

TEMA 1

CORAZÓN

INTRODUCCIÓN AL APARATO CIRCULATORIO

CORAZÓN

Estructura de la pared cardíaca

Capas de la pared cardíaca

Endocardio

Miocardio

Epicardio

Esqueleto cardíaco

Anillos fibrosos

Trígono fibroso

Septum membranoso

INTRODUCCIÓN AL APARATO CIRCULATORIO

El aparato circulatorio está formado por dos componentes: el aparato cardiovascular y el sistema vascular linfático.

El **aparato cardiovascular** es un sistema tubular cerrado y está constituido por el **corazón** y por un conjunto de tubos, los **vasos sanguíneos**. Las paredes de los vasos sanguíneos tienen un espesor y una estructura variables dependiendo de la presión a la que la sangre circula por ellos y según sus funciones especiales:

- las **arterias** transportan la sangre desde el corazón hasta el resto de los territorios del organismo
- los **capilares** son los vasos en los que se producen intercambios de gases, nutrientes, desechos metabólicos, hormonas y otras moléculas señalizadoras entre la sangre y los tejidos
- las **venas** son los vasos por los que retorna la sangre al corazón.

El **sistema vascular linfático** no es un sistema circulatorio. Es un sistema de drenaje que comienza en los extremos ciegos de los **capilares linfáticos** donde se capta la linfa, el exceso de líquido extracelular de los tejidos, y se transporta hasta el sistema venoso por medio de los **vasos linfáticos**. En su trayecto, los vasos linfáticos atraviesan los ganglios linfáticos.

CORAZÓN

El corazón es la **bomba del aparato cardiovascular** que se encarga de propulsar la sangre desde el ventrículo derecho hacia los pulmones a través de los vasos de la **circulación pulmonar** y desde el ventrículo izquierdo hacia todos los órganos y tejidos del cuerpo a través de los vasos de la **circulación sistémica**. La sangre retorna por las venas pulmonares desde el pulmón hasta la aurícula izquierda y por las venas cavas desde todo el organismo hasta la aurícula derecha. El reflujo de sangre desde los ventrículos hacia las aurículas y desde las arterias pulmonar y aorta hacia los ventrículos derecho e izquierdo respectivamente se ve impedido por la existencia de las válvulas aurículo-ventriculares (tricúspide y mitral) y las válvulas semilunares pulmonares y aórticas.

1.- Estructura de la pared cardíaca

La pared del corazón está formada por **tres capas** (endocardio, miocardio y epicardio, de dentro a afuera) homólogas a las tres capas que forman las paredes de los vasos sanguíneos (capa íntima, capa media y capa adventicia) y por un **esqueleto cardíaco** que sirve de inserción a las fibras musculares cardíacas.

2.- Capas de la pared cardíaca

a.- Endocardio

Esta es la capa que tapiza la cavidad cardíaca y es continuación de la capa íntima de los vasos sanguíneos que entran al corazón y salen de él. En el endocardio se distinguen diversos estratos:

- **endotelio**: epitelio plano simple que descansa sobre una lámina basal
- **capa subendotelial**: formada por fibras de colágena y elásticas y algunos escasos fibroblastos
- **capa mioelástica**: es la más gruesa de las capas del endocardio y está formada por un tejido conectivo denso rico en fibras elásticas y con alguna fibra muscular lisa orientada verticalmente
- **capa subendocárdica**: está formada por un tejido conectivo laxo que une el endocardio con el tejido conectivo del miocardio. Esta zona contiene pequeños vasos sanguíneos, nervios y haces de fibras de Purkinje del sistema de conducción.

b.- Miocardio

Esta es la capa media y la más gruesa de la pared del corazón. En esta capa nos encontramos tres tipos de fibras musculares cardíacas:

- **células musculares cardíacas convencionales**, que se distribuyen en espirales alrededor de las cavidades cardíacas y, algunas de las cuales, se insertan en el esqueleto cardíaco.
- **células mioendocrinas**, que se encuentran en la pared de las aurículas y en el tabique interventricular. Secretan diversos tipos de hormonas (cardionatrina, cardiodilatina, cardiopeptina, péptido natriurético atrial)
- **células del sistema de excitación cardíaco** que se han especializado en la generación de impulsos que controlan la contracción rítmica del corazón (células nodales) y en la conducción de esos impulsos desde la aurícula al ventrículo (células de Purkinje)

c.- Epicardio

Esta es la capa más externa de la pared cardíaca y se corresponde con la capa visceral del pericardio. En ella se distinguen los siguientes estratos, de dentro a afuera, tomando como referencia la cavidad cardíaca:

- **capa subepicárdica**: es un tejido conectivo laxo con vasos sanguíneos (vasos coronarios) y linfáticos, fibras nerviosas, fibras elásticas y un número variable de adipocitos.
- **capa submesotelial**: tejido conectivo con abundantes fibras de colágena y fibras elásticas
- **mesotelio**: epitelio plano simple que descansa sobre una lámina basal

En la zona del corazón donde se localizan las raíces de los grandes vasos cardíacos (arteria pulmonar y arteria aorta), el epicardio se refleja para continuarse con la capa parietal del pericardio. El epicardio (capa visceral del pericardio) y la capa parietal del pericardio (con una estructura similar a la del epicardio) limitan la cavidad pericárdica que esta llena de un líquido seroso que permite el deslizamiento de las dos capas del pericardio.

3.- Esqueleto cardíaco

El esqueleto cardíaco esta formado por un entramado continuo de **tejido conectivo denso**, con muchas fibras de colágeno y alguna fibra elástica, que constituye la inserción de la mayoría de las células musculares cardíacas de trabajo. Sus componentes principales son:

a.- anillos fibrosos: rodean la base de la arteria aorta, de la arteria pulmonar y los orificios auriculoventriculares.

- Las **válvulas auriculoventriculares** son unas membranas flexibles formadas por un esqueleto central de tejido conectivo denso que se ata por un lado a los anillos fibrosos auriculoventriculares y, por sus bordes libres, se atan por medio de unas **cuerdas tendinosas** (formadas también por tejido conectivo denso) a los músculos papilares ventriculares. Tanto las válvulas como las cuerdas tendinosas están cubiertas por el endocardio.

b.- trígono fibroso: es un engrosamiento de una zona del anillo fibroso de la base de la arteria aorta. Puede contener algunas zonas de tejido condroide (similar al tejido cartilaginoso fibroso)

c.- septum membranoso: es un engrosamiento de otra zona del anillo fibroso de la aorta que se continúa por la zona superior del tabique interventricular.

Además de servir de inserción de las fibras musculares cardíacas y a las válvulas cardíacas, el esqueleto cardíaco de los anillos que rodean a los orificios auriculoventriculares **proporcionan una discontinuidad entre el miocardio auricular y el ventricular** de tal manera que la única conexión electrofisiológica entre ellos es la que proporcionan los haces auriculoventriculares del sistema de conducción.

TEMA 2

VASOS SANGUÍNEOS Y LINFÁTICOS

VASOS SANGUÍNEOS

Estructura general de los vasos sanguíneos

Túnica íntima

Tunica media

Túnica adventicia

ARTERIAS

Arterias elásticas

Arterias musculares

Arteriolas

Arterias especiales

CAPILARES SANGUÍNEOS

Estructura general de los capilares

Tipos de capilares

Funciones de los capilares

VENAS

Vénulas – venas de pequeño calibre

Venas de mediano calibre

Venas de gran calibre

ANASTOMOSIS ARTERIOVENOSAS (AAV)

Estructura

Glomos

Función

VASOS LINFÁTICOS

Capilares linfáticos

Vasos linfáticos colectores

Conductos linfáticos

VASOS SANGUÍNEOS

Las paredes de los vasos sanguíneos que llevan la sangre desde el corazón hasta los diversos territorios del organismo (**arterias**) y las de los vasos sanguíneos que devuelven la sangre al corazón (**venas**) tienen una estructura similar, aunque con diferencias que permiten diferenciar y clasificar los diversos tipos de vasos. Estas diferencias se deben fundamentalmente a la diversa presión a la que circula la sangre por el interior de los vasos: las paredes de las arterias cercanas al corazón son más gruesas que las de las arterias más alejadas del corazón. En general, las arterias tienen paredes más gruesas y su diámetro es menor que las de las venas correspondientes.

A pesar de estas diferencias, la pared de las arterias y las venas tienen una serie de características comunes. Sin embargo, las paredes de los **capilares** y de las vénulas son mucho menos complejas que las de los vasos de mayor calibre y se alejan de la estructura general que se expone a continuación.

Estructura general de los vasos sanguíneos

La pared de un vaso sanguíneo típico está constituida por tres capas concéntricas:

a.- Túnica íntima

Esta es la capa más interior de la pared vascular y está formada por:

- **endotelio**: epitelio plano simple que descansa sobre una lámina basal
- **capa subendotelial**: tejido conjuntivo laxo con alguna fibra muscular lisa
- en algunos vasos existe una capa lámina elástica interna, que establece un límite entre la túnica íntima y la túnica media

b.- Túnica media

La capa intermedia de la pared vascular está formada fundamentalmente por **fibras musculares lisas** dispuestas circularmente y/o por **láminas elásticas**. En algunos vasos se distingue una lámina elástica externa que la separa de la túnica adventicia.

c.- Túnica adventicia

La capa más externa de la pared de los vasos está formada por **tejido conectivo** compuesto por fibras de colágena longitudinales, muchas fibras elásticas y fibroblastos.

- En las *arterias de calibre mayor* (superior a 1 mm) los nutrientes difunden desde la luz del propio vaso por la túnica íntima y por la parte interna de la túnica media. El resto de la pared vascular se nutre porque hay **vasos nutricios** (vasa vasorum) distribuidos por la túnica adventicia. Estos vasa vasorum son ramas de pequeñas arterias que discurren en la vecindad de la pared de las arterias. En las arterias de pequeño calibre no hay vasos que irrigen la pared vascular, los nutrientes difunden directamente desde la luz del propio vaso.
- Las **fibras nerviosas** del sistema nervioso autónomo que inervan a las fibras musculares lisas de la pared vascular produciendo vasoconstricción se distribuyen por la túnica adventicia. Estas fibras nerviosas no llegan a la túnica media y, por tanto no hacen contacto directo con las células musculares.

ARTERIAS

Las arterias son los vasos sanguíneos que transportan la sangre desde el corazón hasta los capilares. Según su tamaño y/o sus características las arterias se clasifican en:

- arterias elásticas o arterias de conducción
- arterias musculares o arterias de distribución
- arteriolas

1.- Arterias elásticas

Estas son las **arterias próximas al corazón**: aorta, carótida primitiva, subclavia, ílica primitiva y pulmonar (las arterias coronarias son arterias musculares). La estructura de su pared se caracteriza por tener una gran cantidad de láminas elásticas que le proporcionan a la pared su resistencia a la presión sistólica.

• túnica íntima

- **endotelio**: epitelio plano simple sobre una lámina basal.
 - Las células endoteliales se orientan con su eje mayor paralelo al eje mayor de la arteria y tienen algunas prolongaciones citoplasmáticas que llegan a contactar con las fibras musculares de la túnica media con las que establecen uniones comunicantes (nexo, gap junction).
 - Las células endoteliales tienen una inclusiones citoplasmáticas asociadas a la membrana con forma de bastoncillo (3 μm x 0.1 μm) y que reciben el nombre de cuerpos de Weibel-Palade: contienen el factor de von Willebrand, importante en el proceso de coagulación de la sangre (este factor los sintetizan casi todas las células endoteliales pero se almacena solo en las células endoteliales de las arterias).
- **capa subendotelial**: tejido conectivo con fibroblastos, fibras de colágena, fibras elásticas y alguna fibra muscular lisa dispuesta longitudinalmente.
- lámina elástica interna poco desarrollada

• túnica media

- **láminas elásticas**: se encuentran de 40-70 láminas elásticas fenestradas dispuestas concéntricamente a la luz vascular. Estas láminas elásticas tiene 2-3 μm de grosor y se ven al corte como *líneas onduladas* debido al colapso postmortem de las arterias. Las láminas están interconectadas por fibras elásticas. Este es el componente fundamental de la media de estas arterias.
- **fibras musculares lisas**: se alternan con las láminas elásticas. Las fibras musculares lisas están envueltas por una lámina externa.
- elementos del tejido conectivo laxo situados entre las láminas elásticas (fibroblastos, fibrillas de colágena...)

• túnica adventicia

Es bastante fina y está formada por **tejido conectivo laxo** que contiene las fibras nerviosas, los vasos linfáticos y los vasa vasorum propios de las arterias de grueso calibre.

2.- Arterias musculares

Las arterias musculares son los vasos que reciben la sangre de las arterias elásticas y la distribuyen por los tejidos y órganos del cuerpo humano. Ejemplos de arterias musculares son las cubitales, humerales, renales,... y, en general, las **arterias con calibre superior a 0.1 mm**. Lo más característico de la estructura de su pared es la presencia de una túnica media bastante gruesa con gran cantidad de fibras musculares lisas que permite regular el flujo sanguíneo a los órganos por medio de una constricción activa.

• túnica íntima

- **endotelio** descansando en su lámina basal, similar al de las arterias elásticas.
- **capa subendotelial**, algo más gruesa que en las arterias elásticas, pero con una composición similar

- **lámina elástica interna** fenestrada, ondulante y muy desarrollada (2-3 μm de grosor) que delimita la túnica íntima y la media. El endotelio se adapta a las ondulaciones de esta lámina.

- **túnica media**

- **fibras musculares lisas:** se encuentran de 4 a 70 capas de células (menor número cuanto menor es el calibre de la arteria) dispuestas en su mayor parte circularmente (algunas están dispuestas longitudinalmente en los límites de la túnica media con la íntima y con la adventicia). Las fibras musculares son pequeñas y están rodeadas por una red fina de fibrillas de colágena, de reticulina y elásticas.
- **fibras elásticas dispersas** entre las fibras musculares lisas
- **lámina elástica externa:** limita la túnica adventicia y la media. Es más delgada que la interna y está formada por varias láminas elásticas delgadas y fenestradas. En algunas arterias falta y, en otras, puede ser discontinua.

- **túnica adventicia**

- esta capa puede ser más gruesa que la túnica media
- es una capa de **tejido conectivo denso** con gran cantidad de fibras elásticas (las más internas están orientadas longitudinalmente y las más externas circularmente) entremezcladas con fibras de colágeno densamente empaquetadas.
- Este tejido conectivo denso se convierte gradualmente en **tejido conectivo laxo** con haces de fibras de colágeno orientadas longitudinalmente.
- contiene las fibras nerviosas, los vasos linfáticos y los vasa vasorum propios de las arterias, sobre todo en las de mayor calibre

3.- **Arteriolas**

Las arteriolas son arterias con **un diámetro de 120 a 20 μm** .

- **túnica íntima**

- **endotelio** descansando en su lámina basal
- **capa subendotelial**, con fibras de colágena y fibras elásticas
- **lámina elástica interna** fenestrada, que desaparece en las arteriolas de menor calibre

- **túnica media**

- **fibras musculares lisas:** se encuentran 2-3 capas, aunque en las arteriolas de menor calibre solo hay una capa de células musculares lisas.

- **túnica adventicia**

- una capa delgada de tejido conectivo con fibroblastos y fibras de colágena y elásticas, capa que queda en elementos sueltos (fibroblastos, fibras) en las arteriolas más pequeñas

Los segmentos terminales de las arteriolas (10-100 μm de longitud con un calibre de unas 10 μm) se denominan **metaarteriolas**. La capa media está formada por una capa discontinua de células musculares lisas que forman, cuando se va a ramificar en los capilares, el llamado esfínter precapilar: la contracción de estas fibras musculares controlan el flujo sanguíneo al lecho capilar

4.- Arterias especiales

Hay algunas arterias que presentan algunas características especiales:

- **arterias cerebrales**

Al estar protegidas de las presiones externas por el cráneo tienen una pared más delgada: poseen una adventicia fina y carecen de lámina limitante elástica externa

- **arterias con dispositivos de bloqueo**

- Algunas arterias tienen en su pared **haces longitudinales de células musculares lisas** que, al contraerse, producen la oclusión temporal (parcial o total) del vaso. Estos haces de fibras musculares se localizan en la túnica íntima (entre la lámina elástica interna y el endotelio) formando anillos, manguitos o cojinetes, o en la túnica media.
- Las arterias con dispositivo de bloqueo **se localizan** sobre todo en el corazón, riñones, bronquios, útero y pene.
- Estos dispositivos de bloqueo juegan un papel importante en la **regulación del flujo sanguíneo** en muchos órganos e intervienen en procesos fisiológicos como la erección o la menstruación.

CAPILARES SANGUÍNEOS

Los capilares se originan en los extremos terminales de las arteriolas y se ramifican y anastomosan para formar una **red capilar** (lecho capilar) que acaba desembocando en las vénulas.

Los capilares son los vasos sanguíneos en los que se produce la mayor parte del **intercambio de productos entre la sangre y las células de los tejidos**. Los capilares junto con las porciones terminales de las arteriolas y las vénulas postcapilares (donde también se produce intercambio de sustancias entre la sangre y los tejidos) forman lo que se llama de forma conjunta **“microcirculación”**.

1.- Estructura general de los capilares

Los capilares tienen una longitud que varía de 200 a 1000 μm y un **diámetro** bastante constante: alrededor de **6-12 μm** , lo justo para permitir el paso de las células sanguíneas sin problemas

- **endotelio – células endoteliales**

- las células endoteliales son alargadas (10 x 30 μm), con el eje mayor paralelo al del vaso
- son células muy aplanadas (desde 0.8 μm de espesor máximo hasta 0.1 μm de espesor en los extremos) excepto en la zona del núcleo: el núcleo hace protusión en la luz capilar
- hay muchas **vesículas pinocitóticas** que, a veces, se fusionan entre sí para formar **canales transendoteliales transitorios**.
- las células endoteliales están unidas entre sí por medio de **uniones ocluyentes**
- en las zonas de unión de dos células, las células tienden a superponerse y se forma un **pliegue marginal** que hace proyección en la luz del capilar

- **lámina basal**: rodea por completo al endotelio por su cara externa o abluminal

- **pericitos**

- se sitúan en la parte más externa de la pared del capilar
- son células que tienen **prolongaciones primarias** que discurren paralelas al eje mayor del vaso y de estas salen unas **prolongaciones secundarias** que rodean la pared del capilar
- establecen **uniones comunicantes** o nexos con las células endoteliales subyacentes

- comparten la lámina basal con el endotelio: la lámina basal del endotelio se desdobra al llegar a la altura de un pericito y lo engloba
- por fuera de la lámina basal que rodea a los pericitos se encuentran pequeñas fibras de reticulina y de colágena y alguna terminación nerviosa vegetativa formando lo que sería un remedo de túnica adventicia

2.- Tipos de capilares

Dependiendo de la continuidad de sus paredes, se distinguen tres tipos de capilares: capilares continuos, capilares fenestrados y capilares sinusoidales.

• Capilares continuos

- tienen un **endotelio ininterrumpido**, sin ningún tipo de poros o fenestras (salvo los poros transendoteliales transitorios fruto de la fusión de vesículas pinocitóticas)
- las células están unidas por **uniones de tipo ocluyente**, algúnnexo y algún desmosoma ocasional
- **localización:** tejido muscular, tejido adiposo pardo, piel, testículos, ovarios, sistema nervioso central, timo, ganglios linfáticos, hueso, vasos rectos renales. Estos son los más abundantes de los capilares.

• Capilares fenestrados

- tienen un endotelio muy fino y perforado por **numerosas fenestras** o poros de $\varnothing \cong 50-80$ nm
- los poros o fenestras de los capilares están cubiertos por un **diafragma** muy delgado de 4-6 nm de grosor (los poros de los capilares del glomérulo renal carecen de diafragma)
- los poros se acumulan en ciertas zonas de la pared capilar dejando otras zonas de la pared endotelial libre de fenestras
- en estos capilares los intercambios de sustancias se ven facilitados por la existencia de las fenestras intraendoteliales
- **localización:** páncreas, glándulas endocrinas, intestino, riñón, membranas sinoviales, plexos coroideos

• Capilares sinusoidales (sinusoides)

- estos capilares tienen un $\varnothing \cong 30-40$ μm
- las células endoteliales tienen **fenestras** agrupadas (similares a las de los capilares fenestrados) que alternan con **grandes poros transcelulares e intercelulares** de $\varnothing \cong 0.5-3$ μm que carecen de diafragma
- la **lámina basal discontinua o ausente**, añadido a la existencia de grandes poros desprovistos de diafragma, hace que estos capilares permitan el paso libre de sustancias (incluso células sanguíneas) entre la sangre y los líquidos tisulares
- alrededor de este tipo de capilares **hay muy pocos pericitos**. Sin embargo, suele encontrarse asociado a su pared algún **macrófago**.
- **localización:** médula ósea, bazo, hígado, corteza adrenal

3.- Funciones de los capilares

• Intercambio transendotelial de sustancias

El trasiego de productos (gases, agua, electrólitos, nutrientes, restos del metabolismo celular, hormonas...) entre la sangre y los tejidos tiene lugar en los capilares. Las bases estructurales en las que se basa este intercambio transendotelial de productos son las siguientes:

- poros pequeños de $\varnothing \cong 9-11$ nm que son **discontinuidades en las zonas de unión entre las células endoteliales** (están unidas por máculas o fascias ocluyentes más que por zónulas ocluyentes). Por estos espacios intercelulares difunden el agua, los electrólitos y las pequeñas moléculas hidrofílicas (menores de 1.5 nm)
- poros grandes de $\varnothing \cong 50-80$ nm entre los que se incluyen las **fenestras y las vesículas de pinocitosis** que forman canales transendoteliales transitorios. Las vesículas de pinocitosis de las células endoteliales no se fusionan con los lisosomas y sirven para transportar moléculas grandes desde la cara adluminal hasta la cara abluminal del endotelio en un proceso que recibe el nombre de *transcitosis*. Hay una gran cantidad de vesículas de pinocitosis en las células endoteliales, alrededor de $1000/\mu\text{m}^2$.
- por **difusión simple** atraviesan la pared capilar los gases (oxígeno y CO_2)

• **Otras funciones**

- sintetizan productos de la matriz extracelular (colágeno, fibronectina, laminina, proteoglicanos) para formar la lámina basal
- sintetizan y liberan moléculas que promueven la coagulación de la sangre (factor VIII de von Willebrand...)
- sintetizan y liberan productos que dificultan la formación de trombos patológicos (prostaciclina, trombomodulina, ...)
- secretan factores vasoactivos que controlan el flujo sanguíneo (vasodilatadores: óxido nítrico, prostaciclina ..., vasoconstrictores: endotelina, factor conversor de angiotensina...)
- producen moléculas mediadoras de la reacción inflamatoria aguda (IL-1, IL-6, IL-8..., moléculas de adhesión celular: selectinas e integrinas)
- producen algunos factores de crecimiento (FGF, PDGF, factores estimuladores de colonias de células sanguíneas)

VENAS

Las venas son los vasos sanguíneos que devuelven la sangre desde los capilares hasta el corazón. En los cortes histológicos, las venas se suelen ver paralelas a las arterias y suelen tener su luz algo colapsada porque su pared es más delgada y menos elástica que la pared de las arterias al circular la sangre por las venas a una velocidad y presión menor que en las arterias.

La **estructura general de la pared de las venas** es similar a la de las arterias ya que se puede hablar de la existencia de una túnica íntima, una túnica media y una túnica adventicia.

Las **diferencias entre la pared venosa y la arterial** son más cuantitativas que cualitativas. En general, estas diferencias se pueden concretar en que:

- la pared de las venas es más delgada y su luz es mayor
- la pared de las venas contiene más tejido conectivo (con predominio del colágeno sobre la elastina) y menos células musculares lisas
- la estructura de la pared de las venas presenta una gran variabilidad entre venas de calibre similar
- la organización de la pared de las venas es menos nítida:
 - no existen láminas limitantes elásticas bien definidas
 - la túnica media y la adventicia se confunden frecuentemente
 - la distinción entre las tres túnicas es a veces artificiosa porque no siempre se distinguen bien los límites entre las túnicas

1.- **Vénulas – venas de pequeño calibre**

Las redes capilares drenan la sangre a las vénulas y éstas se continúan con venas de pequeño calibre:

- **vénulas postcapilares** tienen una estructura similar a los capilares pero un diámetro algo superior ($\varnothing \cong 15-20 \mu\text{m}$):
 - endotelio delgado (a veces fenestrado) que descansa sobre una lámina basal y fibras reticulares. En las vénulas postcapilares de los *órganos linfoides* el endotelio está formado por células cúbicas y entonces se habla de vénulas de endotelio alto
 - pericitos con prolongaciones citoplasmáticas que forman una red algo más compleja que en los capilares
 - también en las vénulas postcapilares se produce intercambio de productos entre la sangre y los tejidos: en estos vasos es donde se produce con preferencia el paso de los leucocitos desde la sangre al tejido conectivo
- **vénulas musculares**: las venas alcanzan un $\varnothing \cong 50-200 \mu\text{m}$ y los pericitos de la pared venosa son sustituidos por 1 capa laxa de fibras musculares lisas

- Al principio las fibras musculares lisas están espaciadas entre sí pero acaban formando 1-2 capas continuas al aumentar el calibre de la vena y formarse **venas pequeñas** ($\varnothing \cong 200-1000 \mu\text{m}$)

2.- Venas de mediano calibre

Estas venas tienen un **calibre que va desde 1 mm hasta 10 mm** y son las venas que drenan la sangre de la mayor parte del cuerpo

- **túnica íntima**

- endotelio y lámina basal con fibras reticulares
- fibras de colágena y *fibras musculares lisas longitudinales*
- red de fibras elásticas, pero no llegan a formar una lámina elástica limitante interna
- **válvulas venosas**
 - son repliegues finos de la íntima que hacen protusión hacia la luz del vaso y que están formados por fibras de colágena y recubiertas por endotelio
 - estas válvulas se disponen por pares, enfrentadas entre sí, y con sus bordes semilunares en la dirección del flujo sanguíneo con lo que evitan el reflujo de la sangre. Las dos válvulas del par tienen un punto de inserción común en la íntima
 - la cavidad semilunar que delimitan tiene la concavidad dirigida hacia el corazón y el espacio delimitado entre la válvula y la pared de la vena se llama **seno**
 - estas venas son especialmente numerosas en las venas de la extremidad inferior (la sangre se conduce en contra de la gravedad).
 - Hay algunas venas que carecen de válvulas: venas cerebrales, senos venosos craneales, venas yugulares, venas cavas superior e inferior y las venas del interior de los órganos y de la médula ósea.

- **túnica media**

- fibras musculares lisas laxamente dispuestas
- fibroblastos y fibras de colágena entre las f.m.l.

- **túnica adventicia**

- es la más gruesa de las capas de la pared de la vena
- haces longitudinales de fibras de colágena intercalados con haces longitudinales de fibras elásticas y alguna fibra muscular lisa

3.- Venas de gran calibre

Estas venas tienen un **calibre superior a 1 cm** y entre ellas están las venas cavas, las pulmonares, las renales, la porta, las yugulares internas, las ilíacas y la aórtica

- **túnica íntima**

- endotelio con lámina basal y fibras reticulares
- capa subendotelial con fibroblastos y una red de fibras elásticas

- **túnica media**

- es similar a la de las venas de mediano calibre: es delgada y contiene algunas fibras musculares lisas entremezcladas con fibroblastos, fibras de colágena y fibras elásticas
- las venas superficiales de la pierna y las venas pulmonares tienen una capa muscular bien definida

- **túnica adventicia**

- es la más gruesa de las capas de la pared
- tejido conectivo con abundantes fibras de colágena y fibras elásticas
- haces de *fibras musculares lisas longitudinales*

- se ven vasa vasorum
- las venas cavas y las venas pulmonares, conforme se acercan al corazón, tienen alguna fibra muscular cardíaca en la adventicia.

ANASTOMOSIS ARTERIOVENOSAS (AAV)

Como los capilares son considerados como tubos pasivos no contráctiles, el **control del flujo sanguíneo** que les llega depende de las modificaciones del calibre de los vasos que conducen la sangre hasta ellos (metaarteriolas) o de la existencia de estructuras que pueden derivar directamente la sangre de las arterias hacia las venas (anastomosis arteriovenosas)

En muchas zonas del cuerpo las arterias (arteriolas) no vierten la sangre al lecho capilar sino que se unen directamente con una vena (vénula) formando una **anastomosis arteriovenosa** directa.

1.- Estructura

En las AAV se distinguen tres porciones:

- **segmento inicial:** similar a la arteria pequeña o arteriola que la origina
- **segmento intermedio:** tiene una pared muy gruesa para el calibre del vaso
 - túnica íntima
 - endotelio con lámina basal
 - *fibras musculares lisas tipo I:* son células ramificadas, claras y pobres en miofilamentos. Están debajo del endotelio y forman la llamada *capa epitelioide* que se ve con el M.O.
 - túnica media
 - *fibras musculares lisas tipo II:* son células más oscuras (son células musculares típicas)
 - hay fibroblastos y fibras de colágena entre las fibras musculares
 - túnica adventicia: gruesa capa de tejido conjuntivo
- **segmento final:** similar a la vena pequeña o vénula con la que se continúa

Las AAV (sobre todo su segmento intermedio) están ricamente inervadas por nervios adrenérgicos y colinérgicos.

2.- Glomos

Los glomos son AAV algo más complejas que **se localizan** en el lecho ungueal, el pulpejo de los dedos de las manos y los pies y en las orejas.

Las **características estructurales** diferenciales son:

- la zona intermedia está envuelta por una cápsula de tejido conectivo
- la arteriola aferente penetra en la cápsula y se divide y se enrolla profusamente antes de dar lugar a una vena eferente que sale de la cápsula del glomo para unirse al plexo venoso hipodérmico.
- está muy ricamente inervado por terminaciones vegetativas (simpáticas y parasimpáticas)

3.- Función de las AAV

- Las AAV suponen un sistema de **regulación del flujo sanguíneo a una zona:** cuando las AAV están relajadas la sangre pasa directamente desde las arterias a las venas sin pasar por el lecho capilar y si están contraídas sucede lo contrario.
- Las AAV y los glomos se localizan sobre todo en la piel y su contracción está bajo el control de los centros cerebrales termorreguladores. Las AAV cutáneas **juegan un papel importante en la termorregulación:** cuando están contraídas, la sangre deriva en gran proporción hacia el plexo venoso hipodérmico y se produce así una pérdida de calor al medio.

VASOS LINFÁTICOS

Los vasos linfáticos se localizan en todo el cuerpo, aunque **faltan en algunas zonas:** sistema nervioso central, órbita, oído interno, epidermis, cartílago y hueso.

Los **capilares linfáticos** retiran el exceso de líquido tisular de todos los tejidos del cuerpo y la drenan hacia los **vasos linfáticos colectores**. Los vasos linfáticos (vasos linfáticos aferentes) encuentran en su camino los *ganglios linfáticos*. En su tránsito por los ganglios linfáticos la linfa es depurada y a ella se le añaden linfocitos antes de salir por los vasos linfáticos eferentes. Los vasos linfáticos van confluyendo en vasos de mayor calibre hasta alcanzar los dos **conductos linfáticos** (conducto linfático derecho y conducto torácico) por los que la linfa es vertida al torrente sanguíneo (en la zona de confluencia de las venas yugulares interna y subclavia).

1.- **Capilares linfáticos**

Los capilares linfáticos tienen una **estructura muy similar a la de los capilares sanguíneos continuos** pero hay algunas **diferencias**:

- Se originan en forma de fondo de saco
- El calibre es mayor y más irregular que el de los capilares sanguíneos
- La pared del vaso linfático es muy delgada
 - **Endotelio**
 - células endoteliales muy aplanadas sin fenestras
 - los bordes de las células vecinas se superponen en ciertas zonas pero, en otras zonas, dejan **hendiduras intercelulares** amplias que permiten el paso de diversos elementos hacia la luz del capilar
 - la cara abluminal de las células endoteliales presenta pequeñas prolongaciones citoplasmáticas en cuya membrana se atan unos **filamentos linfáticos de fijación** (parece que son fibrillas finas de colágena de 5-10 nm) que unen la pared del capilar linfático con las fibras de reticulina y las fibras de colágena del tejido conectivo circundante. Estos filamentos de anclaje parecen que juegan un papel importante en el mantenimiento de la permeabilidad de la luz del capilar linfático y en la apertura de las hendiduras intercelulares.
 - **Lámina basal**
 - la lámina basal es **discontinua** y está formada por parches que no cubren todo el capilar

2.- **Vasos linfáticos colectores**

La estructura de la pared de estos vasos linfáticos es muy similar a la de las vénulas, venas pequeñas y venas medianas de similar calibre, aunque en general, su pared es más delgada y las válvulas están más próximas entre sí. Como sucede con las venas, es prácticamente imposible el diferenciar con el microscopio las tres capas de la pared porque sus límites están muy mal definidos y, por tanto, describir estas capas resulta un poco artificial.

- **Túnica íntima**
 - endotelio que descansa sobre una lámina basal
 - capa subendotelial con tejido conectivo y en la que se encuentran algunos **cojinetes subendoteliales** que hacen protusión en la luz vascular y que están formados por grupos de fibras musculares lisas orientadas longitudinalmente (en los vasos de mayor calibre)
 - **válvulas linfáticas** formadas por un par de repliegues de endotelio relleno de un pequeño eje de tejido conjuntivo.
- **Túnica media**: fibras musculares lisas orientadas circularmente y, algunas, longitudinalmente (en los vasos de mayor calibre)
- **Túnica adventicia**: es la más gruesa de las capas y contiene tejido conectivo con alguna fibra nerviosa y algún vaso nutriente (en los vasos de mayor calibre)

3.- Conductos linfáticos

La estructura de la pared de los conductos linfáticos (el **conducto linfático derecho** y el **conducto torácico**) es similar a la de las grandes venas

- **Túnica íntima**

- endotelio sobre una lámina basal
- varias capas de fibras de colágena y elásticas
- algunas láminas elásticas que forman una estructura similar a la lámina limitante externa

- **Túnica media**

- fibras musculares lisas circulares y longitudinales

- **Túnica adventicia**

- tejido conectivo con fibras de colágena orientadas longitudinalmente
- fibras musculares lisas orientadas longitudinalmente
- fibras nerviosas y vasos nutrientes

Estas tres capas están peor delimitadas que en la pared de las grandes venas, aunque la capa media está más desarrollada en los conductos linfáticos.