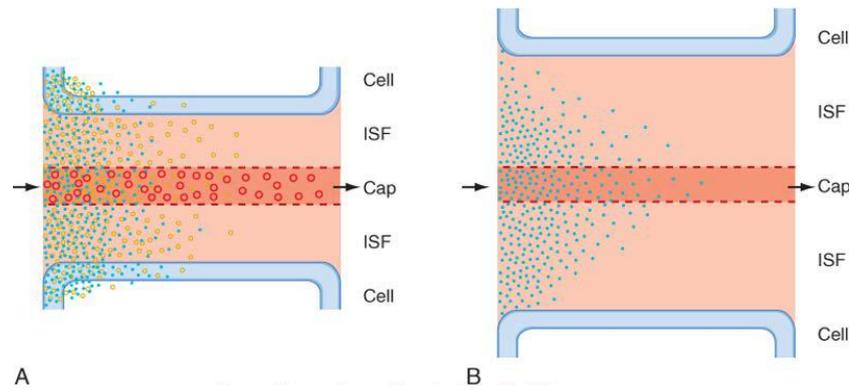
### 1.2. Mecanismos de intercambio:

- Hay fundamentalmente dos mecanismos de intercambio: la difusión y la filtración. Ambos se rigen por el gradiente favorable de presión o concentración, dependiendo de lo que se esté intercambiando, gases o nutrientes, respectivamente. Es verdad que en la difusión interviene también la superficie de intercambio y distancia de difusión; y en la filtración interviene el tamaño del poro.

- La **Difusión** consiste en el paso de una molécula a través de la pared capilar gracias al gradiente de concentración a ambos lados de ella. La difusión es directamente proporcional a la superficie de intercambio y al coeficiente de permeabilidad de la molécula, e inversamente proporcional al grosor de la pared capilar.
- La **Filtración** consiste en el paso de líquidos a través de la membrana capilar a favor de un gradiente de presiones hidrostática y osmótica.
- **Factores** de los que dependen la difusión y filtración. Nos encontramos con 4 presiones, lo que posteriormente denominaremos equilibrio de microcirculatorio de Starling.
  - La **presión hidrostática capilar** es la que ejerce la sangre contra la pared y tiende a hacer salir líquido hacia el espacio intersticial.
  - La **presión hidrostática intersticial** es la que ejerce el líquido intersticial que rodea a los capilares y facilita la entrada de líquido desde los capilares. (la opuesta a la presión hidrostática capilar)
  - La **presión oncótica capilar** es la presión osmótica creada por las proteínas plasmáticas y tiende a evitar el paso de líquido hacia el intersticio.
  - La **presión oncótica intersticial**, es la presión creada por las proteínas del intersticio. Es casi cero
    - Esas cuatro presiones se van a enfrentar en la barrera capilar.
    - No tienen el mismo valor
- En el recorrido capilar, desde el extremo arterial hasta el venoso, tendremos salida de nutrientes y entrada de desechos, porque su gradiente de concentración será favorable para ello, además también habrá salida de oxígeno y entrada de  $\text{CO}_2$ , también por el gradiente.
- En el equilibrio de intercambio (**Fig. 3**) aparecen también las células intersticiales y el **capilar linfático**, estructura que está en todos los tejidos y que intervendrá en el mantenimiento de ese equilibrio microcirculatorio.
- Como vemos en la **Fig. 4**. Podemos limitar la difusión de los capilares a las células, atravesando el fluido intersticial (ISF), por dos mecanismos:
  - A. Por el **aumento de flujo**, cuanto más rápido vaya la sangre, menos tiempo dará para difundir hasta la célula
  - B. **Incremento de la distancia de difusión**, ya que el recorrido que tiene que difundir la sustancia es más largo

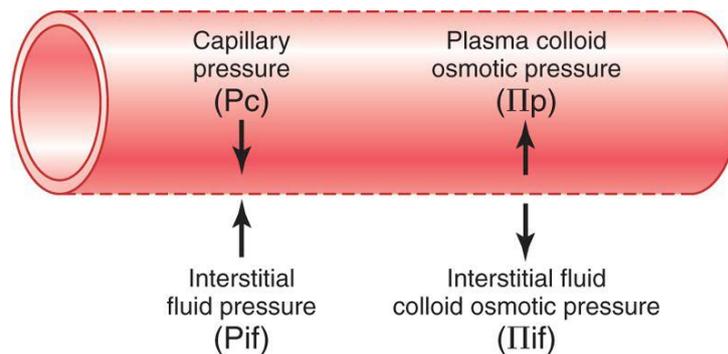


**Fig. 3.** Difusión entre capilares e intersticio.



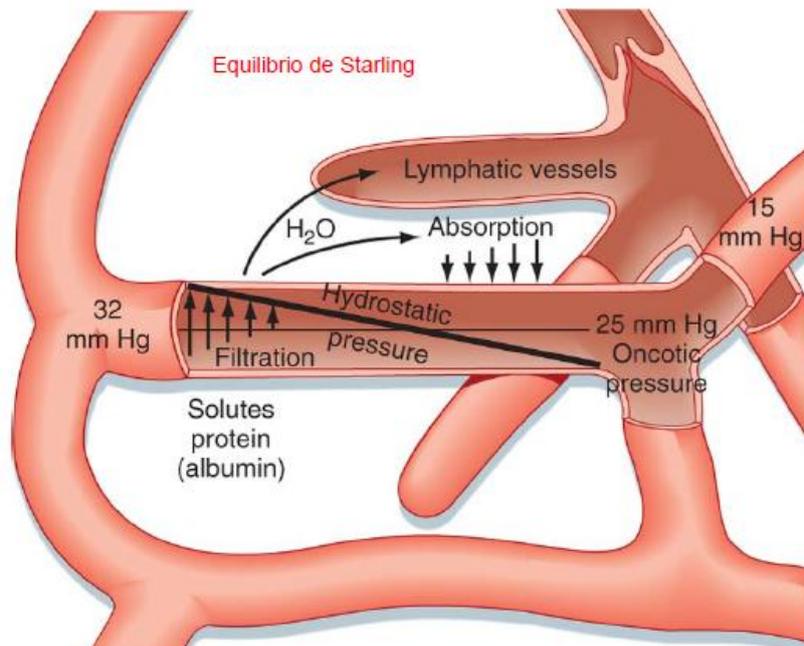
**Fig. 4.** Transporte limitado por flujo y difusión

- Como hemos comentado anteriormente y atendiendo a la **Fig. 5**, tenemos 4 presiones en el capilar:
  - La hidrostática capilar
  - La hidrostática en el intersticio
  - La presión oncótica dentro del capilar
  - La presión oncótica de las proteínas intersticiales
    - Cada una pretende introducir líquido en una dirección, como está marcado con una flecha en la **Fig. 5**.



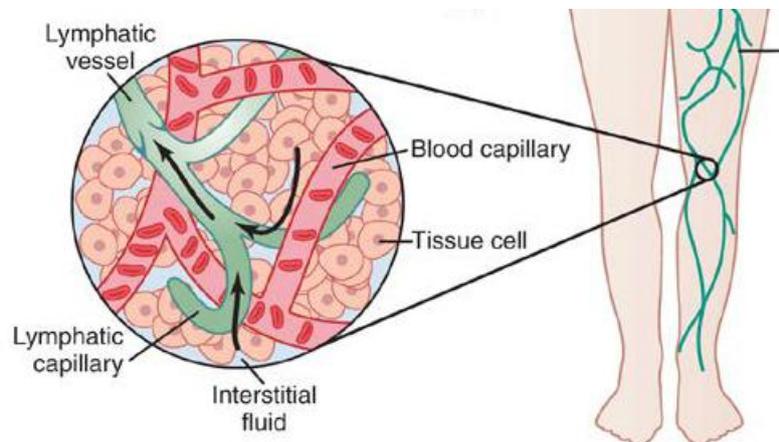
**Fig. 5.** Dirección de cada presión en el capilar

- Con esto se consigue que a lo largo del recorrido capilar halla un gradiente de presión (**Fig. 6**):
  - La presión en el extremo arteriolar es siempre mayor que en extremo venoso.
  - Y la presión a lo largo del capilar va cayendo.
    - Ergo no hay un valor contante de la presión.
    - Podemos calcular el valor de la presión a través del tiempo de recorrido o de la distancia, pero siempre en cada uno de los momentos del capilar habrá un valor de presión que será menor que el anterior para garantizar el flujo.
- Por tanto, en el extremo arterial, nos encontraremos ese mayor valor de presión hidrostática, por ello predominará la filtración de sustancias hacia el exterior.
- Y al final, en el extremo venoso, tendríamos una tendencia la reabsorción capilar, de líquido y sustancias del intersticio.
- En condiciones normales se filtran unos 20 litros al día y se reabsorben aproximadamente 15 litros, los 5 litros restantes junto con las pocas proteínas restantes son retirados del intersticio por el sistema linfático.



*Fig. 6. Equilibrio de Starling.*

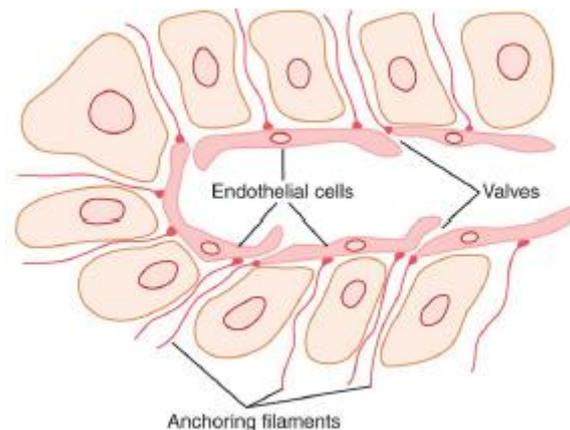
- Si sumamos las 4 presiones, la hidrostática capilar y la intersticial, y la oncótica intersticial y capilar (equilibrio de Starling), este **sumatorio** no es igual a 0, **es siempre es positivo**, es decir es favorable a una salida de líquido del capilar. Con lo cual, lo que ocurre en la circulación capilar, es una pérdida de líquido de aproximadamente el 10 %. Este líquido irá a parar a los **vasos linfáticos** (*Fig. 7.*)



*Fig. 7. Recogida del líquido intersticial por los vasos linfáticos.*

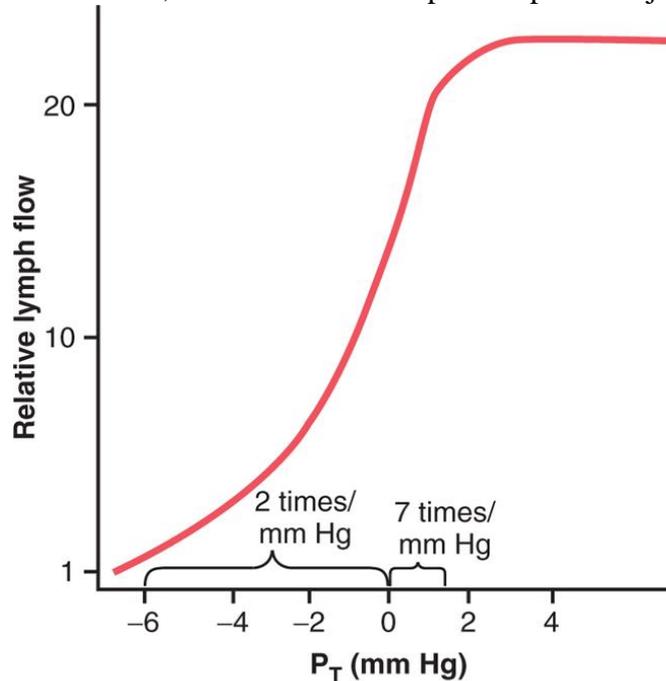
## 2. CIRCULACIÓN LINFÁTICA

- El sistema linfático está formado por **linfa**, **vasos linfáticos** y **tejido linfático** (tejido reticular con alta concentración en **linfocitos**).
- Es un sistema circulatorio **accesorio** al general.
- No tiene red capilar, ya que se forma en la red capilar sistémica.
- Recoge líquido y confluye a vasos cada vez más grandes y finaliza desembocando en los ángulos yugulo subclavios izquierdo y derecho.
- Su funciones fundamentales son:
  - El **drenaje del líquido intersticial**
  - El **transporte de grasa**
  - La **función inmunitaria** en el sistema linfático.
- En torno a cada orificio del cuerpo hay una acumulación de ganglios linfáticos, pues cada orificio es una vía de entrada para bacterias, virus y patógenos de diferente naturaleza.
- Existen **dos circuitos** recogen la linfa:
  - **Conducto torácico o linfático izquierdo**: Se vacía en el sistema Venoso a nivel de la unión de la vena yugular izquierda y vena subclavia. Recoge la linfa de la parte inferior del cuerpo, mitad izq. del tórax, cabeza y brazo izquierda.
  - **Conducto linfático derecho**: Se vacía a nivel de la unión de la vena subclavia derecha y vena yugular derecha. Recoge la linfa de la mitad derecha del tórax, cabeza y brazo derecho.
- El flujo es **unidireccional** desde el territorio capilar hasta la circulación sistémica (**válvulas** que impiden el retorno de la linfa).
- El flujo linfático se establece por dos fenómenos:
  - La **compresión muscular**
  - La **aspiración torácica**
    - Cuando la inspiración tiene lugar se crea una presión intratorácica menor que la atmosférica, una presión negativa, esta favorece el flujo, de la misma forma que la compresión muscular.
- Como vemos en la **Fig. 8.** las células endoteliales presentan unos filamentos de anclaje de manera que dondequiera que este el capilar lo comprimen las células musculares, y permite que el flujo sea exprimido en una única dirección.
  - Este es un fenómeno muy frecuente tanto en capilares pequeños como donde hay repliegues endoteliales que actúan de válvulas como en los sistema más grandes de tamaño donde las células endoteliales constituyen válvulas para impedir el flujo retrogrado.



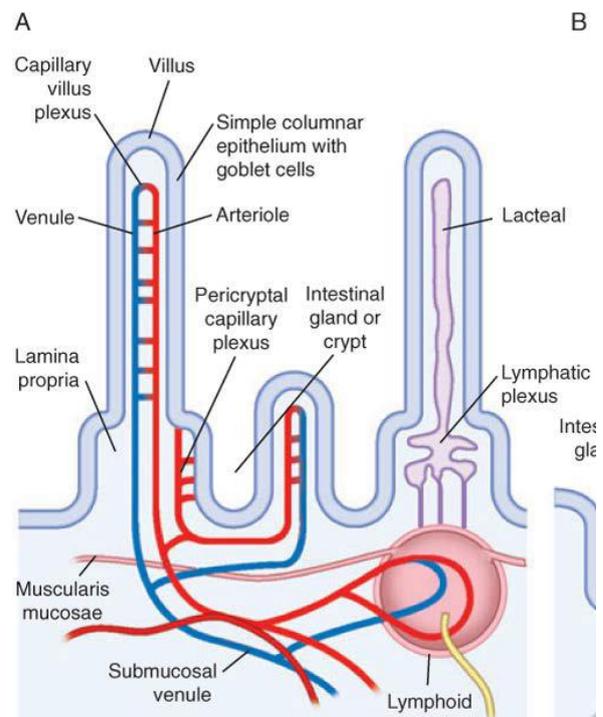
**Fig. 8.** Representación de las células endoteliales, sus válvulas y filamentos de anclaje.

- Como vemos en la **Fig. 9**, en torno al valor cero de la presión, que es la presión en el sistema linfático, pequeñas variaciones modifican enormemente el flujo linfático, y este es el fundamento del bombeo linfático.
  - Cuando la presión es negativa dentro del conducto, se reduce el flujo; y al contrario, cuando aumenta la presión por el flujo aumenta.



**Fig. 9.** Relación entre la presión dentro del conducto linfático, y el flujo del vaso linfático.

- El **flujo es muy lento** en comparación con el del flujo sanguíneo.
- La composición de la linfa es muy parecida a la del líquido intersticial a diferencia de la concentración de lípidos y proteínas.
  - Esto tiene una expresión importante en las cisternas quilíferas, (**Fig. 10**), porque en todo el tubo digestivo, especialmente en el intestino delgado, aparece en las vellosidades intestinales, un **vaso quilífero central** rodeado de una red capilar arterio-venosa, pero esta red no es más que un vaso linfático que se encarga de la absorción del quilo, parte del contenido intestinal. Esas cisternas son relevantes especialmente en la absorción de nutrientes grasos.

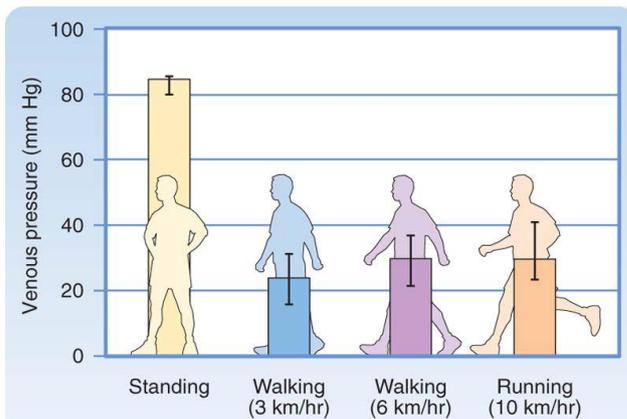


**Fig. 10.** Microcirculación en el intestino delgado

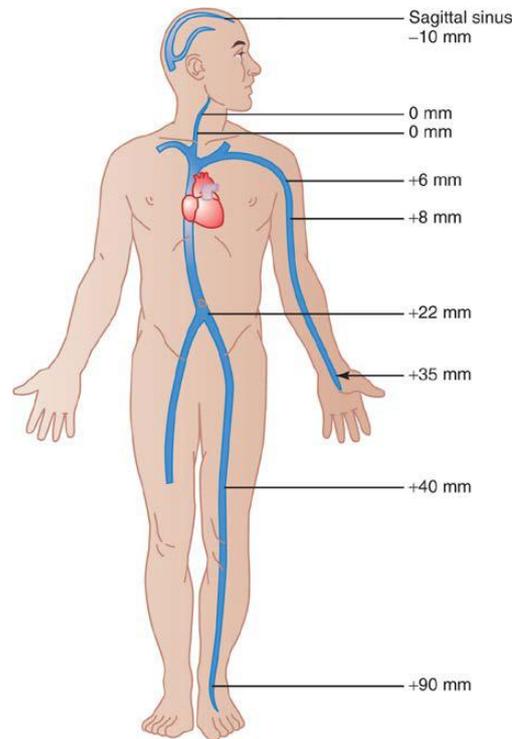
### 3. CIRCULACIÓN VENOSA

- El sistema venoso es responsable de conducir la sangre desde los tejidos al corazón.
- En las venas, la presión y la velocidad de la sangre son menores que en el sistema arterial, las paredes son más delgadas y distensibles, poseen una gran capacidad para almacenar sangre.
- Donde menos velocidad hay es en los capilares, ya que es donde hay mayor área de sección transversa.
- Hemos visto que las paredes de las arterias tienen algo de masa muscular, no tanto como las arteriolas, también tienen algo de fibras elásticas y colágenas, no tanto como en los grandes vasos (aorta).
  - Todo esto es la justificación para entender bien el vaso de capacitancia que es la vena, un reservorio capaz de almacenar grandes volúmenes de sangre (más del 60% de la sangre está en el sistema venoso en un instante dado)
- La presión que existe en el interior de un vaso es la **suma** de dos componentes:
  - la **presión hidrostática**, determinada por la “altura de la columna sanguínea” respecto a la aurícula derecha. No es lo mismo la presión en la vena pedia en bipedestación que en de cubito, en bipedestación esta presión es mayor.
  - la **presión dinámica**, que depende del flujo.
- La presión y el volumen de la sangre venosa varía según el territorio corporal y la postura del individuo.
  - Esto hace que la circulación venosa tenga unos **parámetros** de funcionamiento distintos al sistema arterial (**Fig. 11.**):
    - **presión venosa central (PVC)**
      - Existe en la aurícula derecha y en las grandes venas del tórax.
      - Su valor está entre 0 y 5 mm Hg.
      - Esta presión depende del equilibrio entre el gasto cardíaco y el retorno venoso, es decir, cuanto más retorno venoso, más PVC, cuanto más gasto cardíaco, menos PVC, pues estamos movilizándolo ese retorno venoso hacia el sistema arterial.
    - La **presión venosa periférica (PVP)**
      - Es la existente en las venas extratorácicas y extracraneales
      - Su nivel varía dependiendo del territorio venoso y de la situación postural.
- Como vemos en la PVP en las extremidades superiores, tiene importancia la presión hidrostática, porque la podemos modificar, si por ejemplo subimos el brazo, ya que la sangre venosa del vaso de capacitancia poco a poco va drenando hacia abajo.
- La PVP en las venas situadas por debajo del corazón aumenta en relación con la distancia a éste en situación de bipedestación, alcanzando en las extremidades inferiores una PVP de aproximadamente 90 mm Hg. Por encima de la aurícula tenemos incluso valores negativos de presión.

- Hay otros elementos que pueden participar en esta presión, por ejemplo, el sobrepeso, esto es uno de los elementos más nefastos para el retorno venoso, porque supone una dificultad muy grande a dicho retorno. El embarazo también supone una dificultad también a dicho retorno.
- Como vemos en la **Fig. 12.** en cuanto empezamos a hacer actividad física, la presión en el territorio venoso pedio cambia.
  - De la bipedestación en reposo al peso lento, la presión decrece 5 veces.



**Fig. 12.** Evolución de la presión en la vena pedia según el estado de actividad.



**Fig. 11.** Presiones venosas a lo largo de nuestro cuerpo.

### **3.1. Retorno venoso:**

- Es el volumen de sangre que circula desde los capilares hasta la aurícula derecha por unidad de tiempo. El retorno venoso y el gasto cardíaco deben ser iguales
- Depende de:
  - **Bomba cardíaca:** depende de la actividad del VI y del gradiente de presiones entre la red capilar y la AD. Cuanto mayor sea la actividad de bombeo cardíaco, y mayor la diferencia de presiones, mayor será el retorno venoso.
  - **Bomba respiratoria:** durante la inspiración la presión intratorácica se hace negativa, lo que favorece el establecimiento de un gradiente de presiones que facilita el retorno venoso desde las venas abdominales.
  - **Bomba muscular venosa:** depende de la existencia de unas válvulas en la pared venosa, que favorecen el desplazamiento de la sangre hacia el corazón, pero la dificultan en sentido contrario. Además, las venas de los miembros inferiores están rodeadas de músculo esquelético que, al contraerse comprime las venas favoreciendo el movimiento de la sangre hacia el corazón. Cabe señalar que las venas superficiales dirigen el flujo hacia las venas profundas.