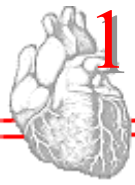


Sistemul Cardiovascular

Cursul 11

Microcirculația

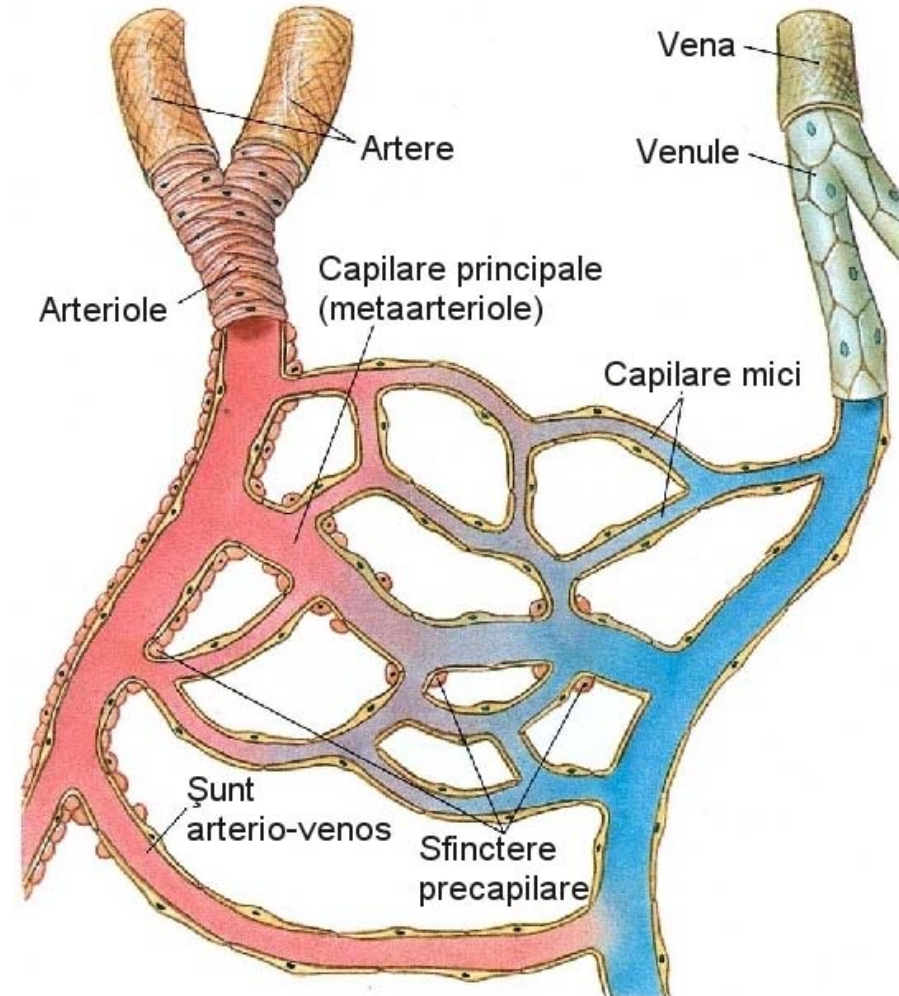
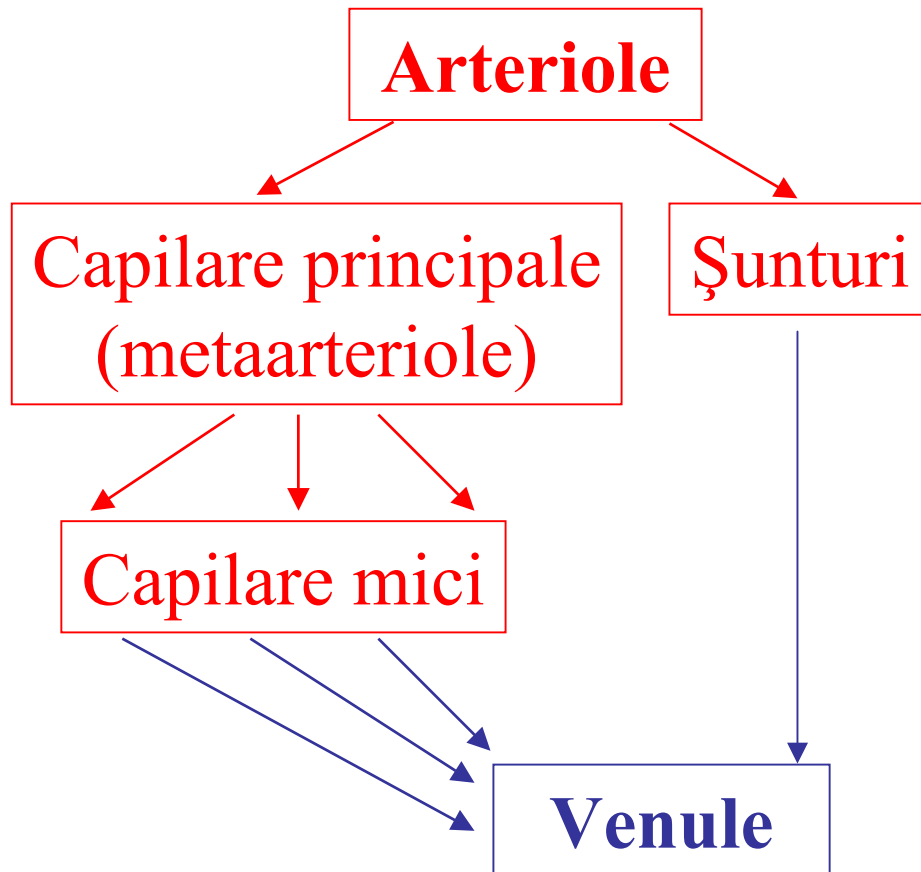
Circulația venoasă și limfatică

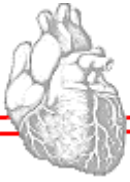


1. Circulația capilară. Parametrii microcirculației

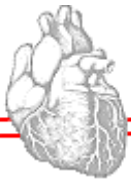
Definiție: circulația în vasele mici situate între circulația arterială și venoasă, adaptată pentru schimburi de substanțe.

Componentele microcirculației:

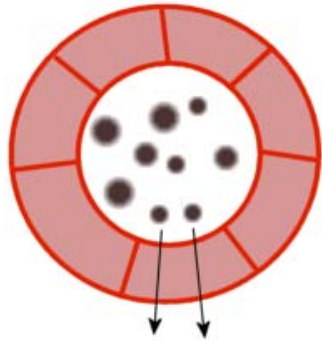




- **Arteriiolele:** $\uparrow$ fibre musculare netede în perete.
- **Capilarele principale (metaarteriole):** au sfinctere precapilare.
- **Şunturi:**
 - comunicare directă între arteriole-venule;
 - schimburi de substanţe;
 - rol important în termoreglare:
 - $t^{\circ} \downarrow \Rightarrow$ vasoconstricţia sfincterelor precapilare, şunturile sunt singura comunicare arteriolo-venoasă,
 - $t^{\circ} \uparrow \Rightarrow$ toate sfincterele sunt deschise.

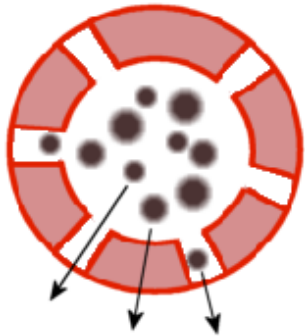


■ **Capilarele mici** - numeroase, fără fibre musculare netede, sunt de 3 tipuri:



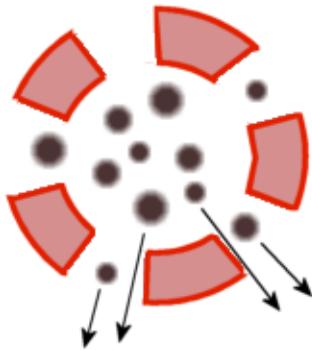
■ **Continue:** strat de celule endoteliale pe membrana bazală, cu joncțiuni intercelulare strânse;

- în circulația cerebrală (schimburi ↓ de substanțe, trec doar particule ↓ – apă, CO_2 , O_2).



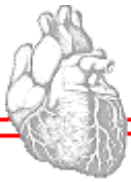
■ **Fenestrate:** fenestrații ovale/pori între celulele endoteliale, schimb de particule mai ↑;

- ex. capilarele glomerulare => filtrare ↑.

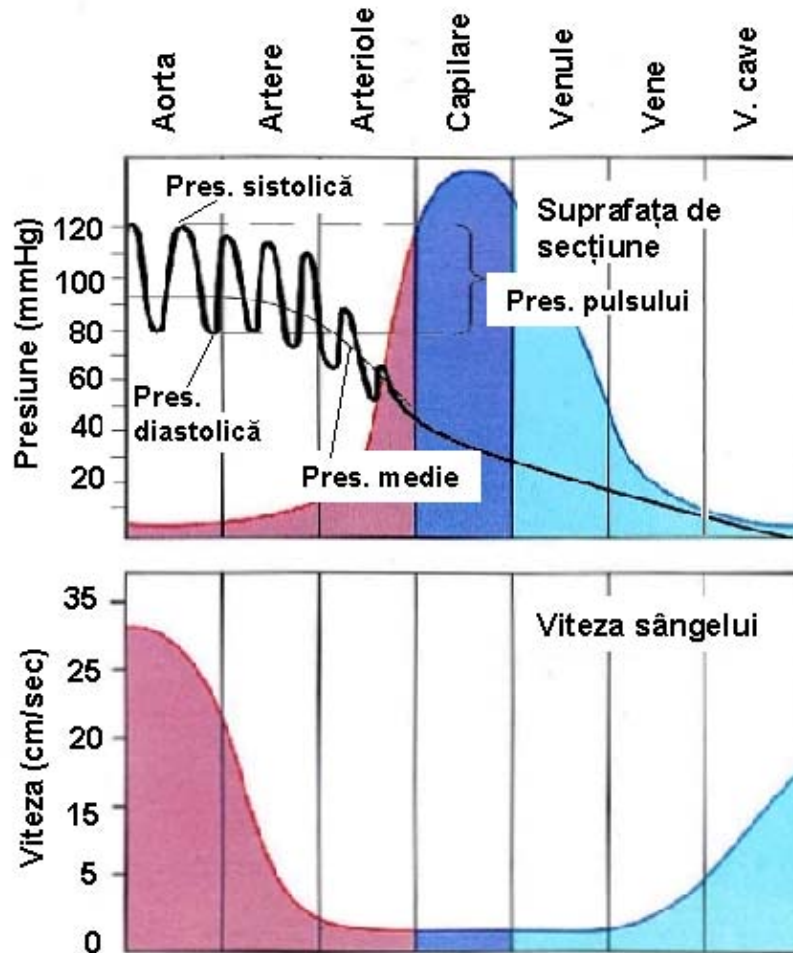


■ **Discontinue:** spații mari între celulele endoteliale => schimburi ↑↑ de substanțe de dimensiuni mari (proteine);

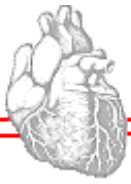
- ex. capilarele din splină, ficat, intestin.



Parametrii circulației capilare

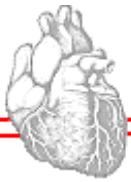


- Suprafață maximă (2500 cm²)
- Viteză minimă (1000 x ↓)
0,3 mm/sec
- Timp de pasaj 0.3-1 sec
- Presiune adaptată schimburilor capilare
- Flux sanguin variabil datorită vasomoției - dată de :
 - starea contractilă a arteriolelor, metaarteriolelor și sfincterelor precapilare;
 - presiunea transmurală = $P_{\text{intravasculară}} - P_{\text{extravasculară}}$;
 - factori neuromorali.



Particularități ale circulației capilare

- Distribuția capilarelor este variabilă:
 - ↑ în țesuturi metabolic active (mușchi cardiac, scheletic);
 - ↓ în țesuturi mai puțin active (cartilaje).
- Diametrul capilar variabil 4-9 μm , eritrocitele (dimensiuni $7/2 \mu\text{m}$) trebuie să se deformeze pentru a traversa capilarul.
- Pasajul substanțelor se face prin:
 - **pori intercelulari** cu dimensiunea de 4 nm;
 - **fenestrații** cu diametrul de 20-100 nm.
- Permeabilitatea capilară este neuniformă: crește spre capătul venos și este maximă în venule (datorită numărului mai mare de pori).

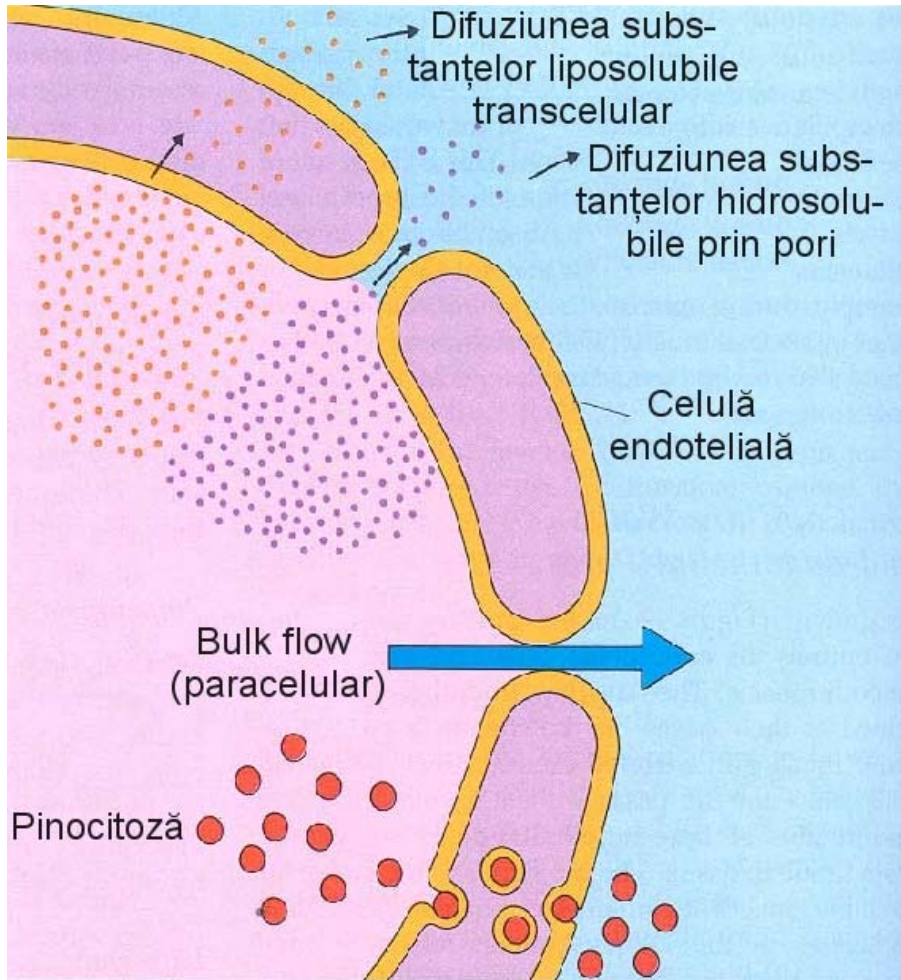


Particularități ale circulației capilare

- În repaus sunt deschise 10-20% din capilare, unele se deschid și altele se închid, realizând un echilibru între
 între numărul de capilare deschise și închise,
 - Metabolism $\uparrow \Rightarrow$ se deschid mai multe capilare.
- În plămâni, $P_h \downarrow \downarrow \Rightarrow P_h \ll P_{\text{oncotică}} \Rightarrow$ nu are loc filtrare,
 - Patologic $P_h \uparrow \uparrow$ (insuficiență cardiacă stângă) $\Rightarrow$ edem pulmonar.
- În rinichi, capilarul se află între 2 arteriole (aferentă și eferentă) $\Rightarrow P_h \uparrow \approx 70\%$ din $TA_{\text{Max}} \Rightarrow \uparrow$ filtrarea.
- În ficat, capilarul se află între 2 venule $\Rightarrow P_h \downarrow \downarrow$.



2. Schimburile capilare și mecanismele reglatoare

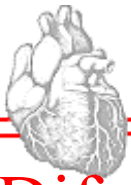


■ Schimb de substanțe între sânge și țesuturi:

- nutriția tisulară prin aportul de O_2 și nutrienți din sânge;
- eliminarea cataboliților tisulari prin trecerea CO_2 și cataboliților în sânge.

■ Căile de schimb:

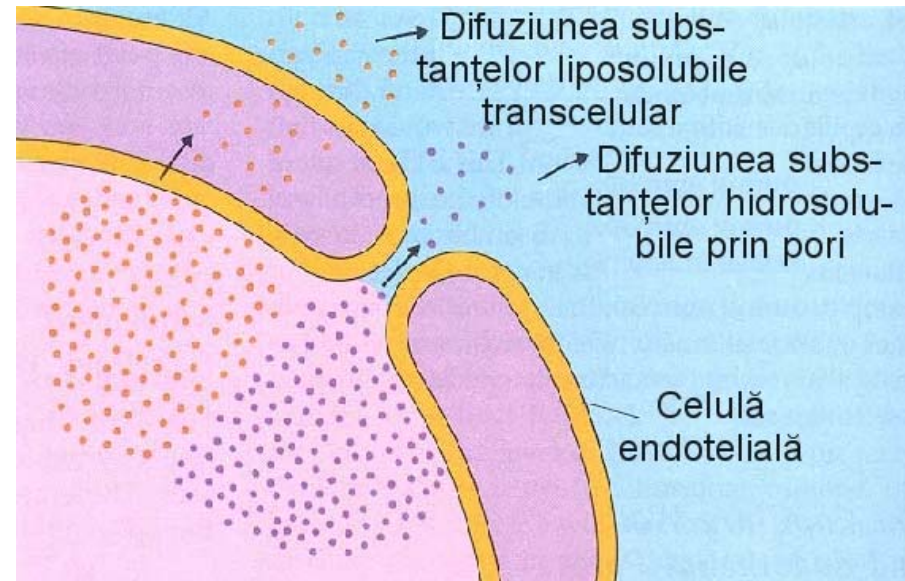
- transcelular;
- paracelular, prin fenestrații și pori;
- pinocitoză (prin vezicule);
- diapedeza (printre celule).

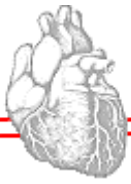


Mecanismele schimburilor capilare

1) Difuziunea:

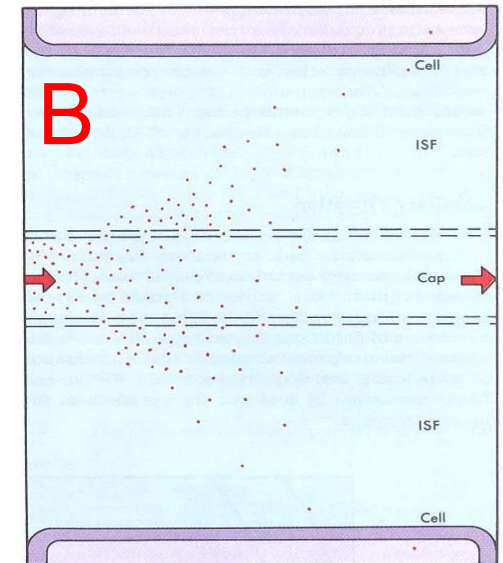
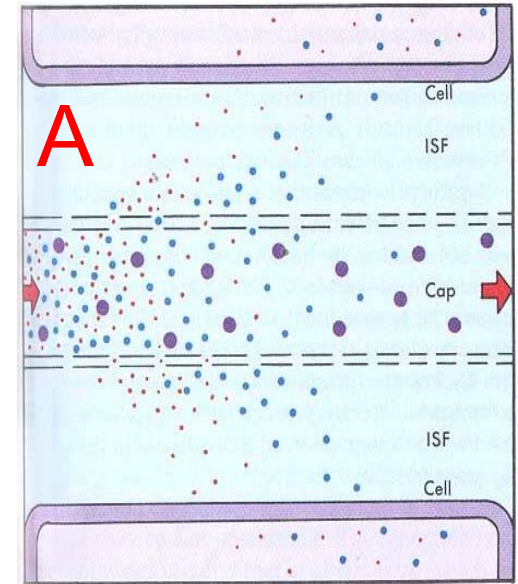
- Cel mai important mecanism al schimburilor pentru gaze, nutrienți și cataboliți.
- Se face pe baza gradientului electrochimic .
- Depinde de:
 - concentrația substanței;
 - diametrul moleculelor;
 - permeabilitatea capilară.
- Pentru substanțele:
 - liposolubile (O_2 , CO_2)=>difuziune simplă;
 - hidrosolubile => difuziune paracelulară.

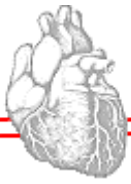




Mecanismele schimburilor capilare

- Caracteristici ale difuziunii:
 - moleculele mici, cu diametrul mai mic decât porii (NaCl, G, uree) => difuziune rapidă, **limitată de flux (A)**;
 - moleculele mari => pasaj ↓↓ **limitat de difuziune (B)**;
 - trecerea apei împreună cu micromoleculele paracelular = **flux în bloc (bulk flow)** – important în reabsorbția renală;
 - gazele sanguine pot trece direct între arteriolele și venulele adiacente => **schimburi contracurent**.





Mecanismele schimburilor capilare

2) Filtrarea:

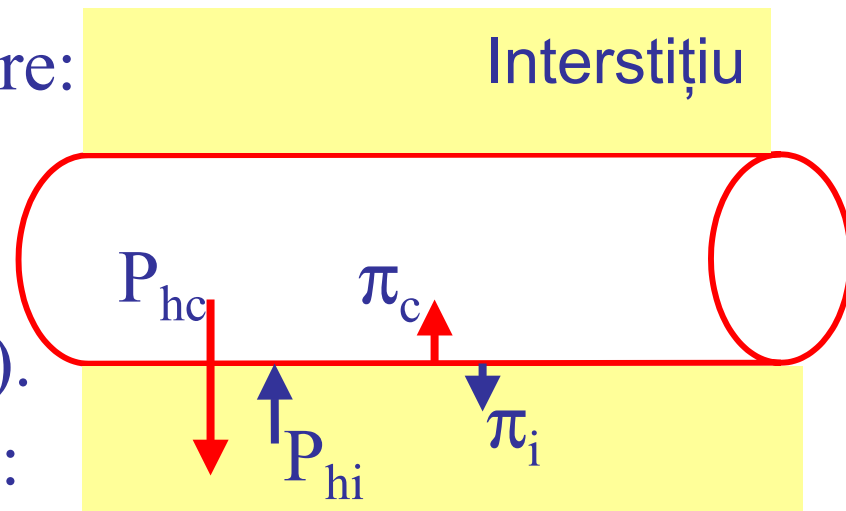
- Asigură trecerea substanțelor (fluxul – Q_f) pe baza relației între:

- presiunea hidrostatică (P_h);
- presiunea osmotică (π);
- permeabilitatea capilară (K).

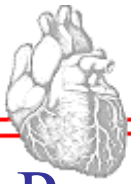
- Are la bază ecuația lui Starling:

$$Q_f = K[(P_{hc} - P_{hi}) - (\pi_c - \pi_i)]$$

- $P_{hc} = P_h$ capilară,
- $P_{hi} = P_h$ interstițială,
- $\pi_c = \pi$ capilară (oncotică),
- $\pi_i = \pi$ interstițială.

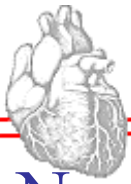


- Presiunea rezultantă:
 - + => Filtrare
 - - => Reabsorbție



Mecanismele schimburilor capilare

- $P_{hc} = P_h$ capilară, este principala forță în favoarea filtrării
 - valoare: - la capătul arterial 30-40 mmHg,
- la capătul venos 15 mmHg;
 - crescută dacă - $\uparrow$ pres. arterială sau venoasă,
- VC venulară și venoasă;
 - scăzută dacă - $\downarrow$ pres. arterială sau venoasă,
- VD arteriolară.
- $\pi_c = \pi$ capilară (oncotică), este principala forță care menține lichidul în patul vascular, fiind împotriva filtrării,
 - valoare 25-30 mmHg.
- $P_{hi} = P_h$ interstițială, se opune filtrării,
 - valoare ~ 0 mmHg $\Rightarrow$ nesemnificativă normal.
- $\pi_i = \pi$ interstițială, valoare 2-3 mmHg, în favoarea filtrării.



Mecanismele schimburilor capilare

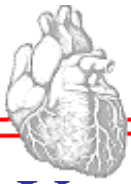
■ Normal:

- 90% din fluidul filtrat se reabsoarbe în capilare și venule,
- 10 % trece în circulația limfatică (împreună cu proteinele remanente) → vene.

■ Variații compensatoare:

- hemoragia $\Rightarrow \downarrow TA \Rightarrow \downarrow P_{\text{hidrostatică capilară}}$
 $\downarrow \text{oferta } O_2 \Rightarrow \downarrow VD_{aa}$ } **Reabs.>Filtrare**
(mec. compensator pentru refacerea volemiei)

- $\uparrow P_{\text{venoasă}}$ (ortostatism prelungit) $\Rightarrow \uparrow \text{Filtrarea} +$
compensator $\uparrow P_{\text{transmurală}} \Rightarrow \text{închidere vase precapilare} \Rightarrow$
 $\downarrow \text{suprafața filtrantă} \Rightarrow \text{reducerea filtrării.}$

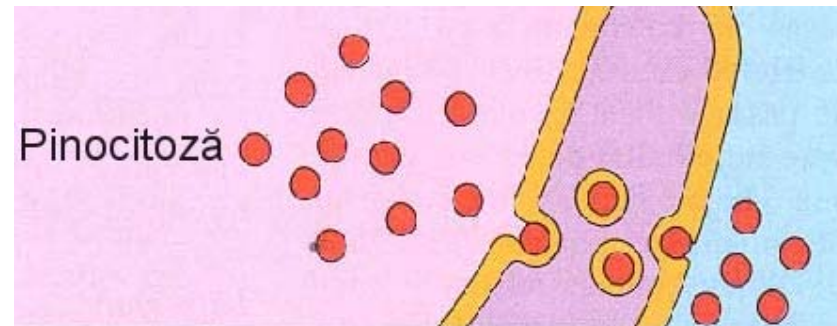


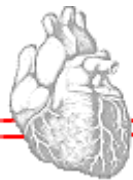
Mecanismele schimburilor capilare

- Variații patologice: $\uparrow\uparrow$ filtrarea $\Rightarrow$ edeme,
 - $P_{hc}\uparrow \Rightarrow$ edem hidrostatic,
 - $\pi_c \downarrow \Rightarrow$ edem hipoproteinic,
 - $K \uparrow$ (hiperpermeabilitate vasculară) $\Rightarrow$ edem alergic,
 - obstrucție limfatică $\Rightarrow$ edem limfatic.

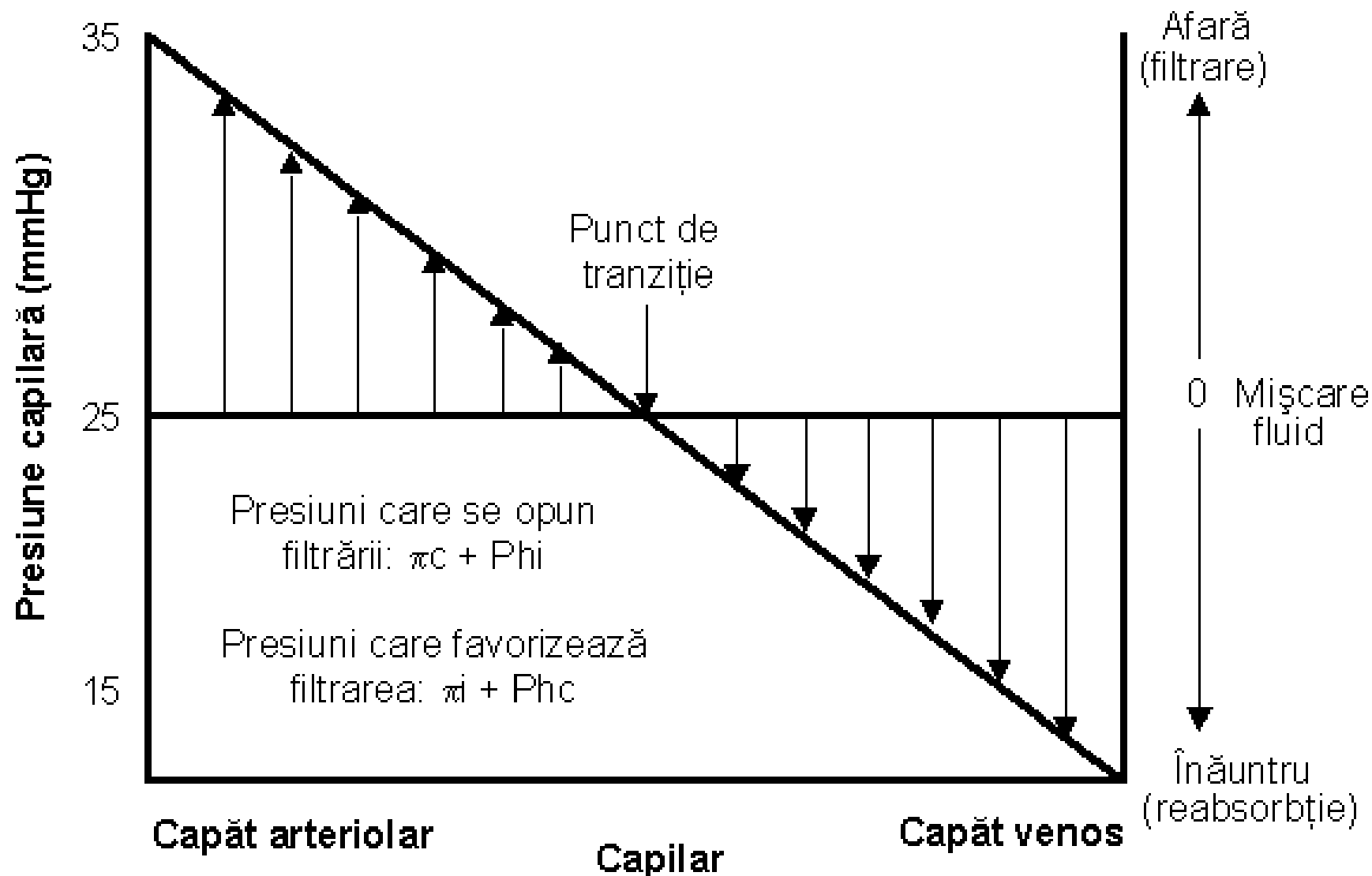
3) **Pinocitoza** = transport prin vezicule al moleculelor hidrosolubile de dimensiuni mari (ex. lipoproteine).

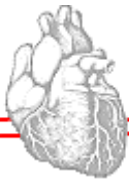
- mecanism: endocitoză urmată de exocitoză la polul opus;
- importanța: în mușchi $>$ în plămân $>$ în creier.





Echilibrul Starling





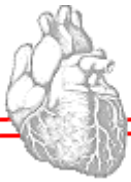
Echilibrul filtrare-reabsorbție

Filtrare ↑↑ (edem)

- ♥ Vasodilatație
- ♥ HTA
- ♥ ↑ presiunii venoase
- ♥ ↑ filtrării de plasmă (exudat)
- ♥ ↓ proteine plasmatice

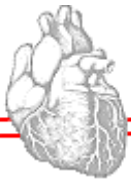
Reabsorbție ↑ (autotransfuzie)

- ♥ Vasoconstricție
- ♥ hTA
- ♥ ↓ presiunii venoase
- ♥ deshidratare
- ♥ hemoragie

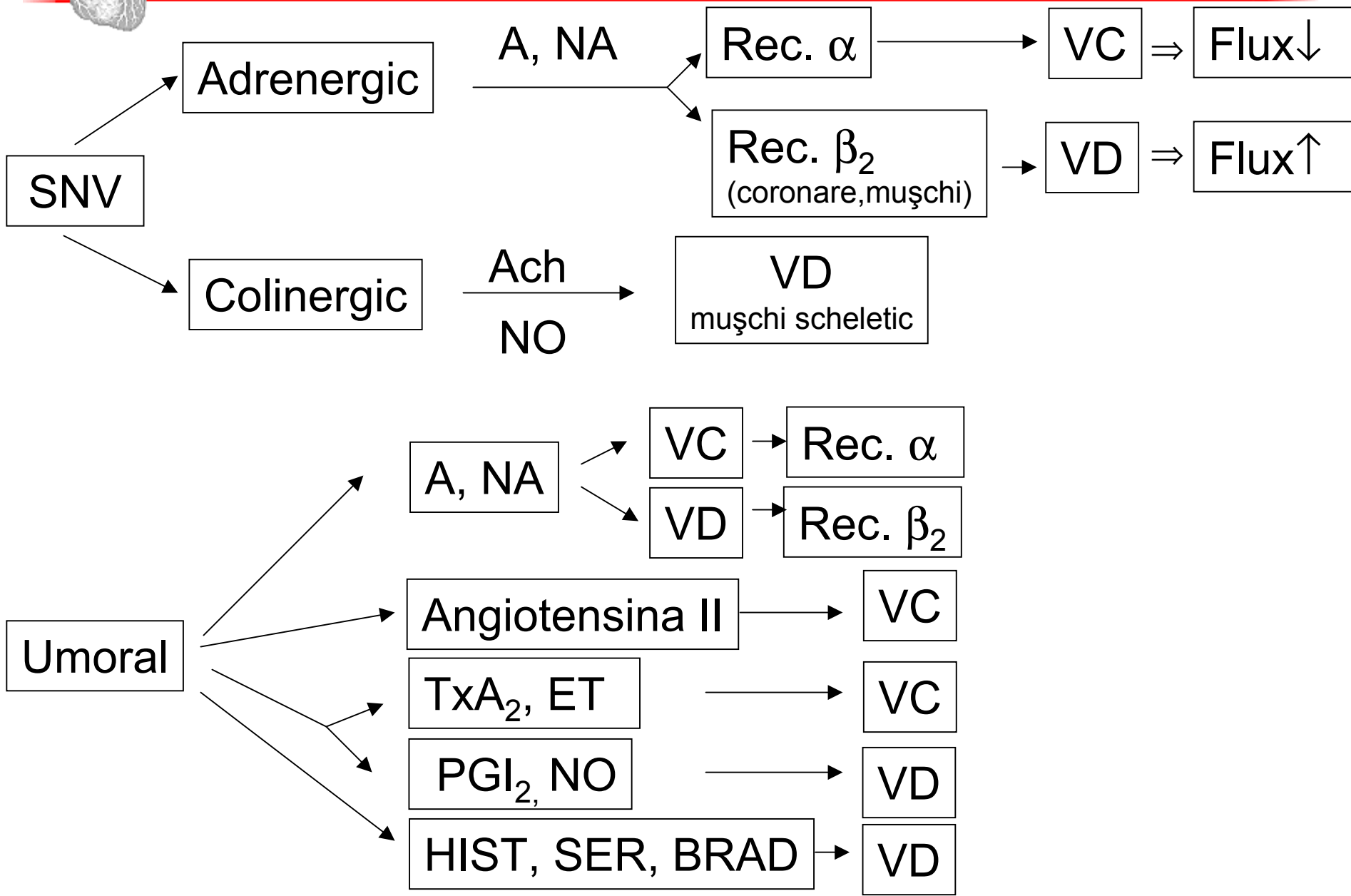


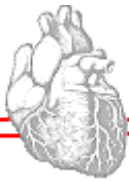
3. Reglarea circulației capilare

- Capilarele nu au musculatură netedă => reglarea este dependentă de tonusul arteriolelor și al sfincțerelor precapilare.
- Capilarele prezintă vasomoție dată de :
 - starea contractilă a arteriolelor, metaarteriolelor și sfincțerelor precapilare;
 - presiunea transmurală = $P_{\text{intravasculară}} - P_{\text{extravasculară}}$;
 - factori neuromorali.
- Reglarea se realizează prin mecanisme:
 - nervoase,
 - umorale,
 - locale.

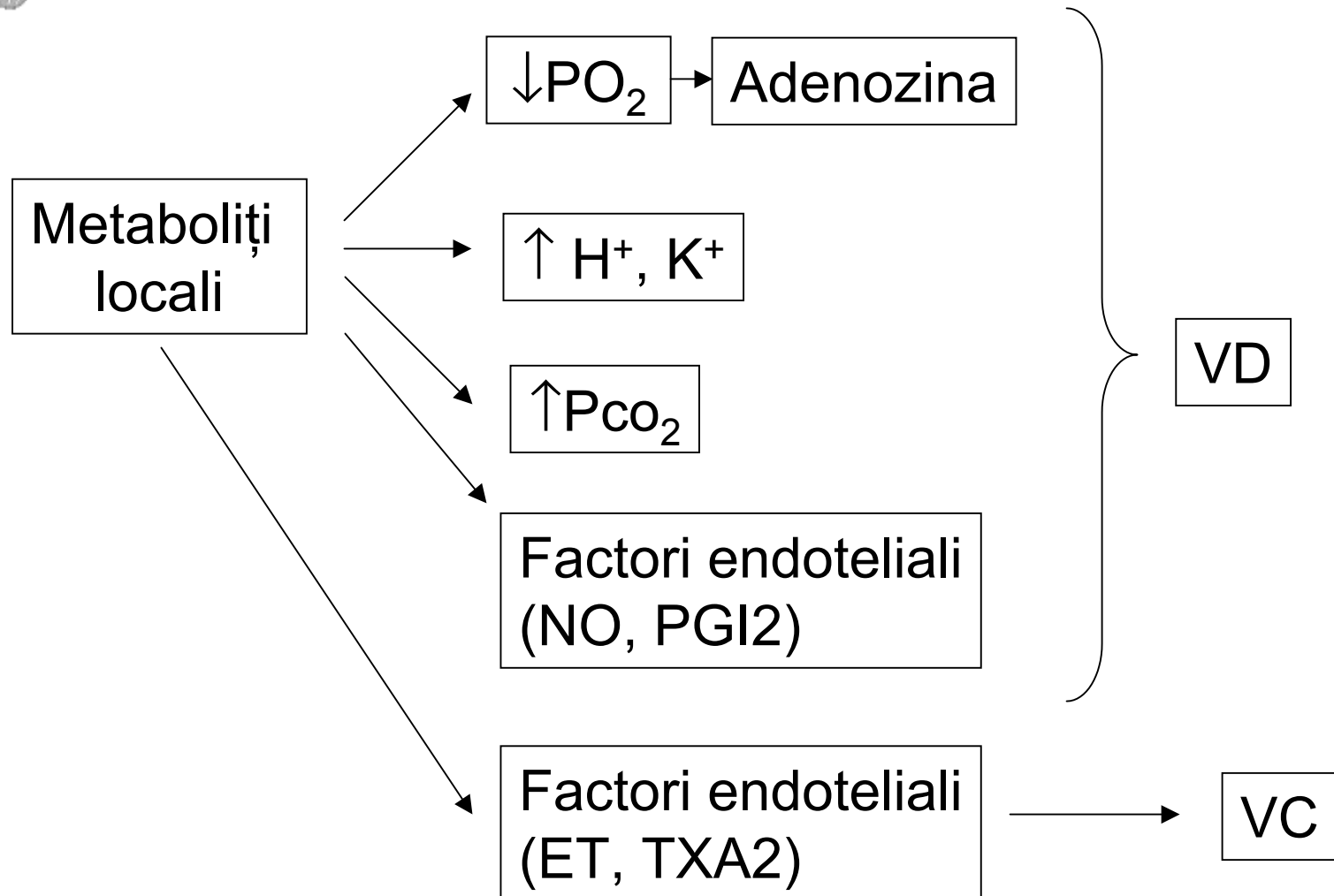


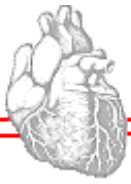
A) Reglarea nervoasă și umorală





B) Reglarea metabolică locală





4. Factorii întoarcerii venoase

1) Diferența de $P_{\text{hidrostatică}}$:

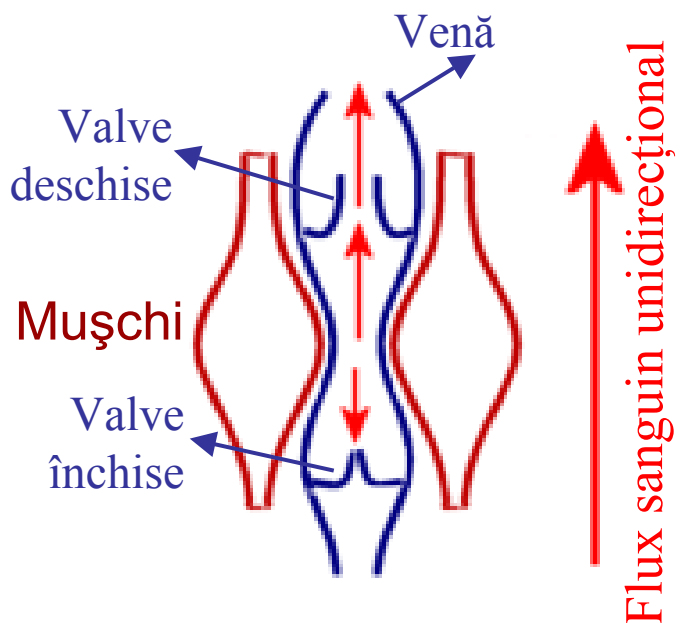
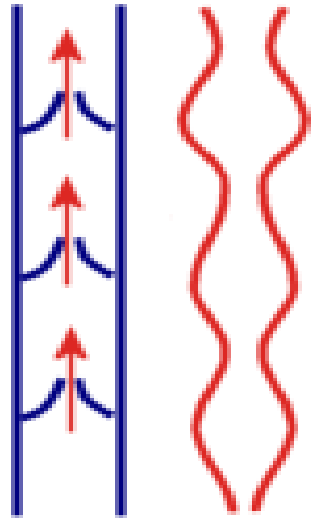
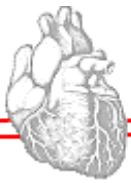
- P_h membre inf. = 12 mmHg $\rightarrow$ P_h AD = 0-2 mmHg, -gradient suficient în clinostatism (fără influența gravitației).

2) Sistola VS: împinge coloana de sânge în artere $\rightarrow$ capilare $\rightarrow$ vene (“vis a tergo”).

3) Mișcările respiratorii:

- **inspirul** $\uparrow$ presiunea “–” din cutia toracică $\Rightarrow$ sângele este “aspirat” în sus din vene (“vis a fronte”);
- **expir** forțat cu glota închisă (manevra Valsalva) $\Rightarrow \downarrow$ întoarcerea venoasă.

4) Diafragmul: coboară în inspir $\Rightarrow$ presează venele abdominale $\Rightarrow \uparrow$ întoarcerea venoasă

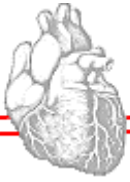


5) Sistemul de valvule “în cuib de rândunică”

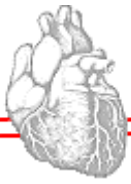
- segmentează coloana de sânge;
- asigură sens unidirecțional (împreună cu pompa musculară).

6) Pompa musculară: contracțiile musculaturii învecinate, intermitente => $\uparrow$ presiunea venoasă => $\uparrow$ întoarcerea venoasă,

- foarte importantă la persoanele sănătoase și persoanele cu insuficiențe valvulare.

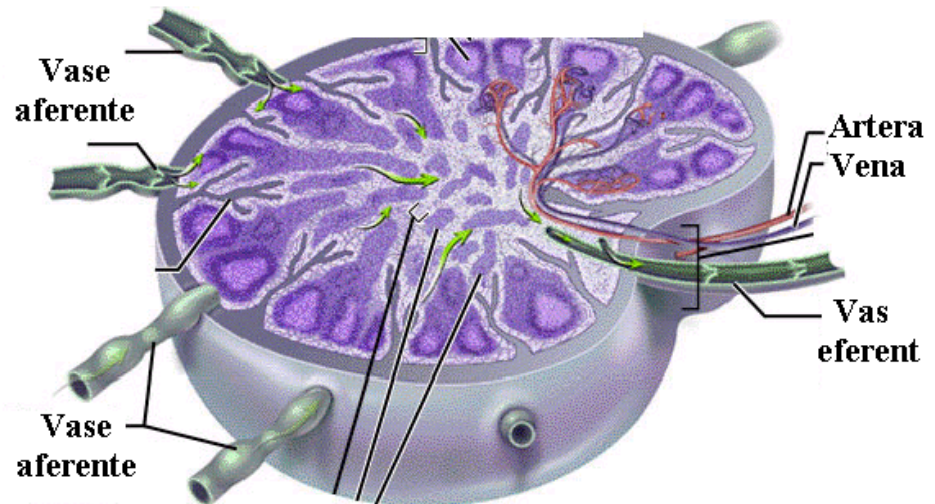
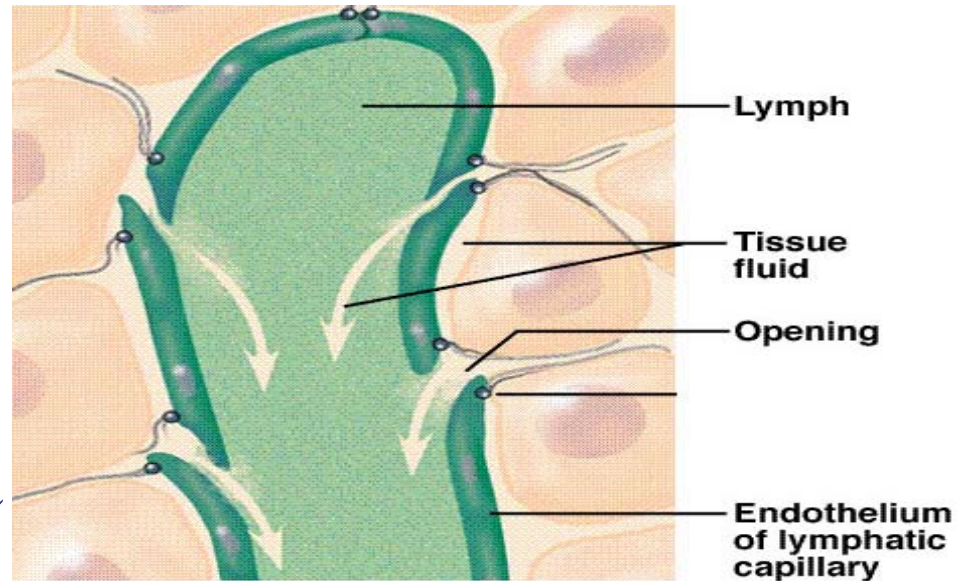


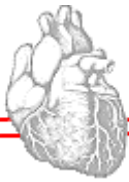
- 7) **Funcția VD:** aspirație în sistolă (efect direct) și diastolă (umplerea rapidă postsistolică),
 - **insuficiență cardiacă dreaptă** $\Rightarrow$ stază venoasă declivă (ficat, membre inferioare).
- 8) **Pulsațiile** arterelor învecinate.
- 9) **Forța gravitațională:**
 - + deasupra 0 hidrostatic,
 - - sub 0 hidrostatic.
- 10) **Tonusul venos:**
 - $\uparrow$ (SNVS) $\Rightarrow \uparrow$ întoarcerea venoasă,
 - $\downarrow$ ($t^\circ \uparrow$) $\Rightarrow \downarrow$ întoarcerea venoasă.



5. Circulația limfatică

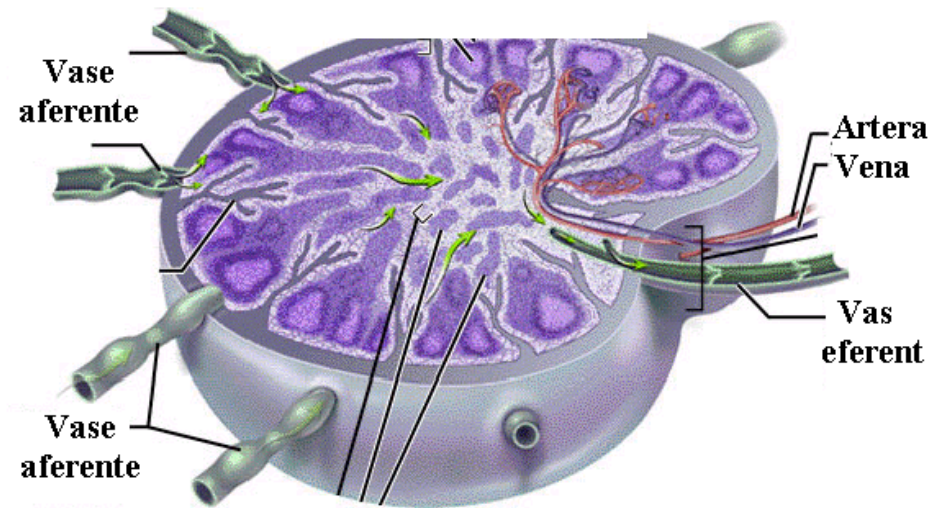
- Este circulație de tip secundar, care ajunge în final în vene.
- Componente:
 - capilare limfatice - în țesuturi, funcționează ca niște “mini valve” => permit trecerea unidirecțională pentru apă și particule;
 - vase limfatice → vase mari (cu valve) → în vene;
 - ganglioni limfatici.

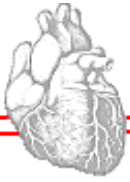




■ Ganglionii limfatici:

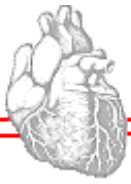
- structuri speciale, spre care converg mai multe limfatice și de la care pleacă mai multe limfatice.
- Rol:
 - filtrează limfa (o „curăță” de impurități, bacterii);
 - produc și depozitează limfocite + anticorpi $\Rightarrow$ crește imunitatea.



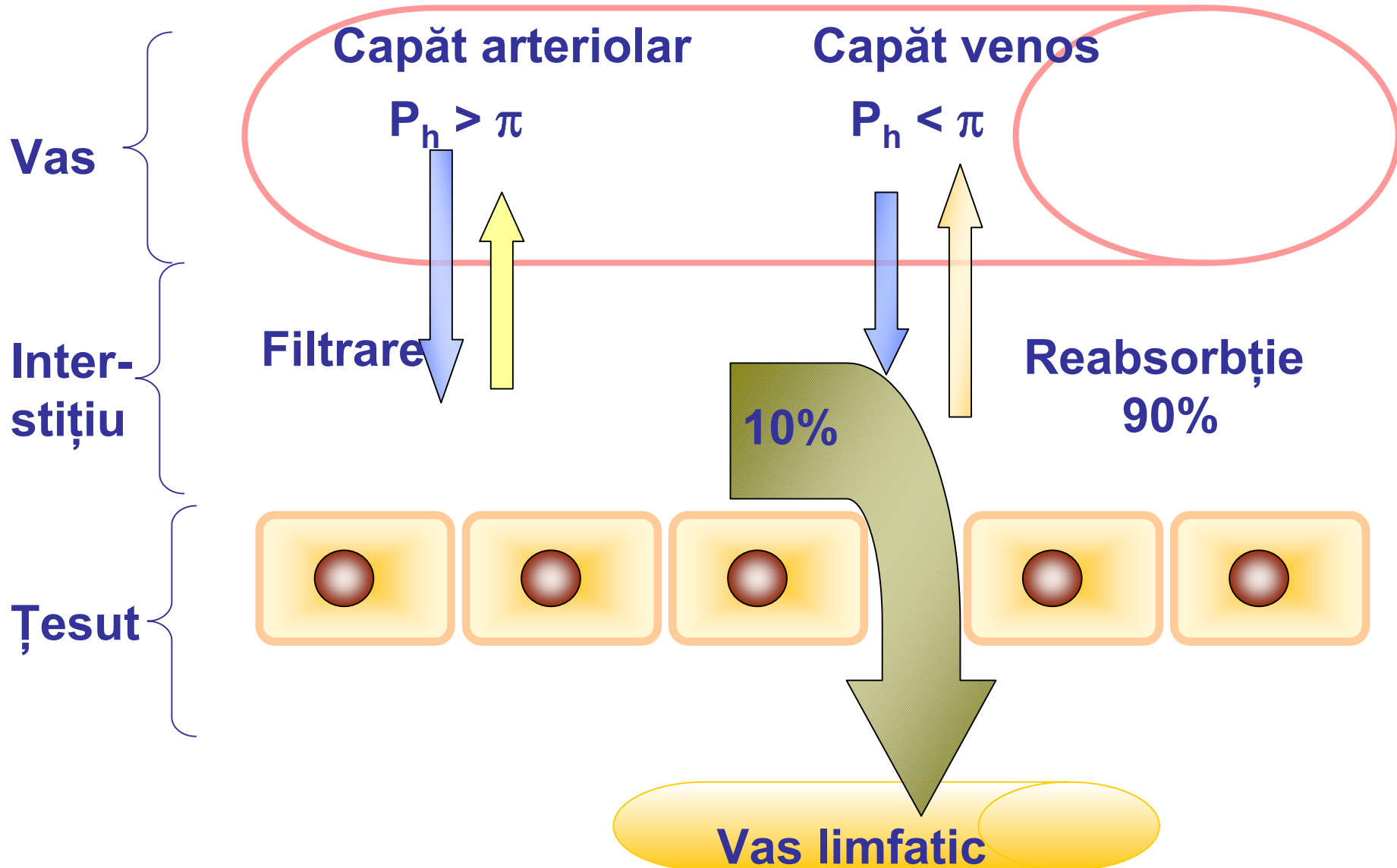


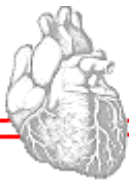
■ Circulația limfatică - roluri :

- drenează apa și cataboliții care nu au fost preluați de circulația venoasă (10%);
- colectează proteinele remanente la nivel tisular, pe care le readuce în circulația sistemică;
- prin nodulii limfatici potențează statusul imun;
- asigură absorbția lipidelor (chilomicroni) la nivelul vilozităților intestinale;
- overflow mechanism“ cu rolul de a readuce excesul de lichid din spațiul interstițial în circulație (menține „uscat” interstițiul).

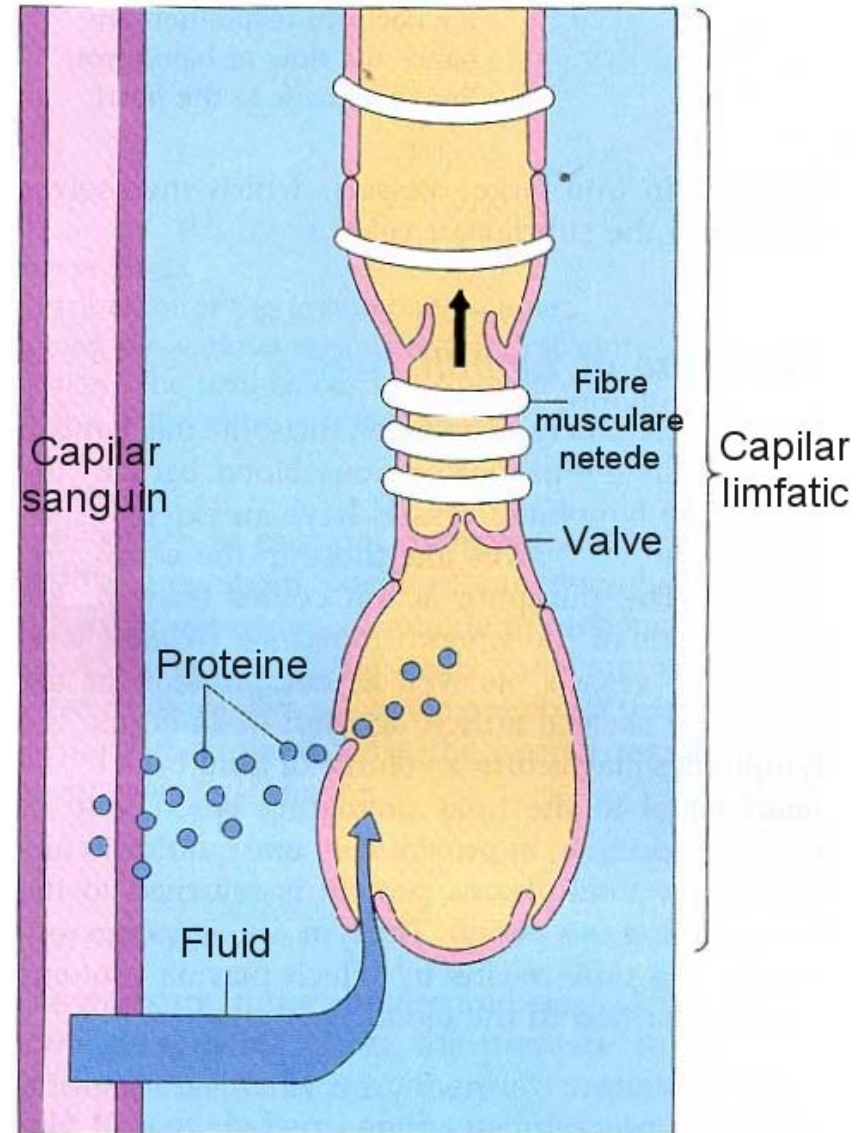


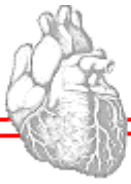
Mecanismele formării limfei





- Parametrii circulației limfatice:
 - flux redus,
 - presiune scăzută.
- Compoziție:
 - mai săracă în proteine decât sângele,
 - conține factori ai coagulării => coagulează.
- Variații:
 - se amplifică în condițiile creșterii filtrării sau scăderii reabsorbției.





Edemul limfatic



Elefantiasis (Filarioza)
- produs prin blocarea
vaselor limfatice de
către un parazit
(Filaria) care
colonizează vasele și
ganglionii limfatici.