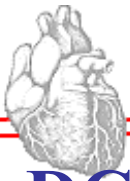


Sistemul Cardiovascular

Cursul 7

Debitul Cardiac Circulația Coronariană



1. Debitul Cardiac (DC)

- **DC**: cantitatea de sânge ejectată de inimă per minut $\Rightarrow$ cantitatea de sânge pompat per minut în circulația sistemică sau cea pulmonară ($DC_{stg} = DC_{dr}$).

- Calcul: **$DC = VS \times FC$**

- $VS = 70 \text{ ml}$
 - $FC = 70 \text{ BPM}$

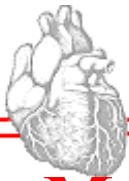
$\Rightarrow$ - în repaus: **$DC = 5-6 \text{ l/min}$** ,
- în efort: **$DC = 25-35 \text{ l/min}$** ,
pe seama $\uparrow FC$ și a VS .

- **Indexul Cardiac (IC)**

- **$IC = \frac{DC}{SC \text{ (m}^2\text{)}}$** $\Rightarrow IC = 3 \pm 0,5 \text{ l/min/m}^2 \text{ SC}$

- **Fracția de ejeție (FE)**

- **$FE = \frac{VS}{VEDV} = \frac{(VEDV - VESV)}{VEDV}$** $\Rightarrow FE > 55\%$



Metode de determinare a DC

■ **Metoda Fick** - pe baza legii conservării masei

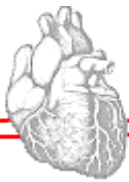
■ Metoda Fick directă: pe baza VO_2 .

$$\text{DC} = \frac{\text{VO}_2}{[\text{O}_2]_a - [\text{O}_2]_v}$$

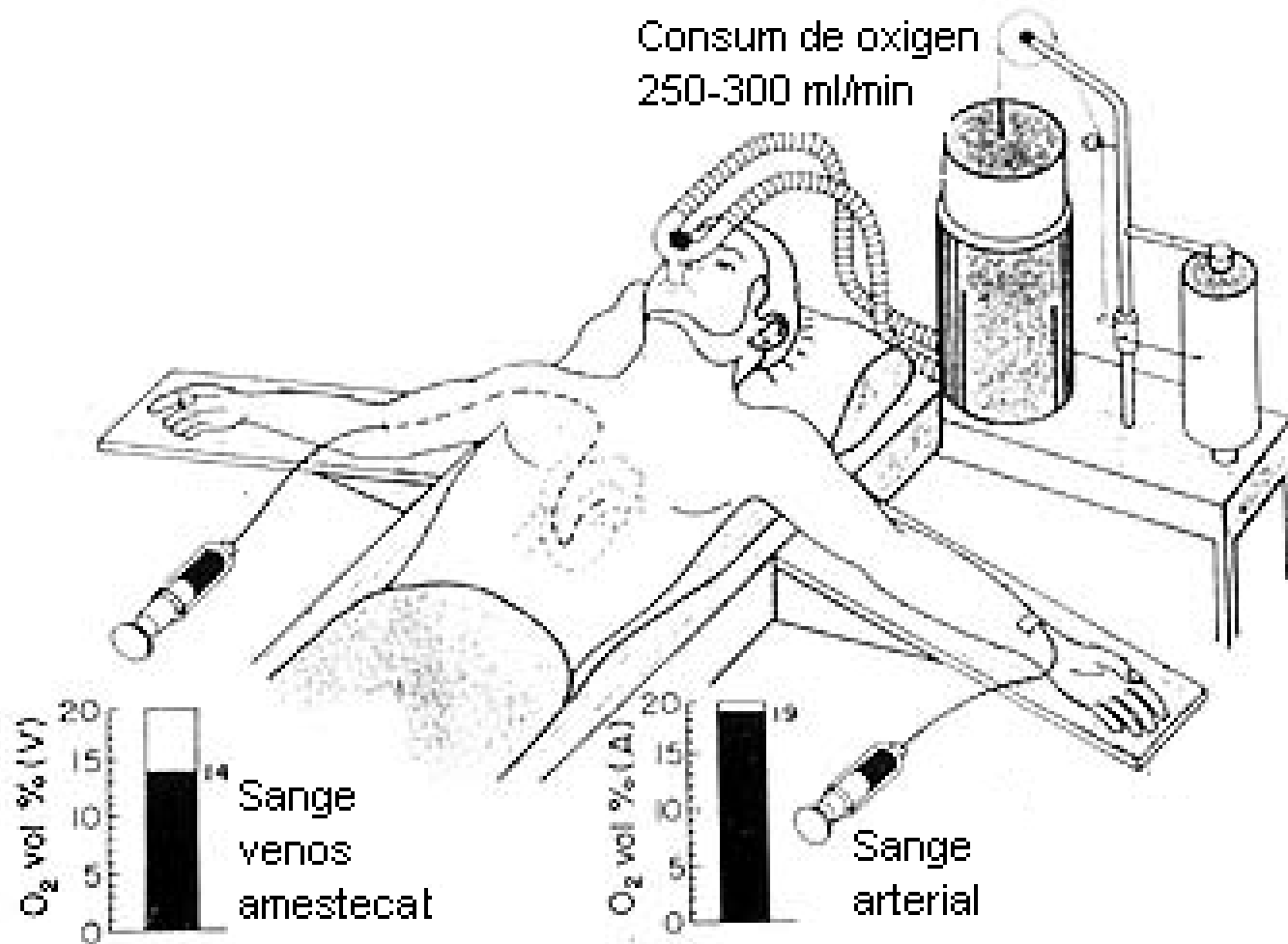
- $\text{VO}_2 \rightarrow \text{O}_2$ din aerul expirat (250-300 ml/min);
- $[\text{O}_2]_a \rightarrow [\text{O}_2]$ din artera periferică (0,20 ml O_2 /ml sânge);
- $[\text{O}_2]_v \rightarrow [\text{O}_2]$ din AD (cateterism) (0,15 ml O_2 /ml sânge).

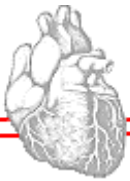
$$\text{DC} = \frac{250 \text{ ml/min}}{0,20 - 0,15} = 5000 \text{ ml/min}$$

■ Metoda Fick indirectă: pe baza VCO_2 .



Metoda Fick directă: pe baza VO_2





■ **Metoda diluției** - pe baza principiului lui Stewart

$$DC = \frac{Q \times 60}{q \times t}$$

- Q - cantitatea de subst. injectată (mg)
- q - conc. medie de subst. (mg/l)
- t - timpul de expulzare a subst. (sec)

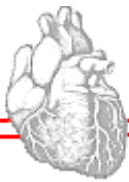
■ Substanțe utilizate:

- ✓ Coloranți: - roșu Congo
- albastru Evans
- ✓ Izotopi radioactivi: I^{131} , Cr^{51}

■ **Metoda ecocardiografică** - metodă neinvazivă:

- US (cu frecvența ↑) → structuri cardiace → sunt reflectate f_(densitatea mediilor) → impulsuri electrice → captate.

■ **Cardiografia de impedanță** - metodă neinvazivă.



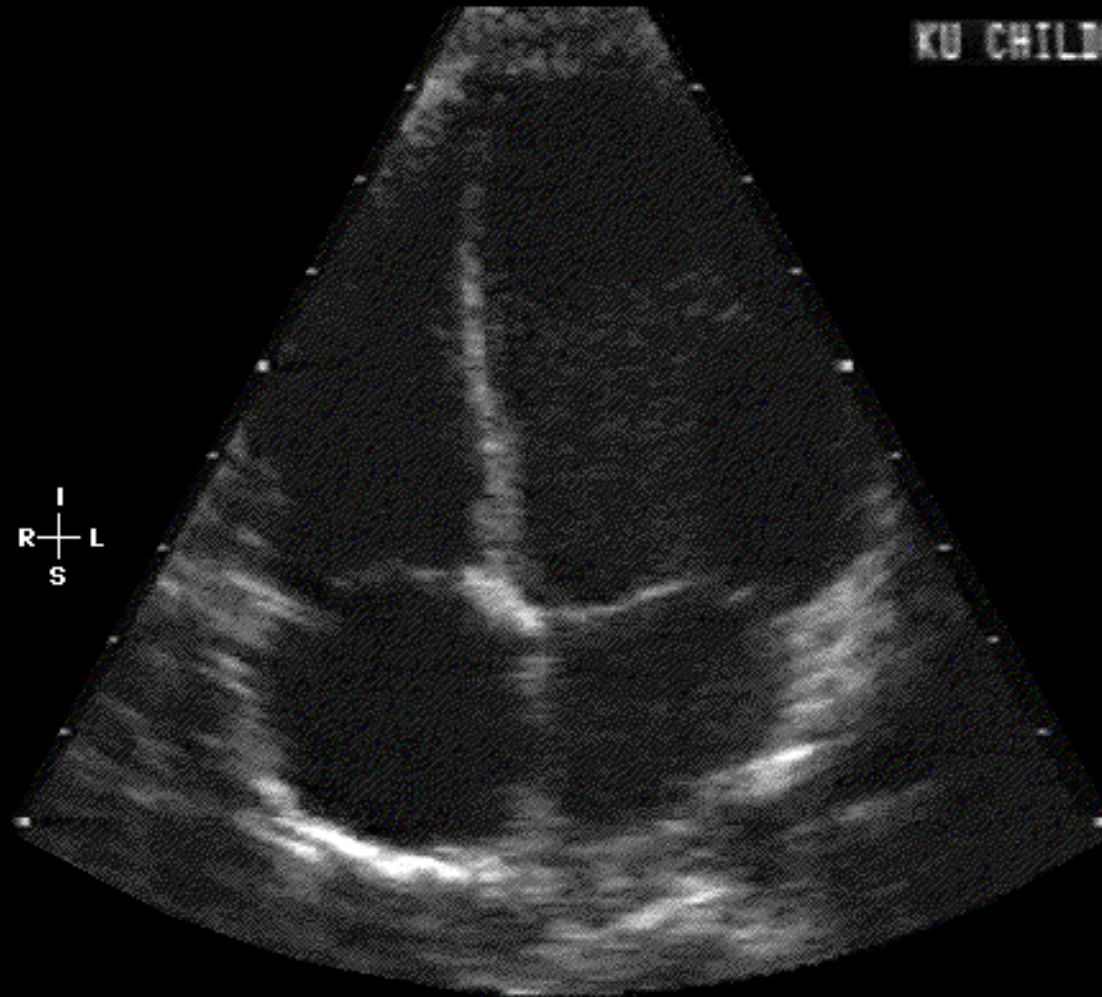
Metoda ecocardiografică

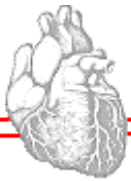
Normal Anatomy, Apical 4 Chamber

KU CHILDREN'S CTR

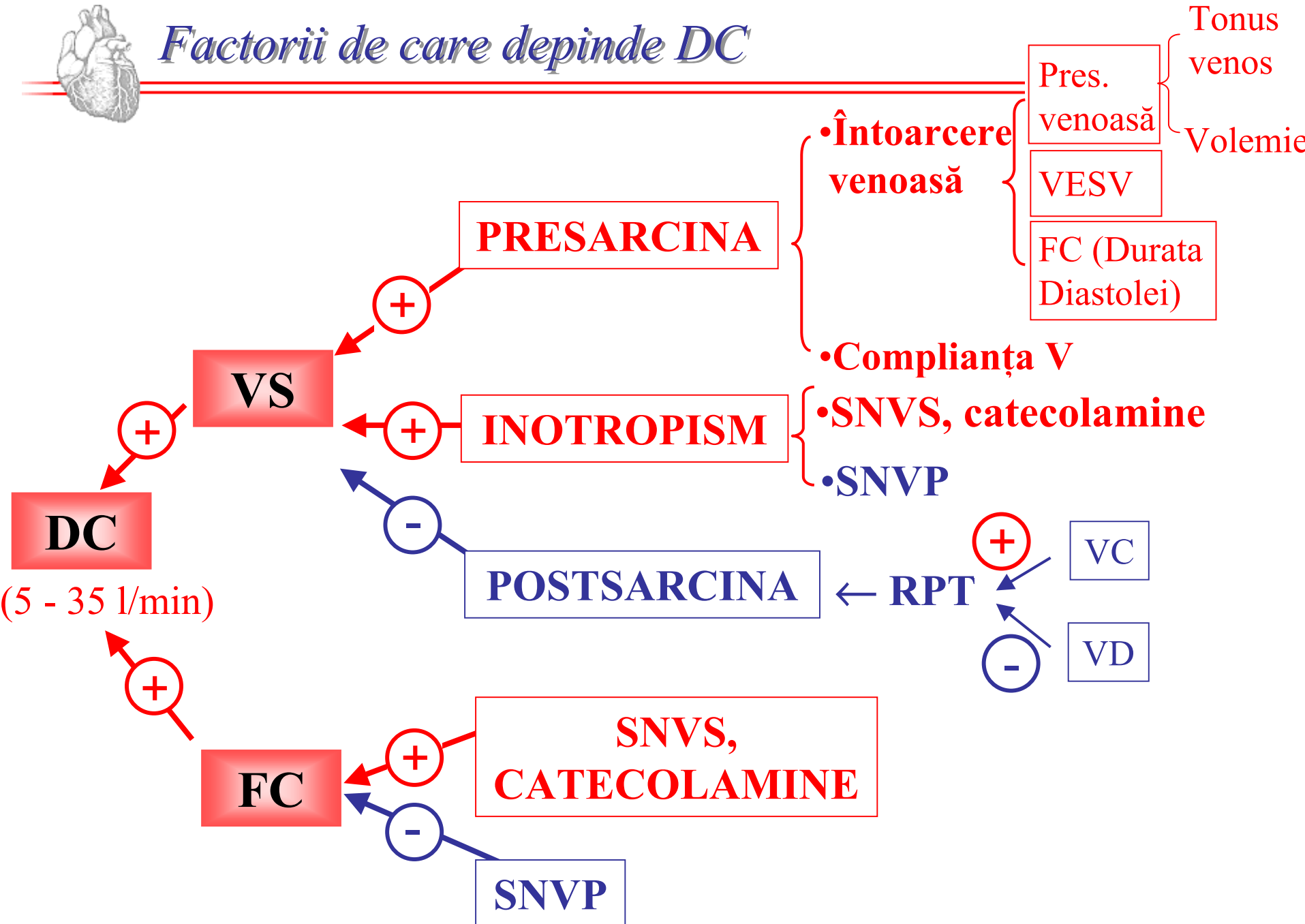
VINGMED

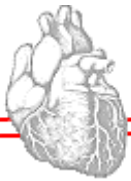
I
R—L
S





Factorii de care depinde DC





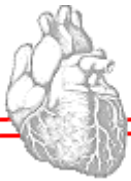
Variațiile fiziologice ale DC

- **DC** variază în funcție de modificările celor doi parametri care determină DC (FC și VS):

	Efort	Stres	După Stres	↑Intoarce-re venoasă	↓Volemia	↓TA	↑TA
FC	↑	↑	↓	↑	↑SNVS reflex	↑SNVS reflex	↓SNVP reflex
VS	↑	↑	↓	↑ (↑pre-sarcina)	↓ (↓pre-sarcina)	↓ (↓pre-sarcina)	↓ (↑post-sarcina)
DC	↑	↑	↓	↑	N	N	↓



25-35 l/min
(↑5-7x)



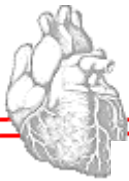
Variațiile patologice ale DC

■ **↑DC:**

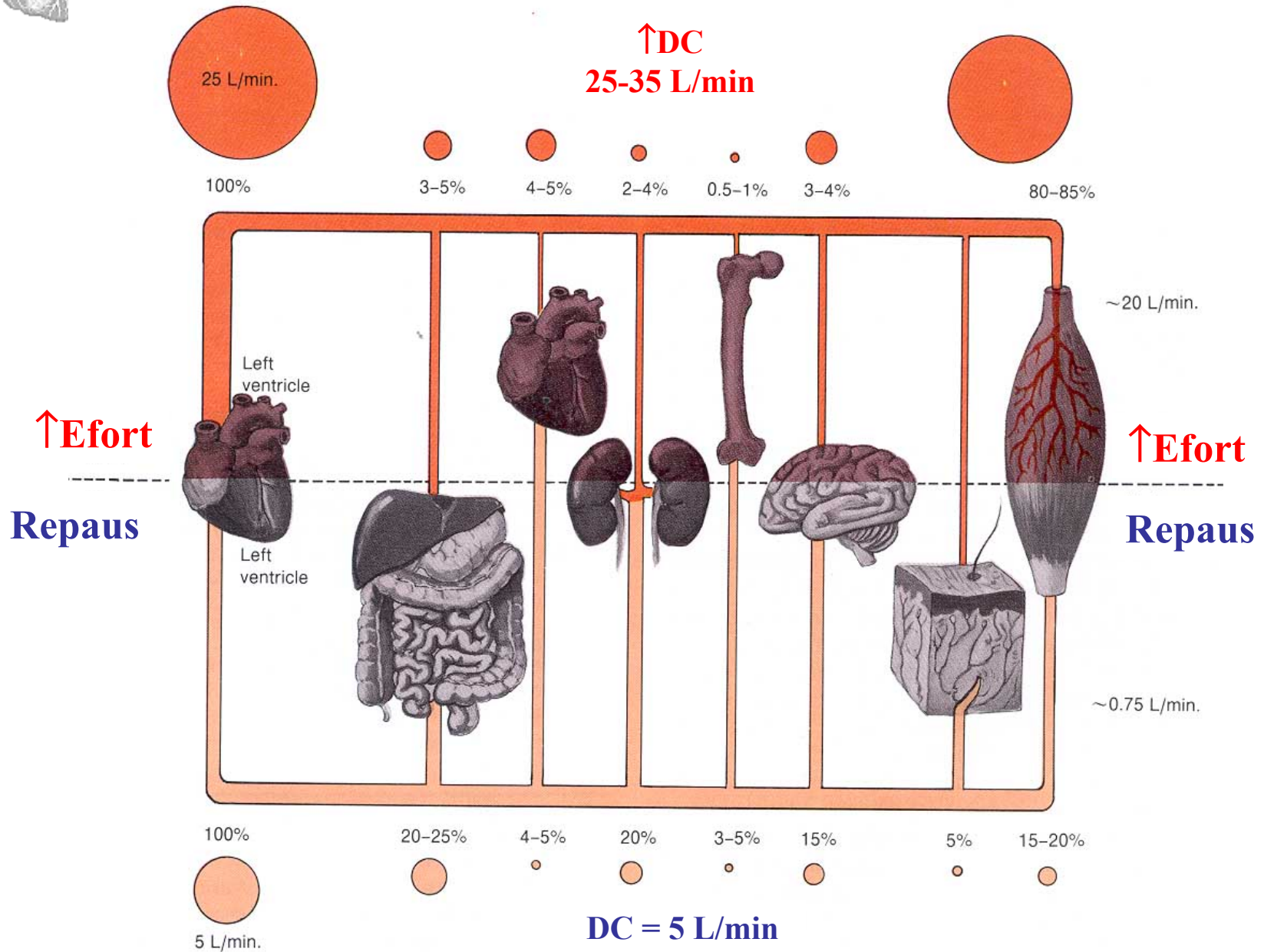
- afecțiuni cu RPT redusă;
- febra ($\uparrow$ VO_2);
- hipertiroidism ($\uparrow$ VO_2);
- anemie ($\downarrow$ Hb).

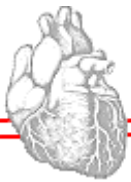
■ **↓DC:**

- afecțiuni cardiace: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{insuficiența cardiacă } (\downarrow \text{contractilit.}); \\ - \text{tahiaritmii } (\downarrow \text{Diastola} \Rightarrow \downarrow \text{VEDV}); \end{array} \right.$
- hemoragii ($\downarrow$ Volemia).



Distribuția debitului cardiac





2. Circulația coronariană

1. Două artere coronare, din Ao:

- art. coron. Dr → VD + VS Post;
- art. coron. Stg → VS Ant + Lat.

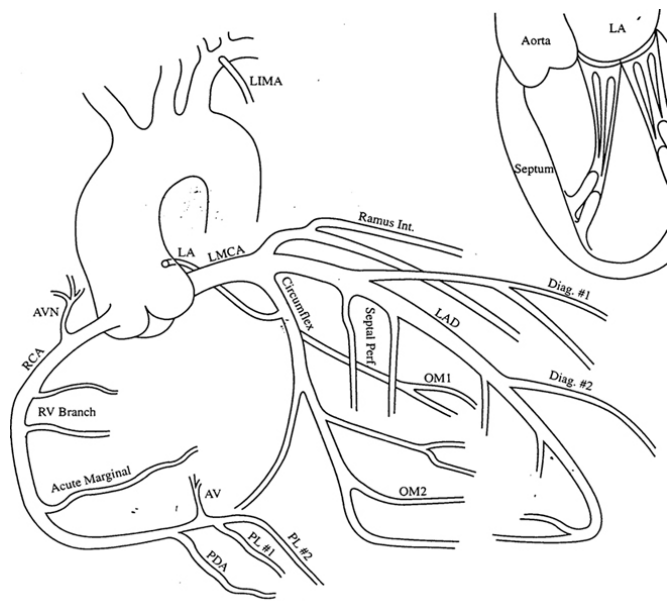
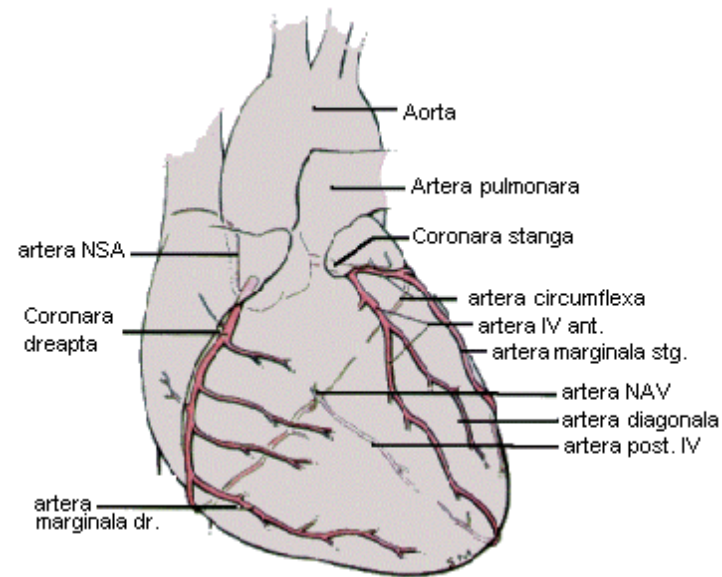
2. Dispoziție: din zona subepicardică (artere mari cu $\uparrow \alpha$ -Rec) → spre zona subendocardică (artere mici și arteriole cu $\uparrow \beta_2$ -Rec).

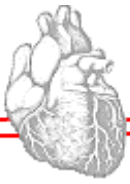
3. Vene principale:

- sinus coronar (75% sânge) + vena cardiacă ant. (20% sânge) → AD
- vene thebesiene → cavitățile inimii

4. Tipuri de circulație:

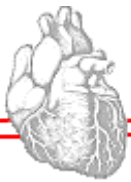
- terminală;
- colaterală.





5. Extracția bazală O_2 : Maximă (75%) $\Rightarrow$ Dacă $\uparrow$ Necesarul $O_2 \Rightarrow \uparrow$ Fluxul_{coronarian} $\Rightarrow$ VD.
6. Funcționare: Aerob $\Rightarrow$ Ocluzia coronariană > 2 min $\Rightarrow$ Necroza.
7. Perfuzia Diastolă $>$ Perfuzia Sistolă.
8. Factorii de care depinde consumul de O_2 miocardic (MVO_2):
 - Majori:
 - ✓ Inotropismul;
 - ✓ FC;
 - ✓ Tensiunea intraparietală (wall stress).
 - Minori:
 - ✓ Metabolismul miocardic;
 - ✓ Hormoni.

Factori Inotrop $+$ $\Rightarrow \uparrow MVO_2$ { SNS, Catecolamine,
 β -Ag, Tonicardiac, Ca^{2+} , Teofilina
Factori Inotrop $- \Rightarrow \downarrow MVO_2$ { PSNS, β -Blocante,
CCB, Acidoza, Hipoxia



3. Parametrii hemodinamici coronarieni

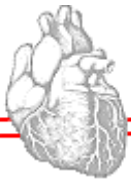
Fluxul coronarian: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Repaus: } 250 \text{ ml/min (5\% DC)} \\ - \text{Efort: } 1 \text{ l/min} \end{array} \right.$

$$\blacksquare \text{ Flux}_{\text{coronarian}} = \frac{\Delta P}{\text{Rezistența}} = \frac{(P_{A_0} - P_{AD})}{\text{Rezist. coronariană}}$$

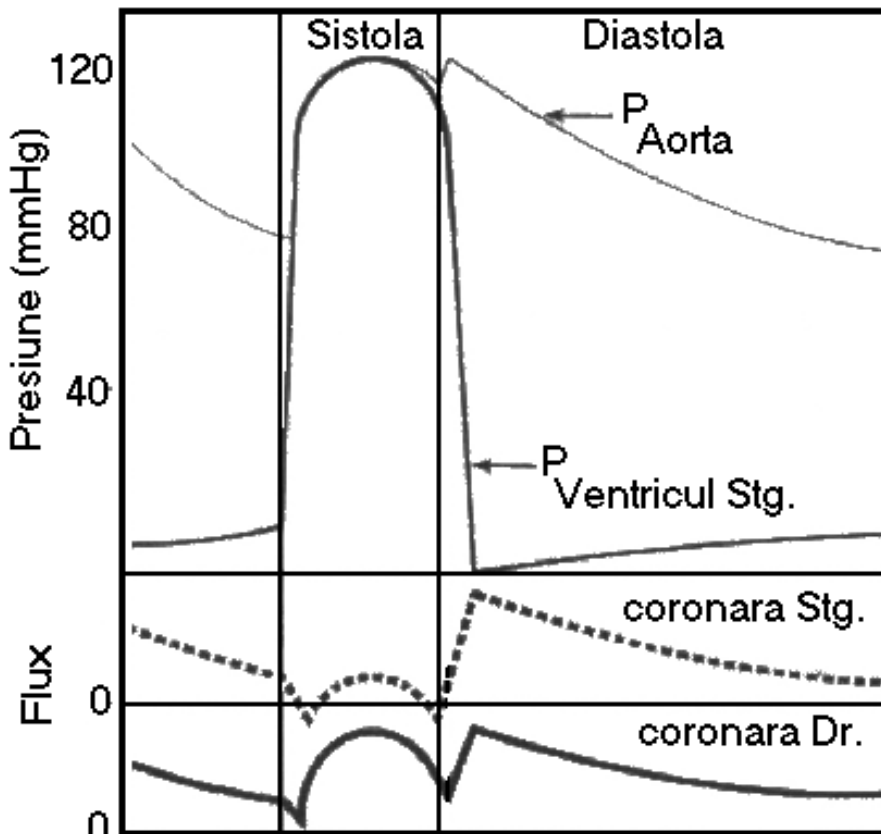
■ $\uparrow$ Flux: prin $\downarrow$ Rezistenței $\Rightarrow$ **VD**

Rezistența:

- **Rezistența intravasculară**
 - dependentă de VC/VD arteriolară;
 - controlată prin autoreglare.
- **Rezistența extravasculară**
 - dependentă de fazele RC:
 - $\uparrow$ **în Sistolă** $\Rightarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ Flux coronarian (în special în VS subendocardic);
 - $\downarrow$ **în Diastolă** $\Rightarrow \uparrow$ Flux coronarian $\Rightarrow$ importanța diastolei pentru perfuzia VS.



Fluxul sanguin coronarian



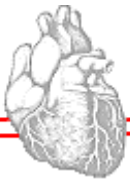
■ *în coronara dreaptă:*

✓ prezent atât în timpul SV cât și în timpul DV;

■ *în coronara stângă:*

✓ foarte redus în timpul SV, în special în zona subendocardică, datorită compresiunii extrinseci;

✓ crescut în timpul DV, cu un maxim la sfârșitul RIV, când compresiunea extravasculară este minimă iar presiunea P_{A_0} se menține ridicată.



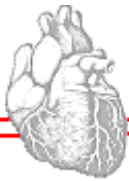
$\Rightarrow$ Dacă $\uparrow$ FC (Tahiaritmii) $\Rightarrow$ $\downarrow$ Diastola $\Rightarrow$ $\downarrow$ Flux coronarian
 $\Rightarrow$ $\downarrow$ Oferta O_2

- condițiile de $\downarrow$ Oferta O_2 :
 - $\uparrow$ FC (Tahiaritmii),
 - $\uparrow$ PEDV (IC),
 - $\downarrow$ TA (șoc),
 - obstrucția coronariană.

2) Presiunea: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Sistolică} = 80 \text{ mmHg} \\ - \text{Diastolică} = 20 \text{ mmHg} \end{array} \right.$

3) Consumul de O_2 miocardic:

- $MVO_2 = 25\text{-}30 \text{ ml/min}$ (10% VO_2).



4. Reglarea fluxului coronarian

$$\text{Flux}_{\text{coronarian}} = \frac{\Delta P}{\text{Rezistența}} = \frac{(P_{A_o} - P_{A_D})}{\text{Rezist. coronariană}}$$

constantă

reglabilă

■ $\uparrow \text{Flux}_{\text{coronarian}}$ se realizează prin $\downarrow \text{Rezist. coronariană} \Rightarrow \text{VD}$

■ Reglarea asigură: Echilibrul $\boxed{\text{CERERE O}_2} - \boxed{\text{OFERTĂ O}_2}$

■ Mecanismele reglării fluxului coronarian:

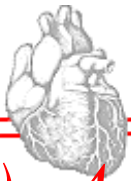
1) Autoreglarea (cel mai important)

a) *metabolică*;

b) *miogenică*.

2) Reglarea nervoasă.

3) Reglarea umorală.



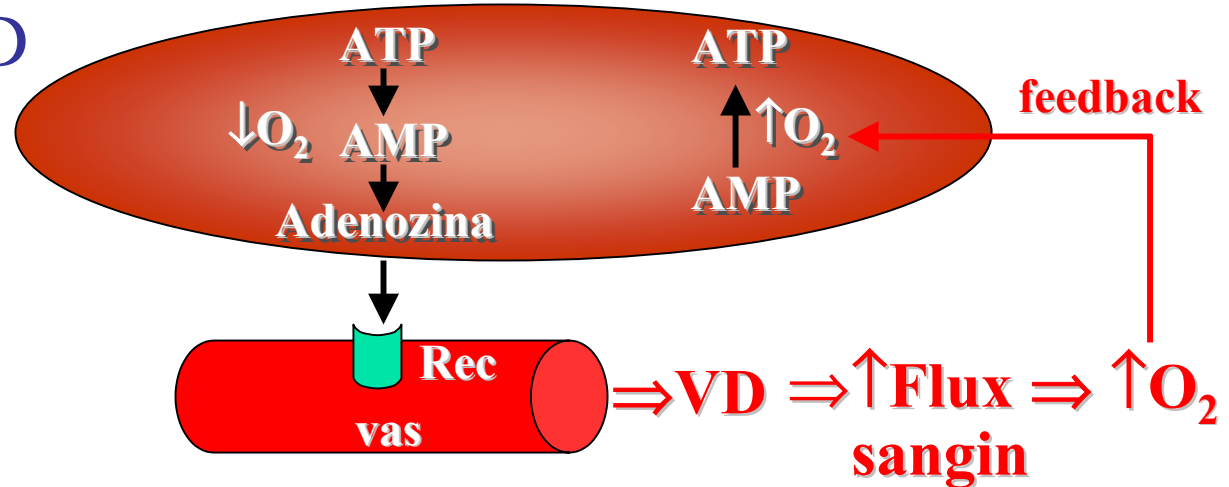
1) Autoreglarea - mecanism local de reglare

a) Autoreglare metabolică:

- $\uparrow$ necesar O_2
 - $\downarrow$ oferta O_2
- $\Rightarrow$ Dezechilibru cerere/ofertă $\Rightarrow \uparrow$ cataboliți $\Rightarrow$ **VD**
- factori catabolici cu rol în autoreglare:

✓ $\downarrow PO_2 \Rightarrow$ VD

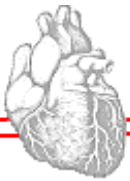
✓ $\uparrow$ Adenozina:



✓ $\uparrow PCO_2, \uparrow H^+, \uparrow K^+ \Rightarrow$ VD

✓ Factorii endoteliali VD/VC aflați în echilibru:

- PGI_2 / TXA_2 - derivați din acidul arahidonic (AA);
- NO (EDRF)/ET.



b) Mecanism miogen: - $\uparrow$ presiunea sanguină $\Rightarrow$ VC;
- $\downarrow$ presiunea sanguină $\Rightarrow$ VD.

2) Reglarea nervoasă

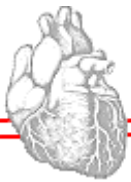
■ SNVS:

- Efect direct: - pe coronare mari ($\uparrow \alpha$ -Rec) $\Rightarrow$ VC;
- pe coronare mici ($\uparrow \beta_2$ -Rec) $\Rightarrow$ VD.
- Efect indirect: - pe inimă (β_1 -Rec) $\Rightarrow \uparrow$ MVO₂ $\Rightarrow$ VD;
- blocat de β -blocante (Propranolol).

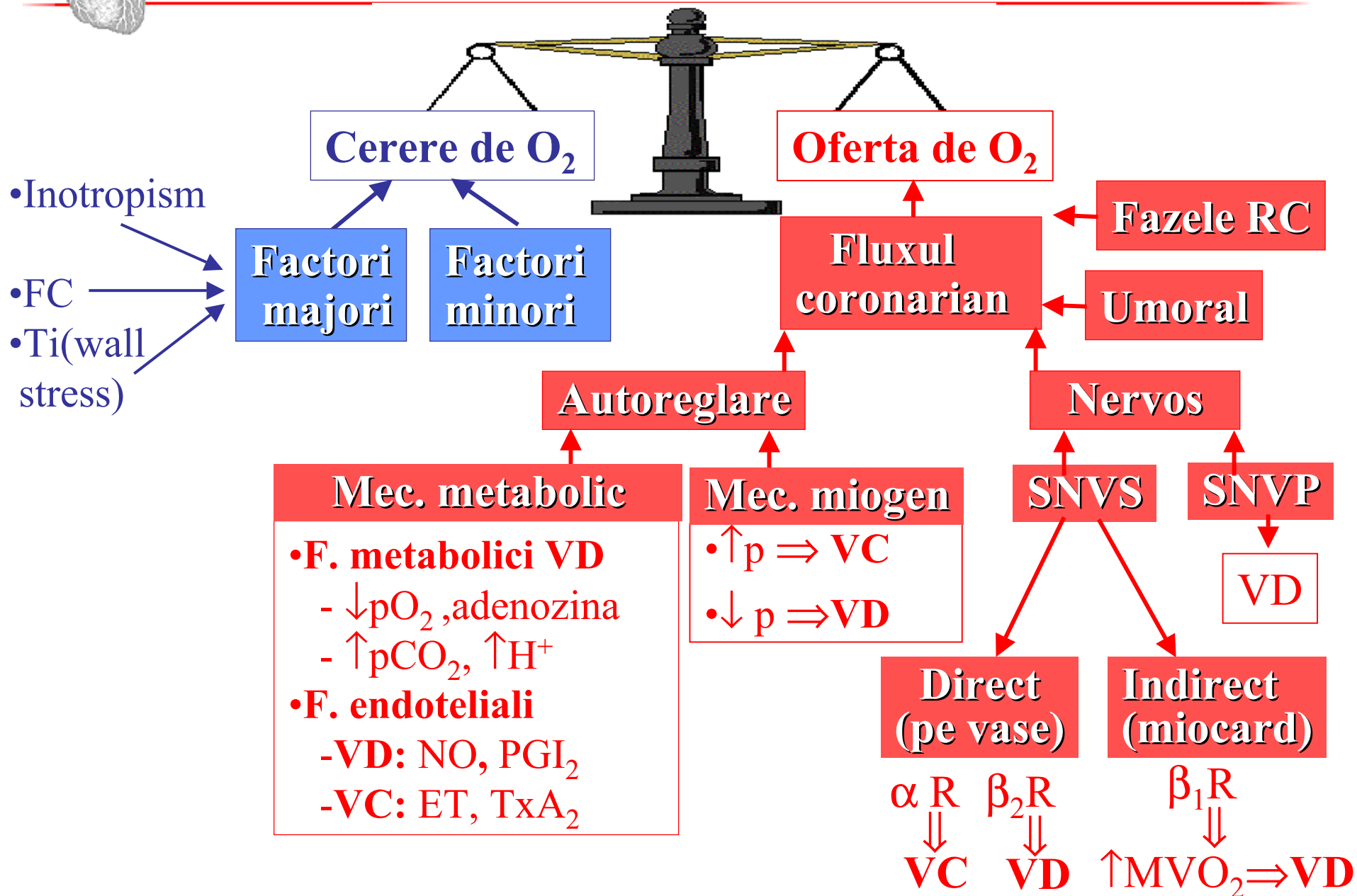
■ SNVP (vagul): VD slabă.

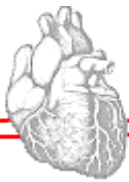
3) Reglarea umorală

- VC: Catecolamine, Angiotensina II (Ag II), ET, TXA₂.
- VD: NO, PGI₂, Serotonina, Bradikinina.



Reglarea circulației coronariene





Corelația între controlul nervos și umoral

Control nervos

SNVS

α receptori

β receptori

SNVP
(Vagul)

Mecanism
miogen

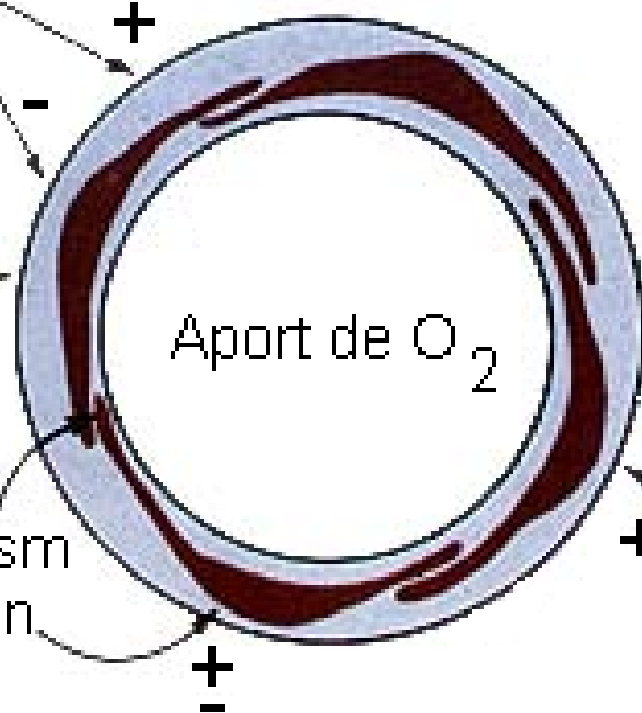
$\uparrow$ Inotropism

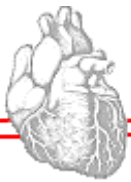
$\uparrow$ Metabolism

$\downarrow$ PO_2

Adenozina
Factori metabolici

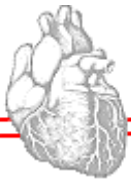
Compresia
sistolica





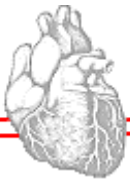
5. Lucrul mecanic cardiac (L)

- Lucrul mecanic al ventriculului stâng/bătaie:
 $L_{\text{ventricul stg}} = \text{Volumul sistolic} \times \text{Presiunea aortică medie}.$
- $L_{\text{ventricul drept}} = 1/7 L_{\text{ventricul stg}}$ ($P_{\text{circ. pulmonară}} < P_{\text{circ. sistemică}}$).
- $\uparrow L_{\text{inimii}}$ la solicitările:
 - de presiune - încărcare de presiune (HTA, stenoza Ao),
 - de volum - încărcarea de volum (insuficiența Ao, insuficiența cardiacă).
 - Obs: la același DC $\Rightarrow \uparrow\uparrow \text{MVO}_2$ în solicitări de presiune.
- Compensator, pentru reducerea tensiunii intraparietale:
 - apare hipertrofia cardiacă (concentrică sau excentrică).
 - în timp $\Rightarrow$ dezechilibrul între cererea și oferta de $\text{O}_2 \Rightarrow \downarrow \text{Compliancei ventriculare}.$



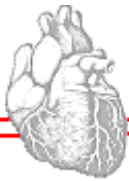
Eficiența cardiacă

- **Eficiența cardiacă** (randamentul) = raportul între **Lucrul mecanic net** și **Energia totală utilizată**.
 - O inimă de 300g, la un consum de O_2 de 9 ml/min/100g $\Rightarrow$ consum de $O_2 = 27$ ml/min $\Rightarrow$ echivalent a **130 calorii**.
 - Lucrul mecanic net al celor doi ventriculi = **18,7 calorii**.
 - **Eficiența cardiacă** rezultă din raportul procentual între cele două valori: $18,7/130 = 14\%$.
 - Eficiența inimii ca pompă este relativ mică, restul se pierde sub formă de căldură.
- Exercițiul fizic îmbunătățește eficiența cardiacă, deoarece $\uparrow DC$ și $\uparrow L_{cardiac}$, fără o creștere proporțională a MVO_2 .



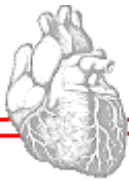
Utilizarea substratului energetic

- Sursele de energie în condiții bazale:
 - **acizii grași saturați și nesaturați** $\Rightarrow$ asigură 70% din energia necesară;
 - **compușii glucidici (glucoză, lactat, piruvat)** - asigură 30-40% din energia necesară;
 - **corpuri cetonice** = sursă de energie, mai ales în acidoze.
- Utilizarea unei largi game de substraturi = un factor de securitate energetică.



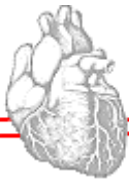
Utilizarea substratului energetic

- Inima utilizează numeroase substraturi, în funcție de:
 - **concentrația lor arterială**: inima va utiliza preferențial substratul energetic care se găsește în concentrația mai mare;
 - **raportul între diferiții compuși**, respectiv de prezența sau absența celorlalte substraturi (ex: acumularea de lactat în sânge reduce preluarea glucozei și invers);
 - **balanța endocrină**: insulina crește preluarea glucozei de către inimă, dar nu influențează preluarea lactatului;
 - **starea de nutriție**.



Utilizarea substratului energetic

- Producerea de energie cardiacă are loc în mitocondrii:
 - Acizii grași, lactatul, piruvatul și corpii cetonici sunt degradați înaintea glucozei.
 - Metabolizarea glucozei: prin **fosforilare oxidativă** $\Rightarrow$ din o moleculă de glucoză rezultând 36 molecule de ATP.
- În anaerobioză sau ischemie $\Rightarrow$ **glicoliza anaerobă**
 - $\downarrow$ producției de energie în raport cu cantitatea de glucoză oxidată și cu necesarul energetic efectiv $\Rightarrow$ dintr-o moleculă de glucoză $\Rightarrow$ 2 molecule de ATP.
 - $\uparrow$ producției de acid lactic în țesutul cardiac $\Rightarrow$ $\downarrow$ pH intracelular și implicit are loc inhibarea glicolizei, a utilizării acizilor grași și a sintezei proteice $\Rightarrow$ necroza celulei miocardice.



Utilizarea substratului energetic

- În ischemie, acumularea de acid lactic constituie una din cauzele durerii anginoase.
- În ischemia miocardică prelungită:
 - $ATP \rightarrow ADP \rightarrow AMP \rightarrow$ Adenozină.
 - datorită permeabilității membranei celulei miocardice pentru adenozină aceasta trece în interstițiu și apoi în circulație, fiind răspunzătoare de vasodilatația coronariană (vezi circulația coronară).