

18. Hemodinamika: Presioa, fluxua eta erresistentzia.

Presioaren erregulazioa. Zirkulazio kapilarra eta linfatikoa.

Oreka kapilarra.

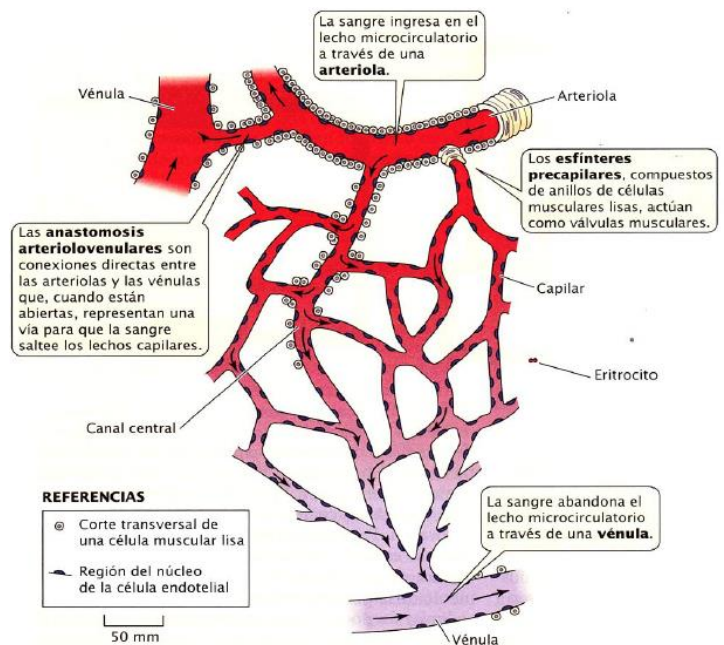
Hemodinamika: Odol mugimendua eta dinamikari deritzo. Nola garraiatzen den odola organismoan zehar.

Neurri handi batean organoetara iristen den odol-fluxua kontrolatu daiteke eskariaren arabera. Modu desberdinak daude organo bakoitzari iristen zaion **odol-fluxua** kontrolatzeko, baina batez ere, **nerbio sistema autonomoak** kontrolatuko du.

Bihotzaren eraenketa sistemaren eraenketa oso bat izango da, baina kapilare hauen eraenketa gune konketuetako fluxua kontrolatzeko izango da.

Fluxua kontrolatzeko eta erregulatzeko hainbat mekanismo daude: (Irudian agertzen direnak)

- Arterietan muskulu leunaren uzkurketa eta erlaxamendua.
- Odol-hodiak adarkatzea eta hauen diametroa txikituz joatea kapilar sistemara iritsi arte (bertan gertatzen da gas eta elikagaien transferentzia, besteak beste). Elkartrukeak kontrolatzeko odol-fluxua kontrolatu behar da.
- Anastomosi arteriobenularrak, hau da, arteriak eta benak zuzenean konektatzen dituzten odol-hodiak. Horrela, hauei esker, presio handian datorren odola ez da sistema kapilarretik edo kapilarretatik pasako.
- Kapilarretara iritsi aurretik agertzen diren esfinter prekapilarrek kontrolatzen du. Esfinter prekapilarra kapilar sistemaren hasieran egon daitezkeen muskulu leunez eratutako eraztun antzeko egiturak dira, zeinak arterietatik kapilarretarako bidea bloketatu dezaketen. (Ikus 1.irudia)

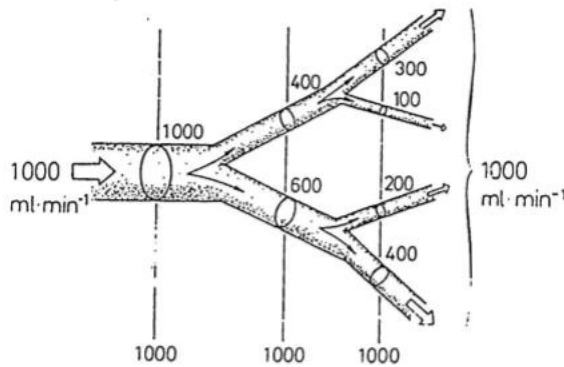


18.1. Irudia. Ugaztun baten mikrozirkulazioa: kapilarrek sare bat osatzen dute, abartuz eta berriro lotuz, goiko arteriola eta beheko benularen artean. Esfinter prekapilarrek eta anastomosi arteriobenularrek ireki edo itxi egiten dira inguruko muskulu lisoko zelulen uzkurketaren arabera.

Azken bi egitura hauen bitartez, odola organo jakin batera bideratzea lortu eta bertara iritsiko den odol kopurua determinatzea edo kontrolatzea lortzen da.

Odol-fluxua eta abiadura

Zirkulazio-sistema itxiek berezitasun bat aurkezten dute; hain zuzen ere, itxiak egoteagatik, eta likidoak konprimaezinak izateagatik ikusi da odol-hodi maila bakoitzeko **odol-fluxua konstante** mantentzen dela (odol-hodien adarkaduraren aurrean). Horrela, gorputzean zehar adarkadura maila handituz eta odol-hodiak diametroz txikituz badoaz ere, likidoak konprimaezinak direnez odol-fluxua ez da aldatuko zeharkako sekzio osoa kontuan hartuz gero (odol fluxua bateragarria da). Badakigu aortatik adarkatzen direla arteriolak eta kapilareak. Bi adarren fluxua batzen baditugu, L/min edukiko dugu aortan (zati zabalean) dugun fluxu berdina.



18.2. Irudia. Abartzan diren hodi sistema baten, fluxua, tokiko erresistentziaren arabera banatzen da, baina zeharkako sekzio osoatik igarotzen den fluxua, maila bakoitzean, konstante mantentzen da.

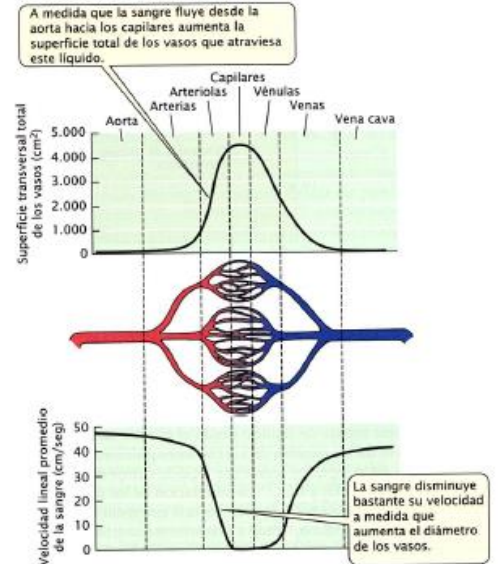
Adb: Arterietatik 1000ml odol/min-ko pasatzen badira ondorengo adarkadura guztien fluxuen batura ere litro betekoa izango da denbora unitateko. Horrek, hala ere, ez du esan nahi kapilare bakoitzean joango den odol kantitatea simetrikoa izango denik, hau da, adarkadura batean hodi bat lodiagoa bada bestea baino, lodienetik joango da odol gehien erresistentzia gutxiago eragingo duelako (adibidez, 400ml/min eta 600ml/min).

Gorputzaren edozein puntua begiratuta fluxua berdina da. Fluxua konstante mantentzen da sistema itxia delako.

$$\Phi \text{ (fluxua)} = V \text{ (abiadura)} \times S \text{ (sekzioa)}$$

Fluxua konstante mantentzeko hodi baten sekzioa handitzen bada abiadura jaitسي beharko da, aldiz sekzioa estutzen bada abiadura azkartuko da.

(a) Velocidad lineal de la sangre y diámetro de los vasos



Irudia Odol-fluxua gizakiaren zirkuitu sistemikoan. Odol-hodien zeharkako azalera osoaren diametroa eta odolaren abiadura. Kapilarren diametroa banaka oso txikia bada ere, dauden guztien diametroaren baturak aise gainditzen du aortaren diametroa, Odolak daraman abiadura zeharkako azalera osoarekiko inbertsoki proportzionala denez, arterietan eta zainetan altuagoa da eta askoz motelagoa kapilarretan

18.1.Taula Odol-hodien geometria. Datuak txakur bati dagozkie.

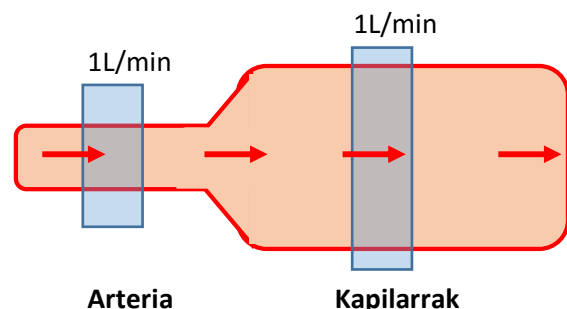
Kind of vessel	Diameter (mm)	Number	Total cross-sectional area (cm ²)	Length, approx. (cm)	Total volume (cm ³)*
Aorta	10	1	0.8	40	190
Large arteries	3	40	3	20	
Arterial branches	1	2 400	5	5	
Arterioles	0.02	40 000 000	125	0.2	
Capillaries	0.008	1 200 000 000	600	0.1	60
Venules	0.03	80 000 000	570	0.2	680
Veins	2	2 400	30	5	
Large veins	6	40	.11	20	
Vena cava	12.5	1	1.2	40	

*The estimates of total volume are based on a more detailed analysis than indicated by the figures for length given in the preceding column.

Goiko taulan txakur batetik hartutako balioak agertzen zaizkigu. Odol hodi motak, haun diametroa eta zein kopurutan agertzen diren. Bihotzetik ateratzean bakarra dugu (aorta), honen diametroa 10 mm-koa eta hau adarkatzen da diametro txikiagoko hodietan, kapilareak esaterako 0,8 mm baina hauen kopurua oso handia da, askoz txikiagoak dira baina kopuru handitan daudenez, beteko luketen azalera dezente handia da 0,8 tik 600 ra. Horrek daukan eragina zein da. Kapilareen sekzioa (S) handiagoa da azaleran gehiago daudelako nahiz eta aortak diametro handia izan. Hau dela eta kapilareetan abiadura geldoagoa izango da; zergatik? Bertan gasen elkartrukea eman behar da orduan odola ezin da abiadura handian zeharkatu ez bailuke denborarik izango elkartrukeerako.

Hau ulertzeko arteriekin hodi bat egingo dugu eta kapilar guztiekin beste bat. Kapilarrek hain txiki eta ugariak direnez hauen paretan baturak osatuko luketen hodia oso handia izango litzateke, arteriena baino handiagoa. (ikus 3.Irudia)

Hodi handi baten eta txiki guztien baturaz lortzen den odol-fluxua BERDINA izan behar duenez eta maila bakoitzeko odol-hodi bakoitzaren azalera EZBERDINA denez, **odol-hodi bakoitzaren odolaren abiadura aldakorra izango da.**



- Hodi handi bat (arteria):
 - Odol-fluxua konstante
 - Azalera total txikia
 - Odolaren abiadura → HANDIA
- Hodi txiki bat (kapilarra):
 - Odol-fluxua konstante
 - Kapilar guztien baturaz lortutako azalera total HANDIA
 - Odolaren abiadura → TXIKIA

3. Irudia: Odol-hodi ezberdinen **AZALERA TOTALA**. Arteria baten azaleratik zein kapilar guztien azaleratik pasa beharreko odol bolumena minutuko (=odol fluxua) **berdina** izan behar du, beraz, arterietatik **abiadura txikiagoz**, hots, **mantsago** pasa behar du.

(Beraz; HODIEN AZALERA TOTALA ↑ ⇔ ODOLAREN ABIADURA ↓)

Aurrekoaren ondorio gisa, esan daiteke **kapilarrek materia eta gasen transferentzia gertatzeko egokiak** direla; Kapilarretako abiadura motelak gune interstizialarekin elikagai eta hondakin arteko elkartruke egokia bermatzen duelako.

Presio arteriala eta erresistentzia

18.2. Taula Gizakiaren sistema baskularreko alde desberdinetako odol-bolumena, presioa eta abiadura.

	Volume (ml)	Pressure (mm Hg)	Velocity (cm s ⁻¹)
Aorta	100	100	40
Arteries	300	100-40	40-10
Arterioles	50	40-30	10-0.1
Capillaries	250	30-12	Less than 0.1
Venules	300	12-10	Less than 0.3
Veins	2200	10-5	0.3-5
Vena cava	300	2	5-20

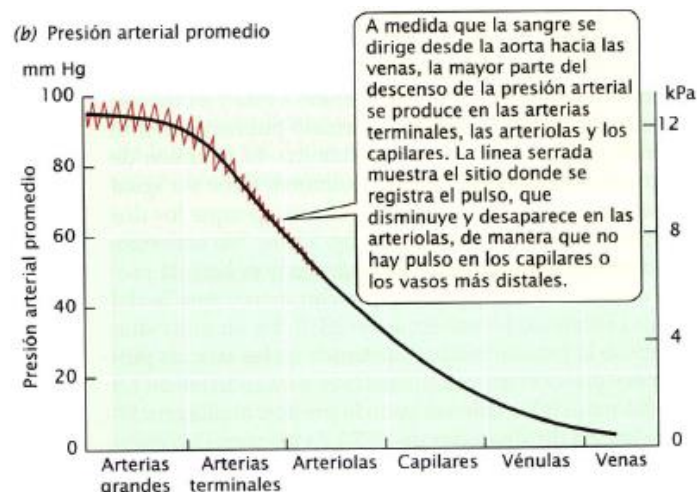
Presio arteriala, bihotzaren uzkurketen ondorioz gertatzen da eta odol-hodiak geroz eta txikiagoa izan eta hauen sekzioa murriztu ahala, erresistentzia orduan eta handiagoa izango da, horrela presioa jaitsiz. **Zirkulazio-sisteman aurrera egiten den heinean presio arteriala jaitsiz** joango da (arterietan 100mmHg inguru eta kapilarretan 40mmHg) eta presio jaitsiera honek ere garrantzia izango du kapilar eta gune interstizialaren transferentzian.

(Beraz; HODIEN DIAMETROA ↓ ⇒ ERRESISTENTZIA ↑ ⇒ PRESIO ARTERIALA ↓)

Hobeto ulertzeko: Pareta likido proportzioa garrantzitsua da kontzeptu hau ulertzeko. Hodi zabal batean pareta/likido proportzioa likidoaren aldera doa ondorioz paretak egindako erresistentzia txikiagoa da. Hodi estu batean pareta/likido proportzioa paretaren alde egiten du eta ondorioz paretak eragindako erresistentzia handiagoa izango da.

Likidoak, kasu honetan odola paretaren kontrako indar bat eragiten du, ondorioz odola eta paretaren arteko marruskadura indar bat sortzen da. Odola indarraren parte bat marruskadura indar moduan galtzen du. Zenbat eta indar gehiago galdu marruskadura moduan geroz eta indar gutxiago galduko du presio moduan.

Azkenean paretak erresistentzia gehiago eragiten badu marruskadura indarra handiagoa izango da eta presioa txikiago.



18.4. Irudia. Odol-fluxua gizakiaren zirkuitu sistemikoan. Batez besteko presio arteriala. Bihotzaren uzkurketek eragindako presioa (energia potentziala) indarra galtzen doa odol-hodiek eragiten duten erresistentziagatik. Erresistentzia-emendiorik nabariena arterioletan ematen denez, hortxe gertatzen da presio-jaitsiera handiena.

Bestalde, kapilarretatik berriro ere bihotzerako bidean, hodiak zain bilakatzen dira, diametro handiago bat hartuz, baina, hala ere, **presio arterialak jaisten jarraitzen du**, bihotzera sartu aurretiko alde benosoan aurkitzen direlarik presio gutxieneko puntuak.

Zainen presio arterial baxua dela eta, hodi hauen barneko odola ez da berezko indar baten bidez mugituko baizik eta atzeko arterietatik etorritako odolaren bultzatze-indarraren ondorioz. Gainera, muskuluen uzkurduragatik edota gainazalen presioagatik, zain hauek estutu (konprimitu) eta odola bultzatzea ere lortuko da (adibidez, oina lurrean jartzean, bertan dauden zainak estutu egiten dira bertako muskuluen uzkurketagatik eta pisuaren indarragatik, odola gorantz bultzatuz)

Aurrekoa dela eta, zirkulazio-sistemako odol gehiena zainetan pilatuko da, hau da, alde benosoa izango da gorputzeko odol biltegi nagusia.

Odol-hodietan zeharreko fluidoaren dinamika aztertzeko (odol-fluxuaren abiadura determinatzeko) HAGEN-POISEUILLEren ekuazioa erabiltzen da (ez da ikasi behar). Ekuazio honen arabera:

- Kontuan hartu beharreko parametroak: (fluxuaren abiadura determinatuko dutenak)

- Hodiaren PRESIOA (P)
- Hodiaren ERRADIOA (r)
- Hodiaren LUZERA (l)
- Hodiaren paretak ezartzen duen ERRESISTENTZIA (R)

$$\text{Fluxuaren abiadura} = \Delta P / R$$

ΔP : Presioen arteko aldea: $P_{in} - P_{out}$

R: Erresistentzia

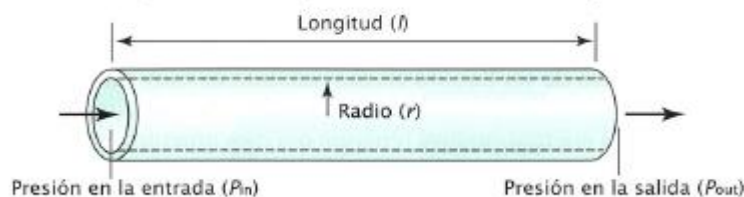
$$R = 8 \cdot \eta \cdot l / \pi \cdot r^4$$

η = Biskositatea

l = luzera

$$\Phi = \frac{(P_{in} - P_{out}) \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

(a) Presiones y dimensiones que afectan la velocidad del flujo



3. Irudia: Odolaren abiadura hodiko gune ezberdinetan paretan erresistentzia dela eta.

- Ondorioak:

- Formulan r^4 agertzen da, beraz, hodiaren erradio aldaketa txikiek erresistentzian eta odol-fluxuan eragin HANDIA edukiko dute (erradioa $\uparrow \Rightarrow$ erresistentzia $\downarrow \Rightarrow$ odol-fluxuaren abiadura \uparrow [adb. Arterietan]).
- Odol-hodi txikietan, paretaren azalera proportzionalki hazi egiten da, eta ondorioz, odolak jasaten duen erresistentzia IGO. Beraz, nahiz eta odol-hodien azalera totala handiagoa izan zirkulazio-sistemako kapilar-sisteman, hauen erresistentzia ere handiagoa da eta odol-fluxua motelagoa.

Kapilarretako transferentzia

Odol-fluxuaren abiadura aldaketak, eta konkretuki odol txikietako fluxu moteltzeak, kapilarretako likido **transferentzia** izango du garrantzia.

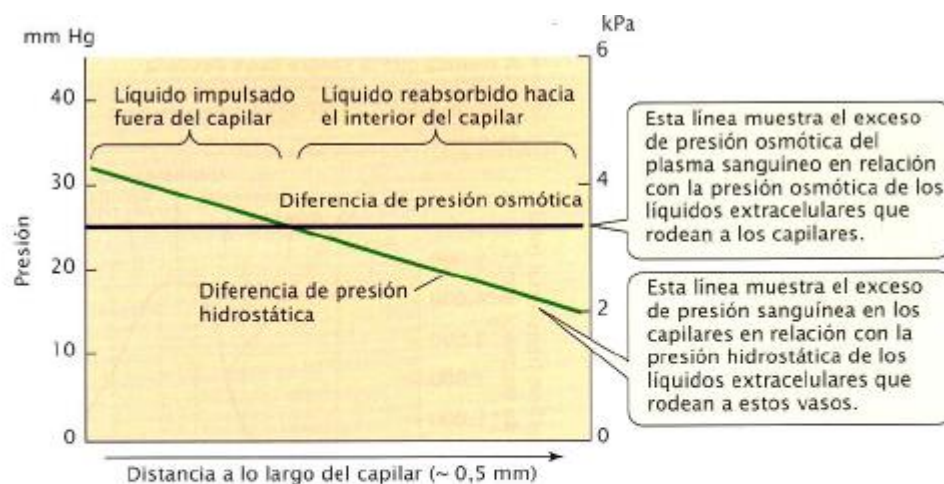
Starling-Landisen hipotesiak dio kapilarretan bi indar izango ditugula kapilar eta ingurune interstizialaren arteko transferentzia gertatzeko: **presio hidrostatikoa** (odol-hodien pareten aurkako indarra) eta **presio osmotikoa** edo **koloidosmotikoa**.

Presio hidrostatikoa kanpora bultzatzen du odola. Hemen daukagu epitelio iragazkor bat, ez glomeruluan dagoena bezain iragazkorra, eta bertatik partikulak pasako dira baina ez molekula handiak. Pasatzen ez diren partikula hauek, **koloideak**, presio koloidosmotikoa sortzen dute. Plasmako kontzentrazioa handiagoa izango da gune interstizialean egongo dena baino partikula hauei esker. Ondorioz presio koloidosmotikoa barrurantzko indarra eragingo du.

***Solución coloidal**: solución en la cual pequeñas partículas, tales como grandes moléculas poliméricas, se encuentran dispersas de manera homogénea en un medio líquido.

Transferentzia prozesua:

Prozesu hau difusioz eta gradientearen alde ematen da. Odol-hodietako plasma eta plasma interstizialak antzeko konposaketa dute, baina odoleko molekula handiek ezin dutenez kapilarren pareta igaro, **plasma** kontzentrazio handiko tokitik kontzentrazio txikiko guneetara lekualdatuko da, berekin daramatzan elikagaiak gune estrazelularrera bultzatuz.

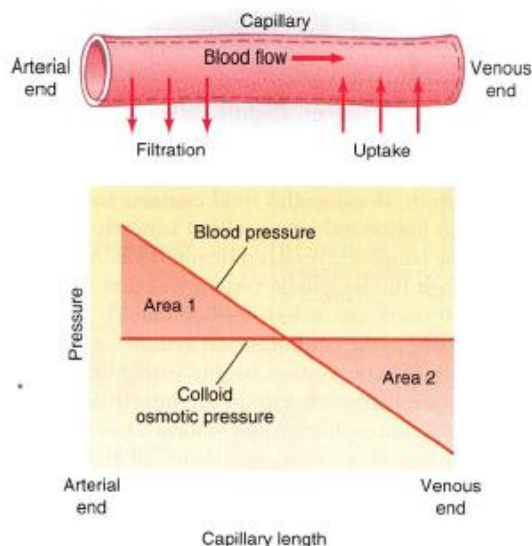


18.6. Irudia. Ugaztunen kapilarreetako hometan zehar ematen den likidoaren elkartrukea. **Starling-Landis-en hipotesia**. Odol-plasmak likidoa galtzen du kapilarren hasierako aldeetan, baina neurri handi baten alde distalerantz berreskuratzen da. Presio osmotikoaren lerroa zuzen batez adieraztea badago, likidoaren irabaziak eta galerak ez baitira presio osmotiko erlatiboak nabariki aldarazteko beste. Balioak gutxi gora beherakoak dira.

Irudian ikusten den moduan, presio koloidosmotikoa konstante mantentzen da kapilare osoan zehar. Presio hidrostatikoa aldiz, murriztuz doa kapilarean zehar.

Arteriaren hasieran presio hidrostatikoa presio koloidosmotikoa baino handiagoa denez likidoa kanpora egingo du, irabazten duen indarra kanporantzko indarra delako, hidrostatikoa. Baina presio hidrostatikoa murrizten doanez, ailegatuko da momentu bat

non presio koloidosmotikoa baino txikiagoa bihurtuko den. Momentu honetan odola barneratuko da irabazten duen indarra barrualderako indarra delako, koloidosmotikoa.



18.7. Irudia. Kapilarren horman zehar gertatzen den likidoaren fluxu netoa, odolaren presio hidrostatikoaren eta fluido estrazelularren eta odol-plasmaren arteko presio koloidosmotikoaren arteko diferentziaren arabera da. Kapilarren alde arterialean presio hidrostatikoa > presio koloidosmotikoa, eta beraz likidoa iragazi egiten da alde estrazelularerantz (ikus 1 area grafikoan). Alde benosoan kontrakoa gertatzen denez, likidoa alde estrazelularretik kapilarerantz abiatzen da (2 area). 1 azalera bigarrena baino apur bat handiagoa denez, kapilar gehienetan likidoaren galera neto txiki bat gertatzen da. Likido hau sistema linfatikoaren bidez bueltatzen da zirkulazio sistemara.

Kapilarretako plasma transferentzia prozesua. Presio hidrostatikoa = marra berdea eta presio osmotikoa = marra beltza. Area 1 eta Area 2, medio estrazelular eta kapilar barneko inguruneak trukaturako plasma kopuruaren azalera

Kapilarren hasieran edo alde arterialean (Area 1) barneko presio hidrostatikoa presio osmotikoa baino handiagoa izango da eta ondorioz, likidoa alde estrazelularrerantz iragazi egiten da. ($P_{\text{hidrostatiko}} > P_{\text{osmotiko}} \Rightarrow$ Likidoa kapilarretik \rightarrow Gune interstizialera)

Hodian aurrera egin eta amaiera benosora heldu ahala (Area 2), hodi barneko presio koloidosmotikoa konstante mantendu eta hidrostatikoa murriztuz doa, eta ondorioz, likidoa zelularteko gunetik berriro ere kapilarrean barneratzen da. ($P_{\text{hidrostatiko}} < P_{\text{osmotiko}} \Rightarrow$ Likidoa Gune interstizialek \rightarrow kapilar barnera)

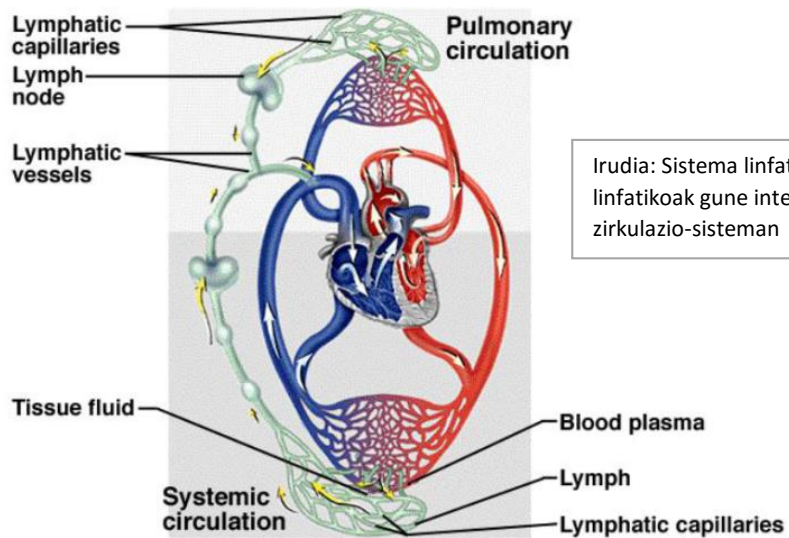
Ondorioak:

Odol-plasmak likidoa galtzen du kapilarren hasierako aldean, baina neurri handi batean alde distalean berreskuratzen da. Trukatutako odol kopuruaren diferentzia azalera txikiagoa da alde arterialean alde benosoan baino (hau da, $\text{Area } 1 < \text{Area } 2$). Ondorioz, kapilar gehienetan, hasierako gunean ateratzen den plasma kopurua amaieran berreskuratzen dena baino handiagoa da eta likidoaren galera neto txiki bat gertatzen da.

Sistema linfatikoa

Zirkulazio-sistemak berreskuratu gabeko plasma berriro ere odolera bueltatzeko sistema da. Linfaren presioa oso txikia da eta horregatik, plasma likido interstizialera joaten da. Eta hori zirkulazio-sistemak berreskuratzekeo presiorik baxueneko lekuan itzultzen da, bihotzera iristen den kaba-benan, hain zuzen ere.

Sistema linfatikoa garrantzitsua izango da sistema immunitarioan, bertan zenbait osagai sintetizatzen dira eta gantzen xurgapenean ere garrantzitsuak izango dira. Lipidoak hestetik ez dira zuzenean odolera pasako, gune interstizialean geratzen dira sistema linfatikoak drenatu arte.



Irudia: Sistema linfatikoa eta zirkulazio-sistema. Sistema linfatikoak gune interstizialeko plasma berreskuratu eta zirkulazio-sisteman txertatzen du kaba-benan.