

# Jørgen Kanters

Lektor

Medicinsk Fysiologisk Institut

Afd. For nyre og kredsløb

Bygn. 6.6.40

Tlf. 27402

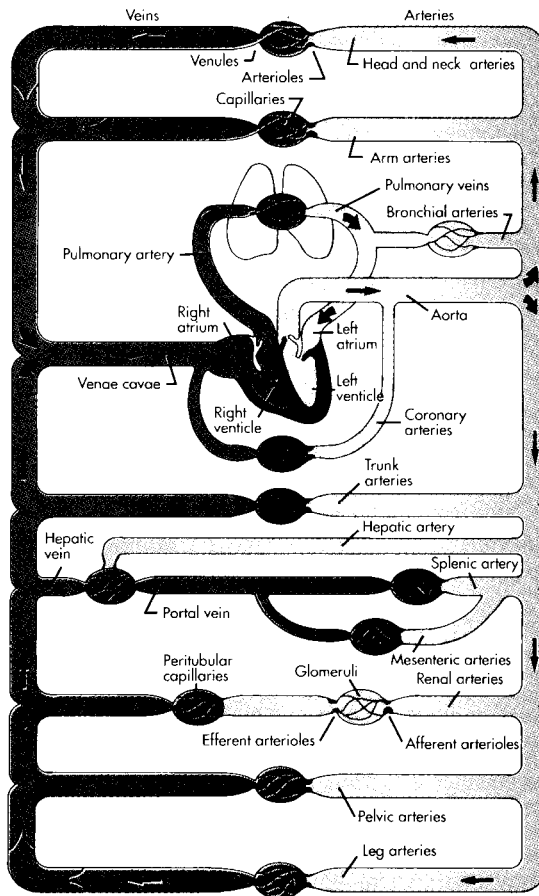
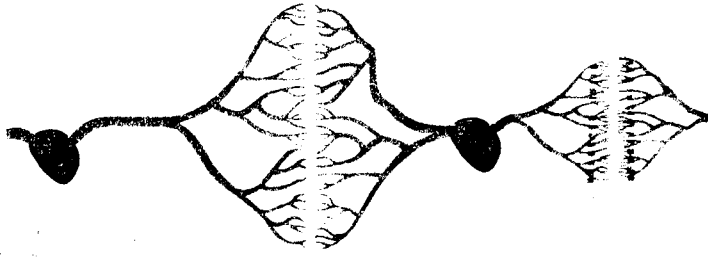
# Kredsløbsfysiologi

- Almene træk *B&L 21 + 25*
- Mikrocirkulation, iltforsyning og væskemængde *B&L 27+ (35)*
- Modstandskar, hjertets mekaniske funktion *B&L 23+24+26+28*
- EKG 1 *B&L 22*
- EKG 2
- Arterielle blodtryk, patofysiologi *B&L 26+29+31*
- Specielle kredsløbsgebetter *B&L 30*
- Barofysiologi, måling af blodgennemstrømning *noter*

# Kredsløbsfysiologi

- Almene træk
  - Berne & Levy kap. 22+26

Left atrium  
 Left ventricle  
 Aorta  
 Arteries  
 Arterioles  
 Capillaries  
 Venoles  
 Veins  
 Right atrium  
 Right ventricle  
 Pulmonary arteries  
 Capillaries  
 Pulmonary vein

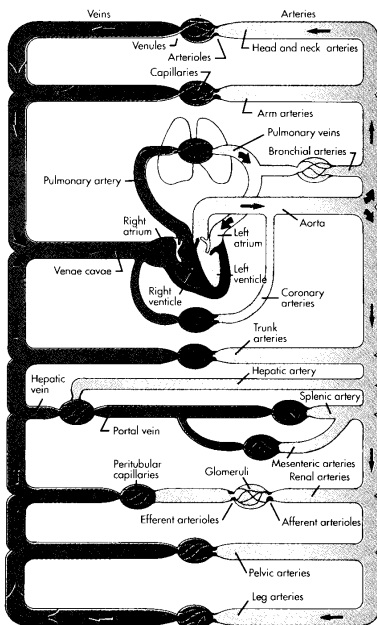


Funktion af kredsløbet:

Tilførelse af næringsstoffer og fjernelse af affaldsstoffer

# Håndskreven

BL 362 + JK



Hjertet består af 2 pumper i serie.  
Højre og venstre ventrikel er analogt til  
batterier i det elektriske kredsløb

Karrerne kan deles op i

**Transportkar**

**Modstandskar**

**Udvekslingskar**

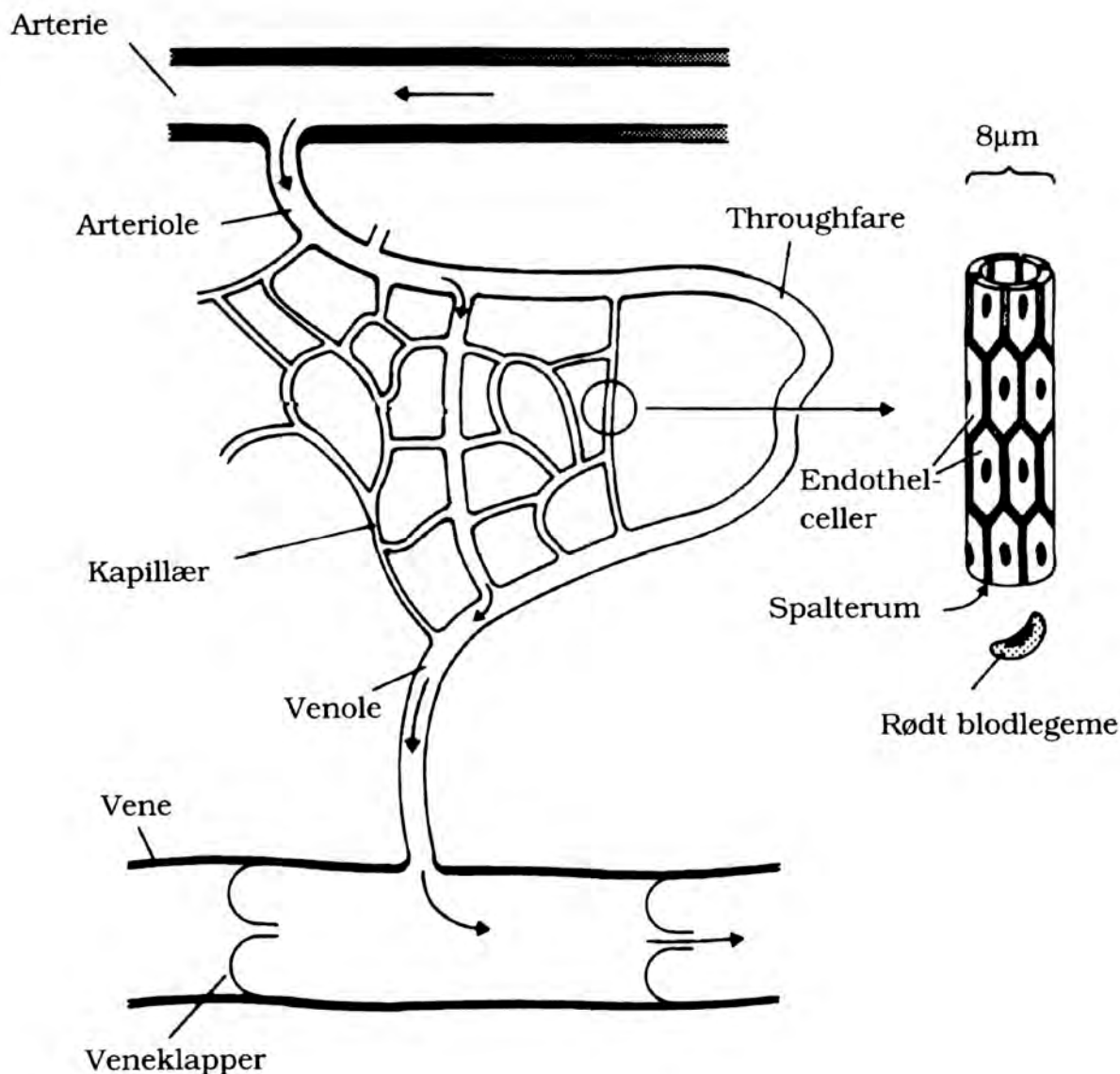
**Shuntkar**

**Kapacitanskar**

**Udvekslingskarrerne** udgøres af kapillærer og venoler. Disse er særdeles tæt forgrenede, dækker ca 600 m<sup>2</sup> spredt ud. Igennem disse forsynes vævene med næringsstoffer og skilles af med affaldsstoffer.

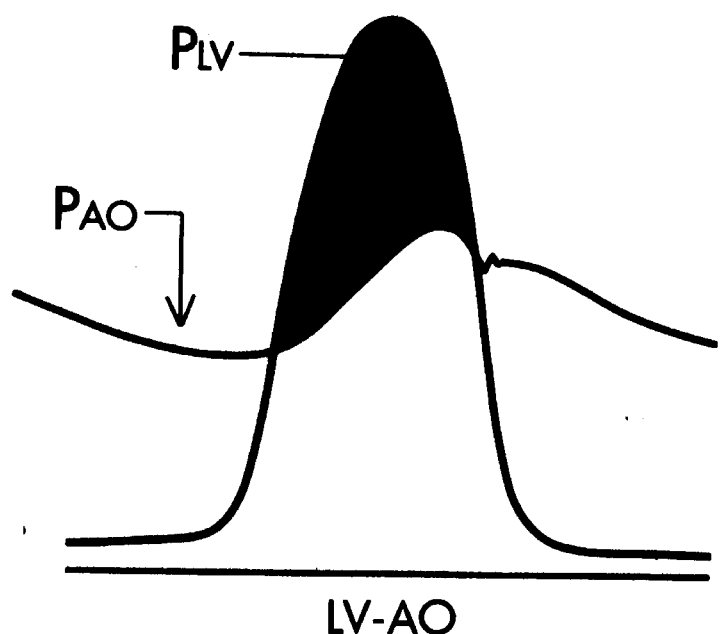
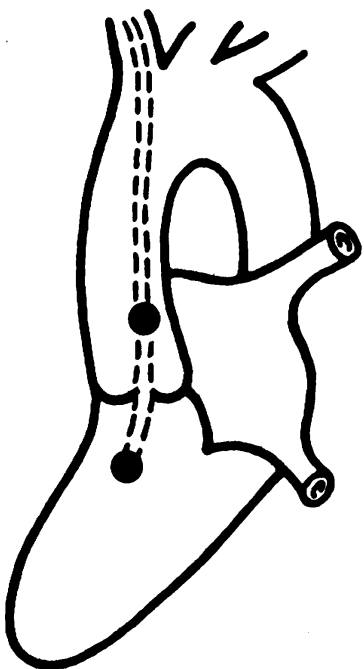
**Metarterioler** (shuntkar) findes i varierende grad specielt i hud og fungerer som en direkte forbindelse mellem arterioler og venoler uden om kapillærsystemet. (AV-shunt)

**Kapacitanskar** udgøres af venesystemet. Disse er tyndvæggede, relativt uelastiske med stor eftergivelighed, hvilket gør dem i stand til at undergå betydelige volumændringer under meget små trykændringer.



**Modstandskarrene** udgøres af arteriolerne. Disse indeholder mindre elastiske strukturer, men relativt mere glat muskulatur end arterierne. Muskulaturen er innerveret af sympaticus. Kredsløbets resistans er alt overvejende lokaliseret til arteriolerne.

**Transportkar** udgøres af de systemiske arterier. Disse er relativt stive trods elastiske og muskuløse strukturer i væggen. Innerveres af sympatheticus der har en kontraherende effekt. De elastiske strukturer opsluger dog en del af energien under systolen og afgiver den under diastolen.



For kar i serie gælder:

$$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

For kar i parallel gælder:

$$1/R_{\text{tot}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

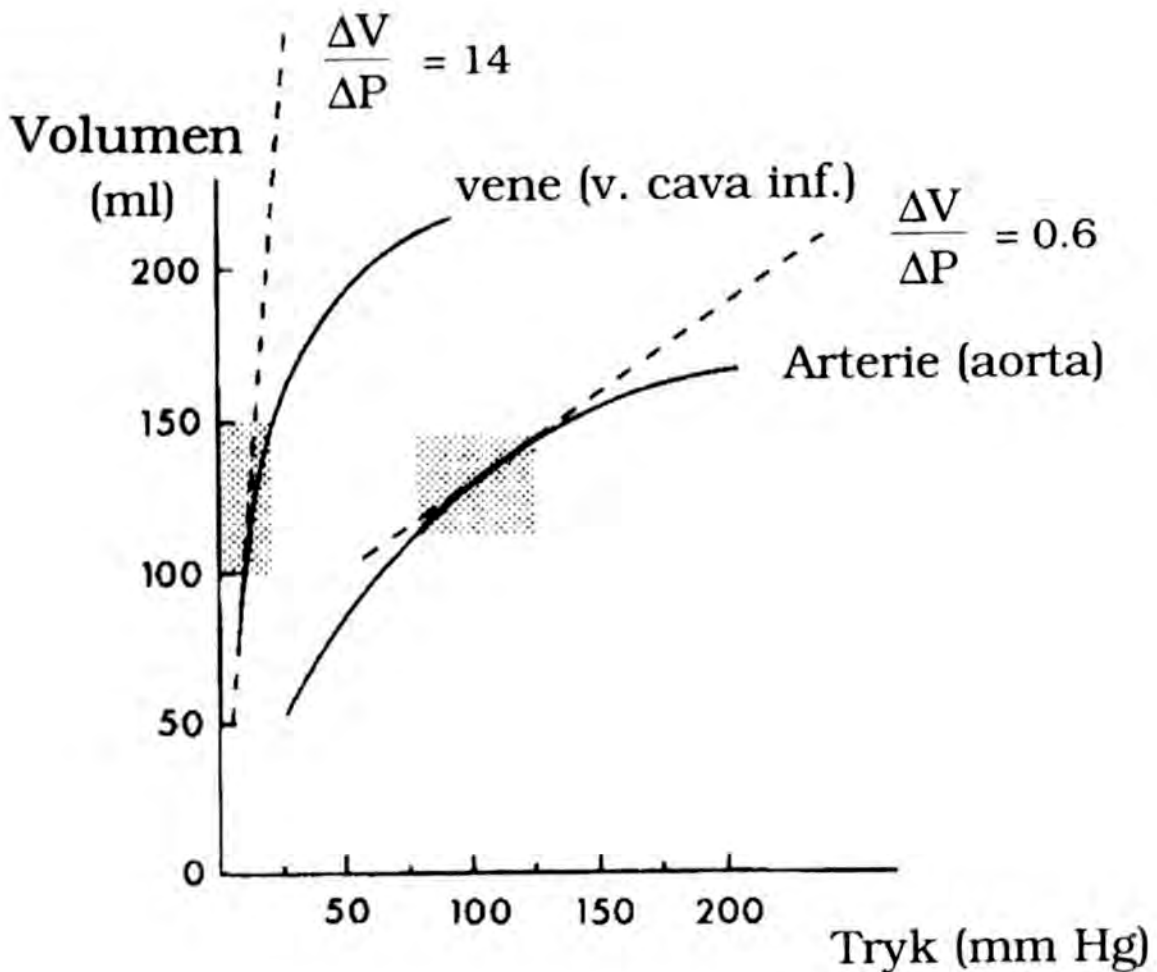
# Compliance

distensibilitet af karrene

$$\frac{\Delta V}{\Delta P}$$

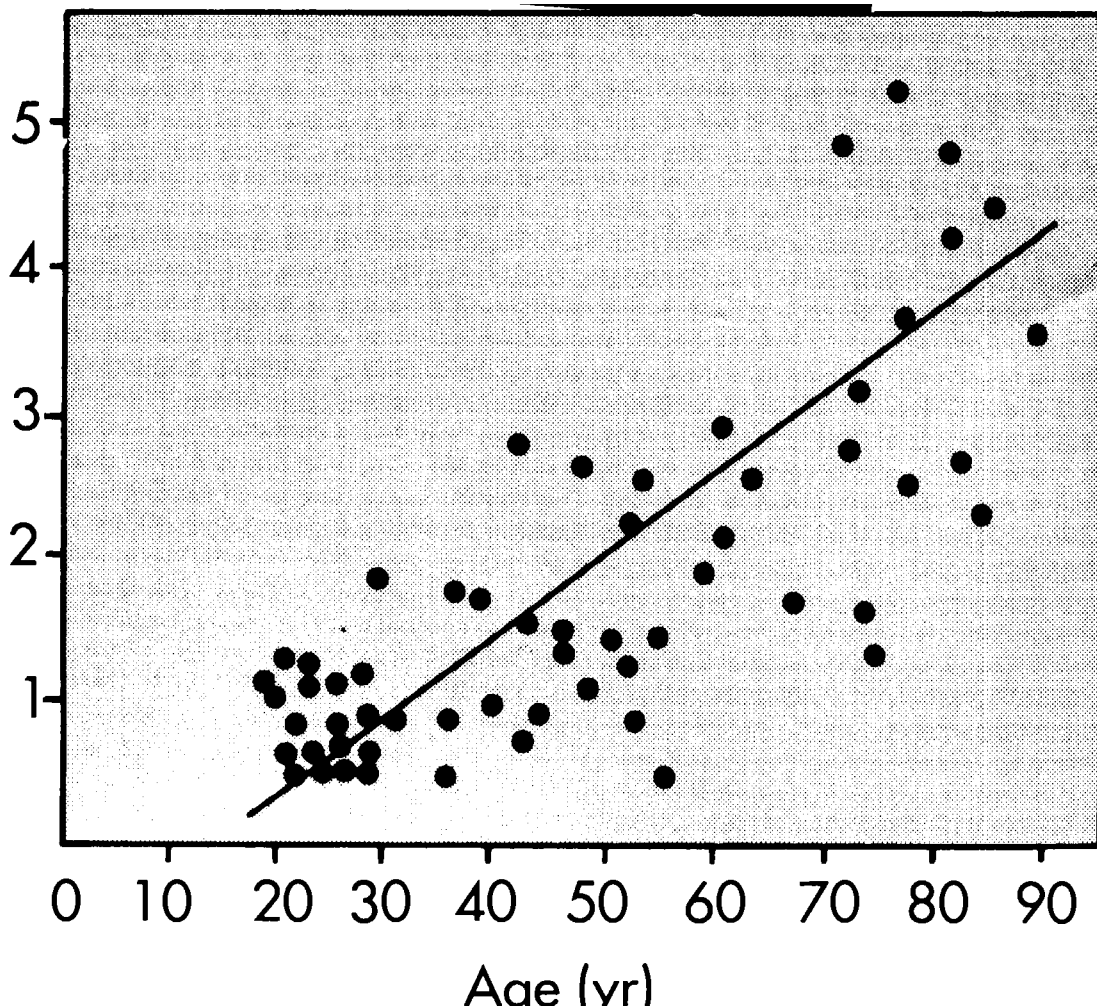
Specifikke compliance

$$\frac{\left[ \frac{\Delta V}{V} \right]}{\Delta P}$$



Bemærk at compliance ( $dv/dp$ ) aftager ved stigende tryk

# Elasticiteten af arteriesystemet aftager med alderen



$E_p$  = Elastisk modulus

Den kraft der skal appliceres på 1 m<sup>2</sup> kar for at opnå en standard udvidelse.

# Blodets volumenfordeling

Hjertet	0.44 l	8 %
Aorta		
Arterier	0.55 l	10%
Arterioler		
Kapillærer	0.22 l	4 %
Venoler	3.85 l	70 %
Vener		
Lungekredsløb	0.44 l	8 %
Tot. blodvol.	5.5 l	100 %

# Erythrocytregulation

Middellevetid

120 dage

Reguleres via et peptid erythropoetin

lav  $pO_2$  og lav Hgb    erythropoetin  $\uparrow\uparrow$

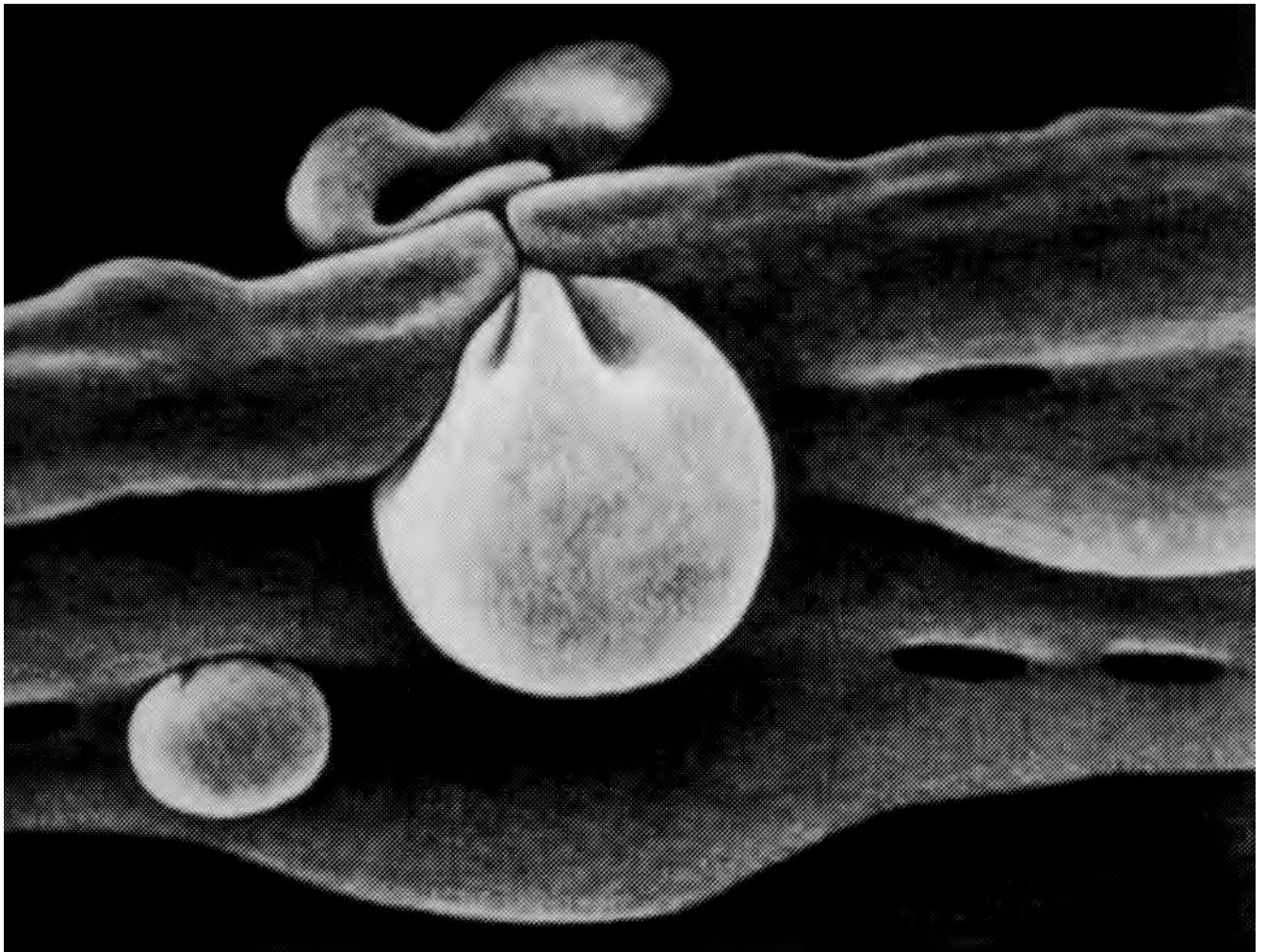
erythropoetin findes væsentligst i  
nyren (og en smule i leveren)

# Blodet

Hæmatokrit (erythrocytternes volumen fraktion af fuldblod)	<b>M</b> 45 % <b>K</b> 42 %
Antal erythrocytter pr. mm <sup>3</sup> (μl)	<b>M</b> 5.2·10 <sup>6</sup> <b>K</b> 4.8·10 <sup>6</sup>
Hæmoglobin konc.	<b>M</b> 8-10 mM <b>K</b> 7-9 mM
Mean cellular Hgb conc (MCHC)	340 g/l
Mean cellular Hgb (MCH)	32 pg
Mean cellular volume (MCV)	94 fl

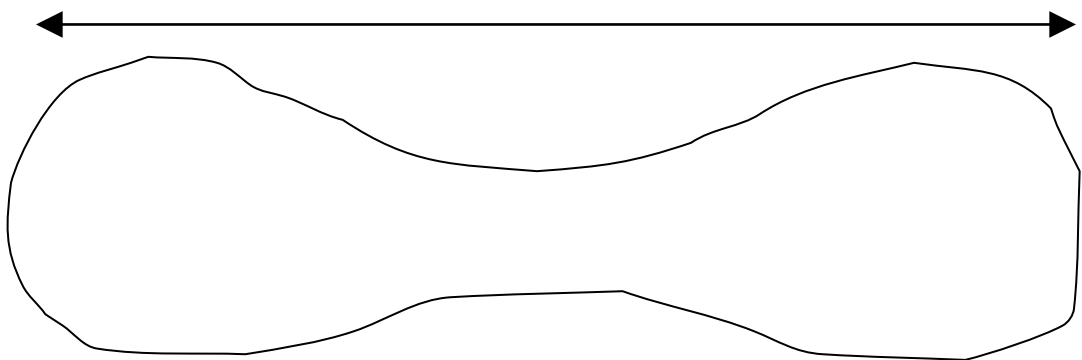


# Erythrocytelasticitet



Spalte =  $0.2 \mu$

$8 \mu$



Overflade  $140 \mu^2$

# Iltbindingskapacitet

1 g Hgb binder 1.34 ml  $O_2$

med 150 g Hgb pr. liter blod giver det

$150 \text{ g l}^{-1} \cdot 1.34 \text{ ml } O_2 =$

200 ml  $O_2$  pr. liter blod

# Opgave

I en arteriel blodprøve fra en patient er hæmoglobin indholdet  $140 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Iltmætningen er 100%

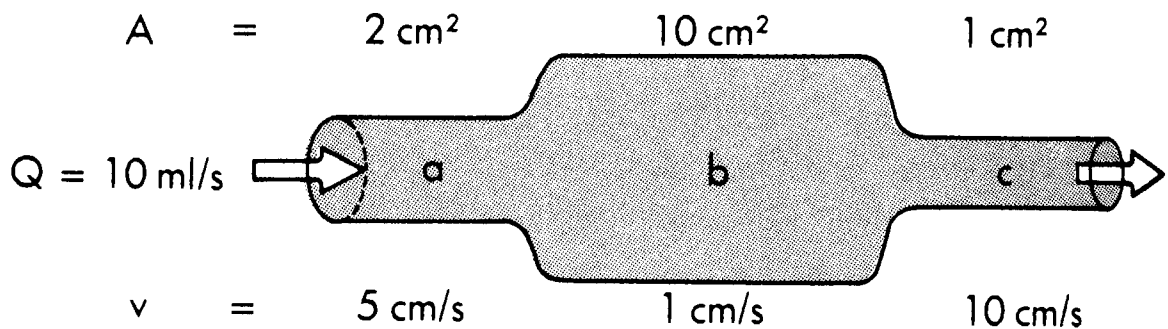
Beregn ved hvilken iltmætningsprocent der begynder at optræde cyanose?

# Opgave

I en arteriel blodprøve fra et normalt individ er  $O_2$  indholdet  $210 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$  blod.

Beregn prøvens hæmatokrit?

# Hastighed og Flow



**v hastighed**

lineær hastighed [cm s<sup>-1</sup>]

**Q flow**

volumen flow [ml s<sup>-1</sup>]

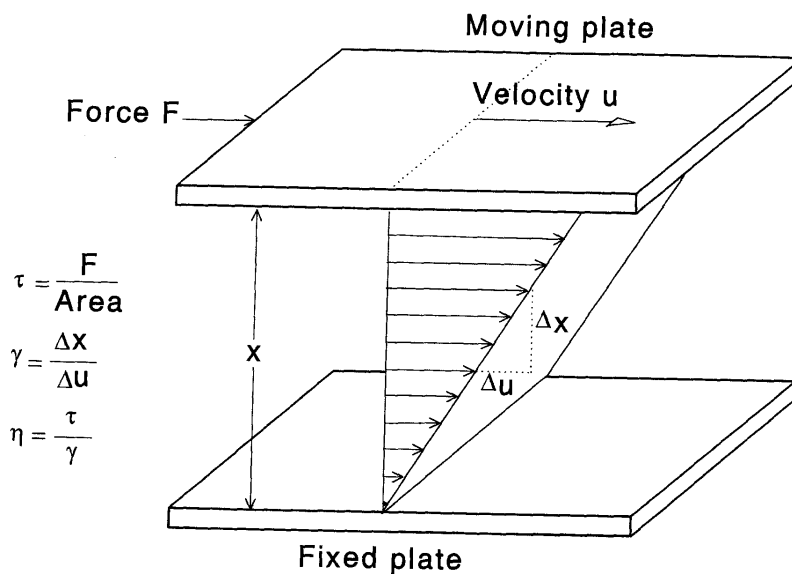
**$v = Q/A$**

hvor A er tværsnitsarealet

# Poiseuilles lov

Forudsætninger:

konstant flow (- pulserende)  
laminært flow (- turbulens)  
newtonsk væske



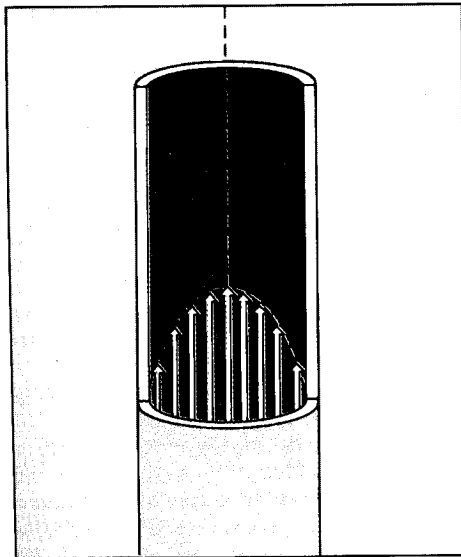
Shear stress  $\tau = F/A$

Shear rate =  $du/dx$

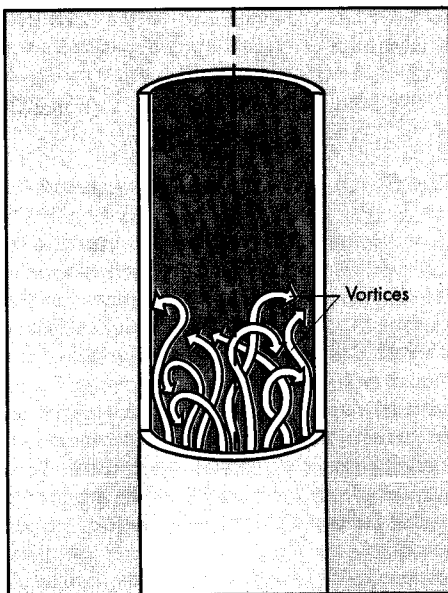
viskositet  $\eta = \frac{\text{shear stress}^*}{\text{shear rate}}$

\* gælder for en newtonsk væske. Måles i poise.

# Laminært & Turbulent flow



Laminært flow



Turbulent flow

kræver en større tryk-gradient end laminært flow for samme  $Q$ . Kan forudsiges ud fra Reynoldstallet  $N_r$

$$N_r = \rho Dv / \eta$$

$D$  = diameter  $\rho$  = væskedensitet  $\eta$  = viscositet  
 $v$  = middelhastighed

$N_r < 2000 \Rightarrow$  laminært flow

$N_r > 3000 \Rightarrow$  turbulens

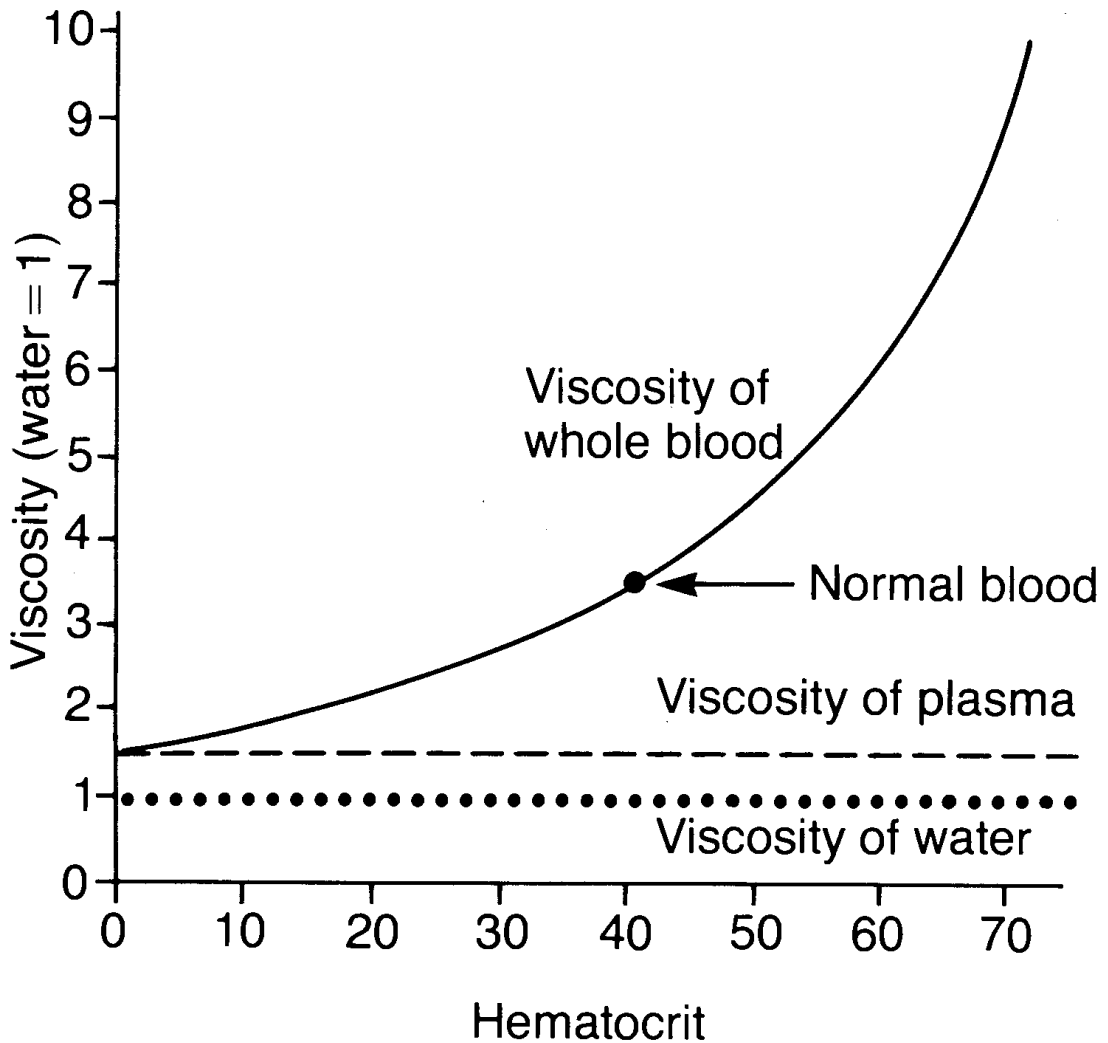


# Håndskrevet

JK

Blod ikke newtonsk  
væske

# Viskositet i blod



**Figure 14-11.** Effect of hematocrit on viscosity.

Viskositeten falder med diameteren i karret  
**Faehraeus-Lindkvist effekten** (I kapillærer halvdelen af viskositeten i store kar)

Viskositeten stiger med faldende flow  
**Rouleaux dannelse**

# Opgave

Hos en hvilende normal voksen mand ønskes hastigheden bestemt i aorta ( $\varnothing=22$  mm) ?

Blodets hastighed i de systemiske kapillærer sættes til  $1 \text{ mm s}^{-1}$  og kapillærdiameteren til  $6\mu$ .

Hvor mange åbne kapillærer findes ?

# Opgave

Ved overgang fra hvile til maksimal muskelaktivitet øges gennemblødningen i skeletmuskulaturen med en faktor 20.

Middelblodtrykket stiger fra 100 mmHg til 125 mmHg. Det antages at hele karmodstanden er lokaliseret til arteriolerne.

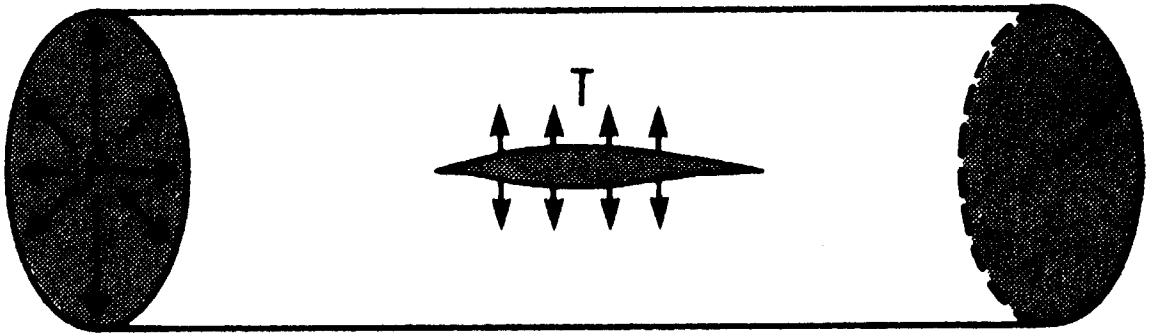
Hvad er middelændringen i disses radius ?

# Opgave

Under sympathetic stimulation  
kontraherer en arteriole sig fra  
 $150\mu$  til  $100\mu$ .

Beregn den faktor strømningss-  
modstanden stiger ?

# La Places lov



$$T = P \cdot r$$

T er vægtensionen

P er det transmurale tryk

r er karrets radius

gælder for tynde vægge f. eks. i kapillærer

For tykvæggede strukturer f. eks. Aorta må man tage hensyn til vægtykkelsen.

Wall stress  $\sigma$

$$\sigma = \frac{P \cdot r}{w}$$

hvor  $w$  er tykkelsen af væggen

# Opgave

Hvad er kapillært wall stress i hånden når man vinker, og i foden når man står?