

Mikrocirkulation Iltforsyning Væskebevægelse

- Berne & Levy
 - kap 28:465-77 + (36)
- Guyton 8. Ed. kap. 16 + (40)

Kapillærer

Funktion: Udveksling af nytte- og affaldsstoffer.

Diameter på 5-10 μ

Kapillærtryk: 15-30 mmHg

Gennemsnitlig længde $\frac{1}{2}$ -1 mm

Tæt på cellerne ca 50 μ i snit

Stoffer passerer kapillærvæggen ved tre mekanismer diffusion (vigtigst), filtration og pinocytose.

$O_2 + CO_2$ kan gå direkte igennem kapillærvæggen.

H_2O går igennem specielle vandporer (aquaporiner)

Kationer (Na^+ , K^+) og anioner (Cl^- , HCO_3^-) samt små hydrofile stoffer som aminosyrer og glucose går igennem små porer (ca. 10 nm)

Store plasmaproteiner kan gå igennem meget store porer (40-60 nm) eller via vesicler (pinocytose)

Kapillærer kan deles op i forskellige typer med forskellig endothelbeklædning.

De fleste kapillærer (og de øvrige kar) dvs. i muskel, hud, bindevæv og lunge har kontinueret epithel med mindre end 0.02 % porer.

I kirtler, mave-tarm kanalens mucosa, nyrer og plexus choroideus findes fenestrerede kapillærer med store porer der kan åbnes og lukkes. Har især højere permeabilitet for H_2O , ioner og små molekyler

I lever, milt samt knoglemarv findes **diskontinuert endothel** der tillader en stor passage af plasmaproteiner

I **hjernen** findes **endothel med tight junctions**, der giver en stor tæthed og relativ ringe permeabilitet for elektrolytter og især proteiner.

Diffusion

Udgør 99.98 % af al H₂O transport.

Ficks lov

Fluxen **J**

Diffusionskoefficienten **D**

Arealet **A**

Stofgradienten $\frac{dc}{dx}$

$$J = -DA \frac{dc}{dx}$$

Da man ikke altid kender membrantykkelsen Δx kan man definere en permeabilitetskoefficient P

$$P = \frac{D}{\Delta x}$$

$$J = -P \cdot A \cdot \Delta C$$

Table 16–1 RELATIVE PERMEABILITY OF MUSCLE CAPILLARY PORES TO DIFFERENT-SIZED MOLECULES

| Substance | Molecular Weight | Permeability |
|------------|------------------|--------------|
| Water | 18 | 1.00 |
| NaCl | 58.5 | 0.96 |
| Urea | 60 | 0.8 |
| Glucose | 180 | 0.6 |
| Sucrose | 342 | 0.4 |
| Inulin | 5000 | 0.2 |
| Myoglobin | 17,600 | 0.03 |
| Hemoglobin | 68,000 | 0.01 |
| Albumin | 69,000 | .0001 |

Endothel

Har parakrine effekter.

Hæmmer thrombedannelsen ved at afgive prostacyclin (PGI_2) og NO (tidl EDRF)

Syntetiserer vækstfaktorer
TGF- β , PDGF, CSF, VEGF

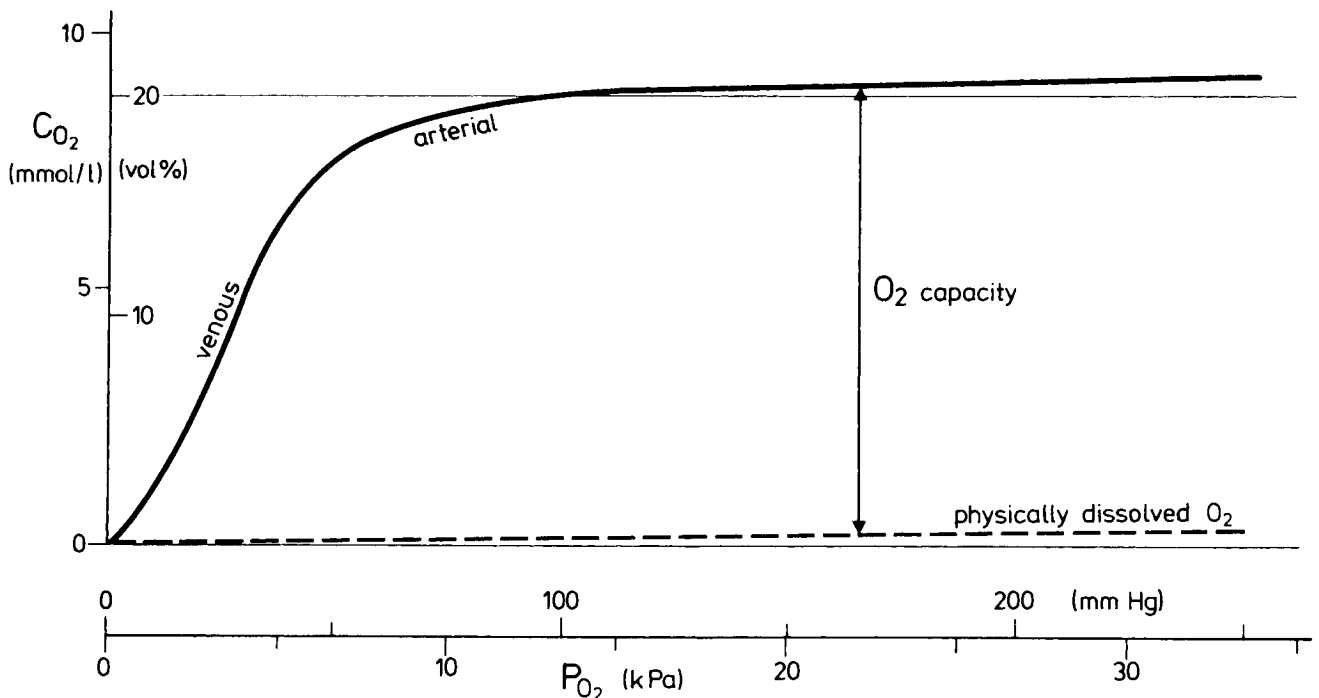
Deltager i metabolismen af lipoproteiner.

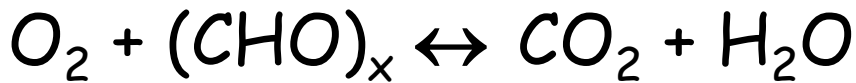
Kapillær rekruttering

Kapillærflowet er stærkt varierende selv under basale omstændigheder. Arteriolerne udviser tilsyneladende tilfældige oscillationer af radius (vasomotion), og under basale omstændigheder ledes en stor del af flowet uden om kapillærnettet via metarterioler. Ved øget behov (f. eks. i muskelvæv under arbejde) rekrutteres flere og flere kapillærer i det nutritive flow ved dilatation af de tilhørende arterioler.

Ilttransport

Ilt transporteres næsten udelukkende bundet til hæmoglobin. Op til en faktor 100 mere end der er fysisk opløst i plasma



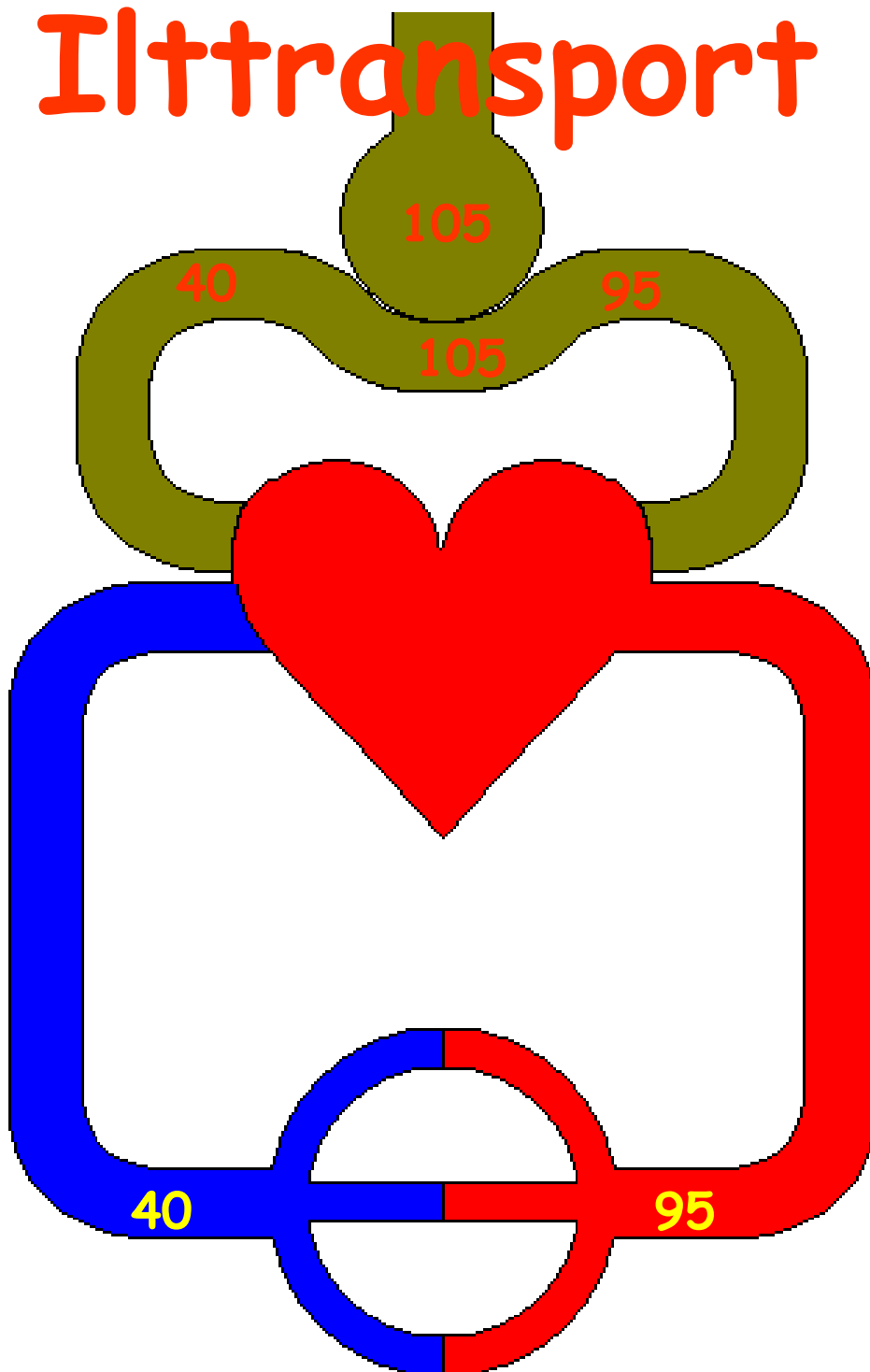


O_2 og CO_2 er stærkt lipofile og diffunderer rimeligt frit til cellerne.

CO_2 endog x20 bedre end O_2

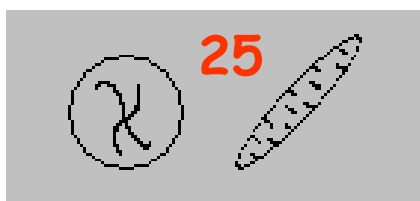
Basalt cellulært behov for $pO_2 = 3$ mmHg

Ilttransport

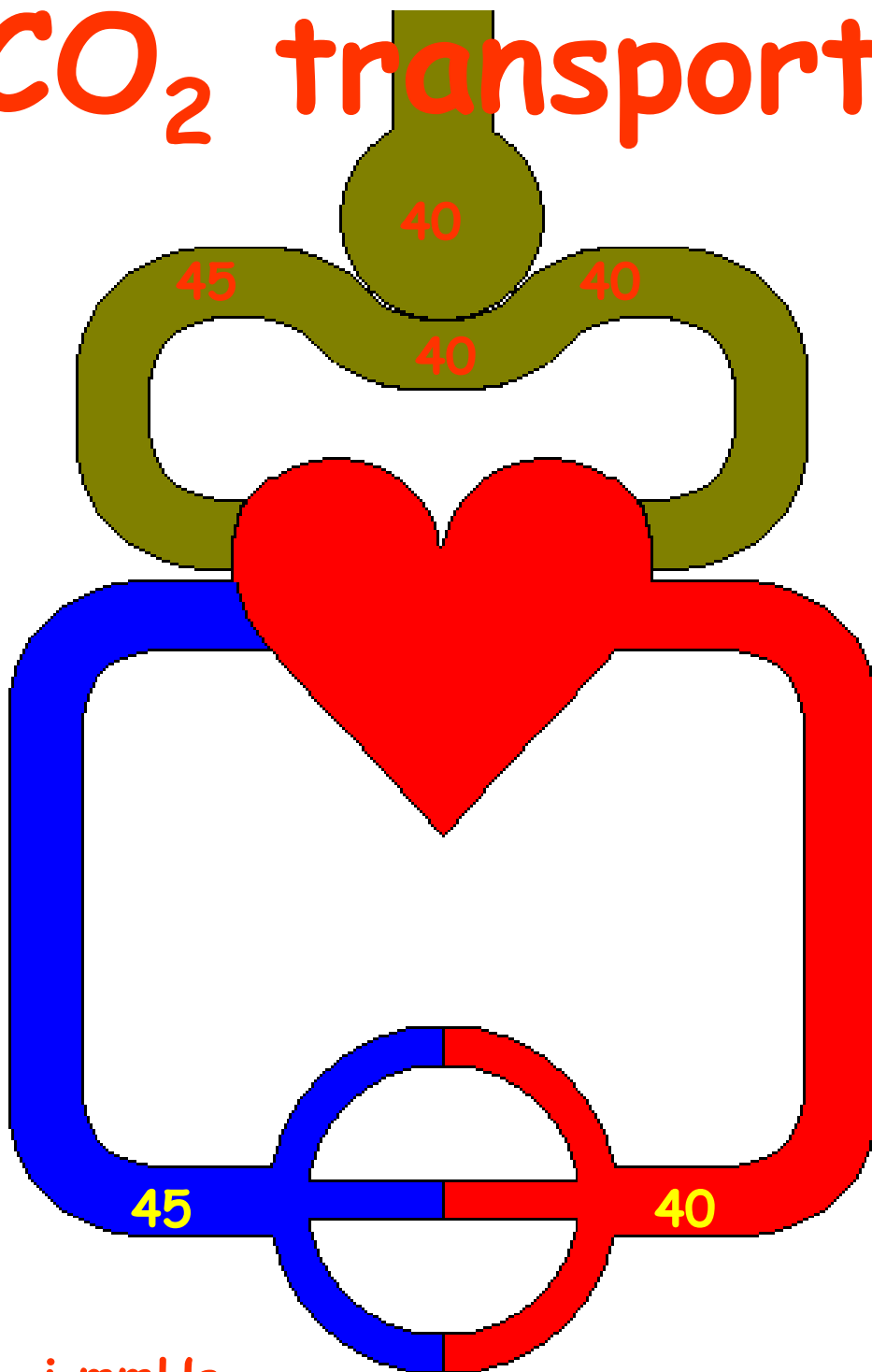


pO_2 i mmHg

40

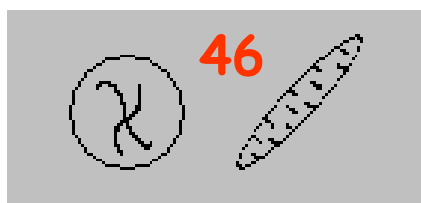


CO₂ transport

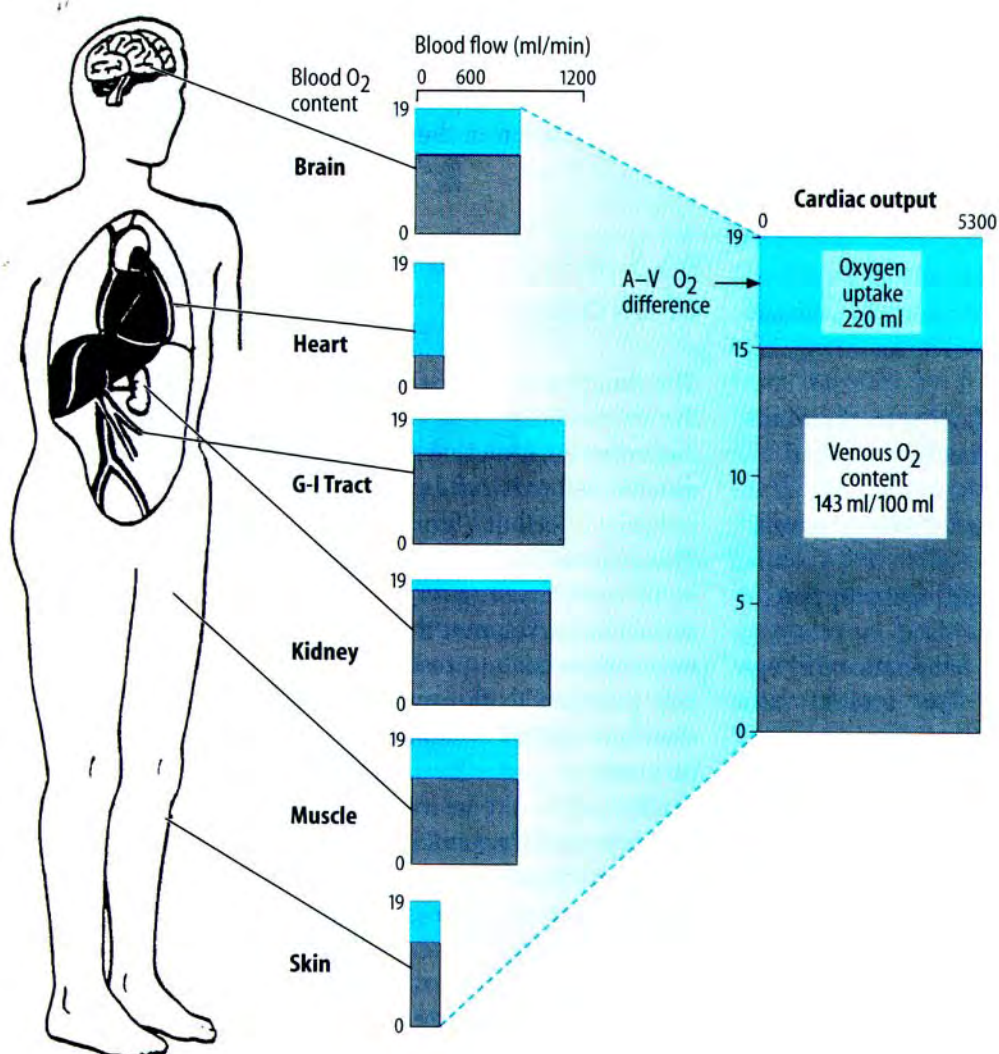


pCO₂ i mmHg

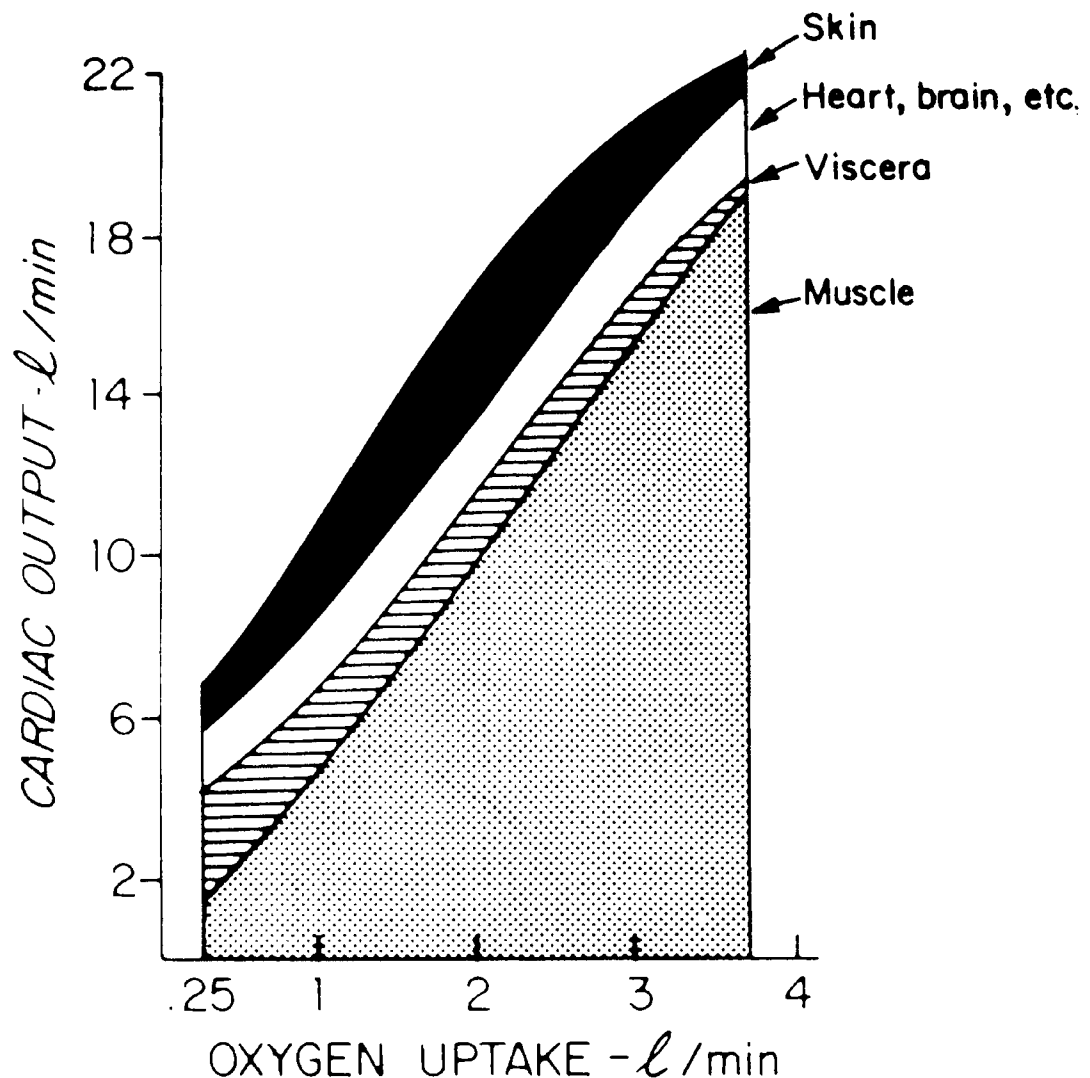
45



Regionale forskelle i iltudnyttelsen



Iltoptagelse under arbejde



$$Q = 5.5 \text{ l/min}$$

$$\text{Hgb} = 150 \text{ g/l}$$

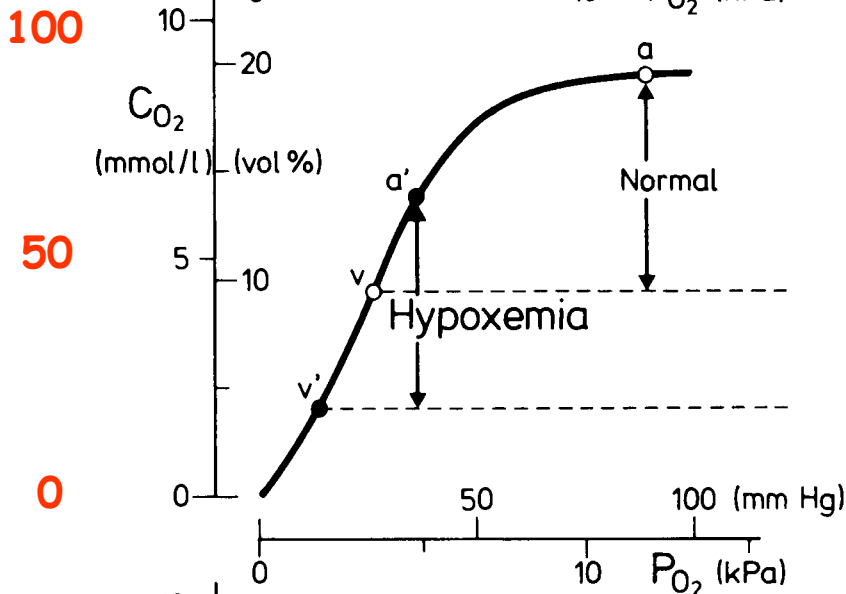
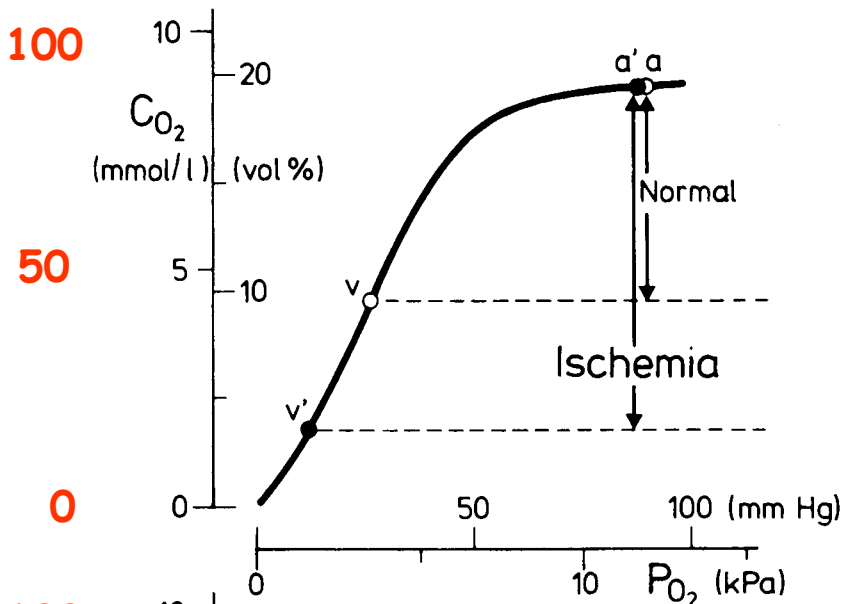
1 g Hgb binder 1.34 ml O_2

Ilttransport i hvile =

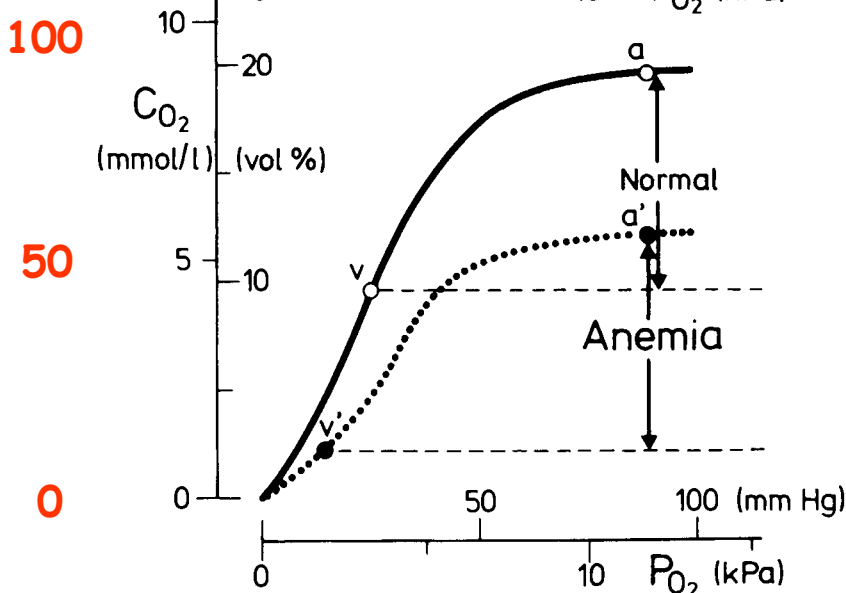
$$5.5 \text{ l/min} \cdot 150 \text{ g/l} \cdot 1.34 \text{ ml/g} = 1100 \text{ ml/min}$$

Udnyttelsesgrad: 25% i hvile op til 75% ved arbejde

% Iltmætning



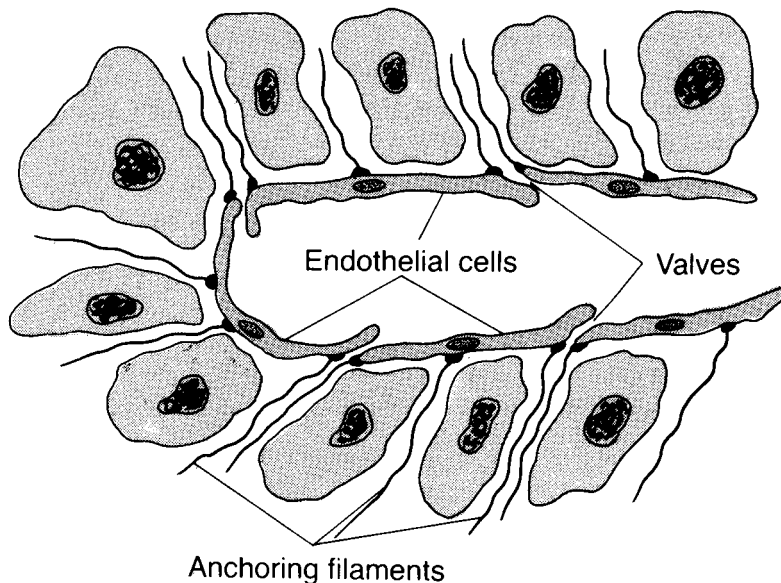
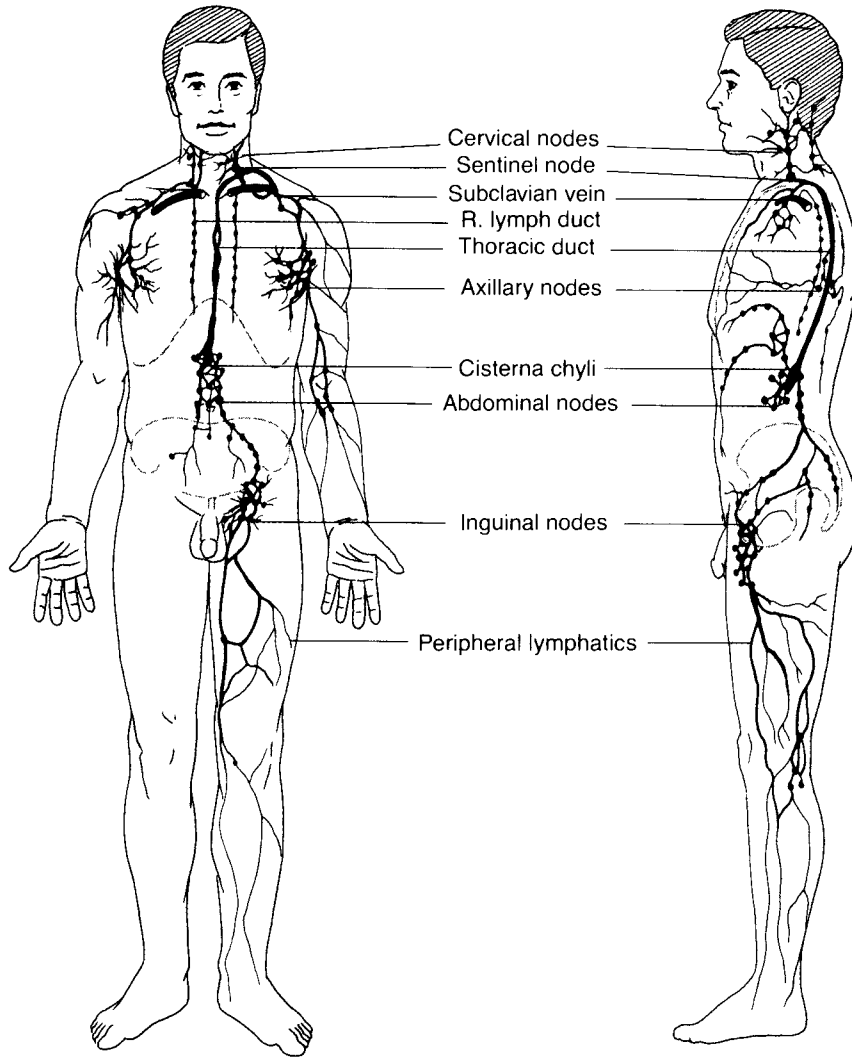
$\uparrow\uparrow$ $pCO_2 \Rightarrow$
 $\downarrow\downarrow$ $pH \Rightarrow$



Lymfesystemet

Kapillærer er ikke fuldstændigt impermeable over for store molekyler. Mere end halvdelen af plasmaproteinmængden befinder sig i interstitielvæsken. Drænagen tilbage til karbanen sker i lymfesystemet. Lymfekar starter blindt i interstitset, i kort afstand fra kapillærerne. De løber sammen i større lymfekar der ender i ductus thoracicus der udmunder i v. subclavia.

Lymfesystemet



Lymfekarrene er beklædt med tyndere endothel end kapillærer.

Junctions er ikke lukkede og tætte men tillader selv makromolekyler at passerer relativt nemt.

Cellekanterne overlapper og virker som ventiler der tillader passage ind i lymfesystemet, men ikke ud igen.

Der dannes ca. 3-5 l lymfe pr døgn. Middeltransittiden er 2-3 døgn (1 min for blodets recirculation) det vil sige meget lave hastigheder.

Trykket tilsvarende lavt 1-2 mmHg (kapillærtryk 15-30 mmHg)

Lymfekar findes de fleste steder

- ÷ CNS
- ÷ øverste dele af huden
- ÷ knogler

Der er dog små kanaler der løber ind i lymfekar. I CNS dræneres direkte til cerebrospinalvæsken

Lymfe indeholder ca. 2 g protein/l

fra tarmgebetet 4 g/l

fra leveren 6g/l

Filtrationskoefficient

Filtrationen Q_f over kapillærmembranen:

$$Q_f = \frac{k \cdot A_m \cdot \Delta P}{\eta \cdot \Delta x}$$

A_m er kapillærarealet

ΔP er hydrostatisk + osmotisk tryk

η er filtratets viscositet

Δx er vægtykkelsen af kapillæret

da Δx og η er relativt konstante kan man udtrykke Q_f i $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 100 \text{ g væv}^{-1}$ og helt se bort fra A_m

$$Q_f = k_t \cdot \Delta P$$

Starling kræfter

- Kapillærtrykket P_c
presser væske ud af karbanen
- Interstitielle tryk P_i
trykker væske ind i karbanen
- Plasmas kolloidosmotiske tryk π_p
suger væske ind i karbanen ved osmose
- Interstitielle kolloidosmotiske tryk π_I
suger væske ud af karbanen ved osmose

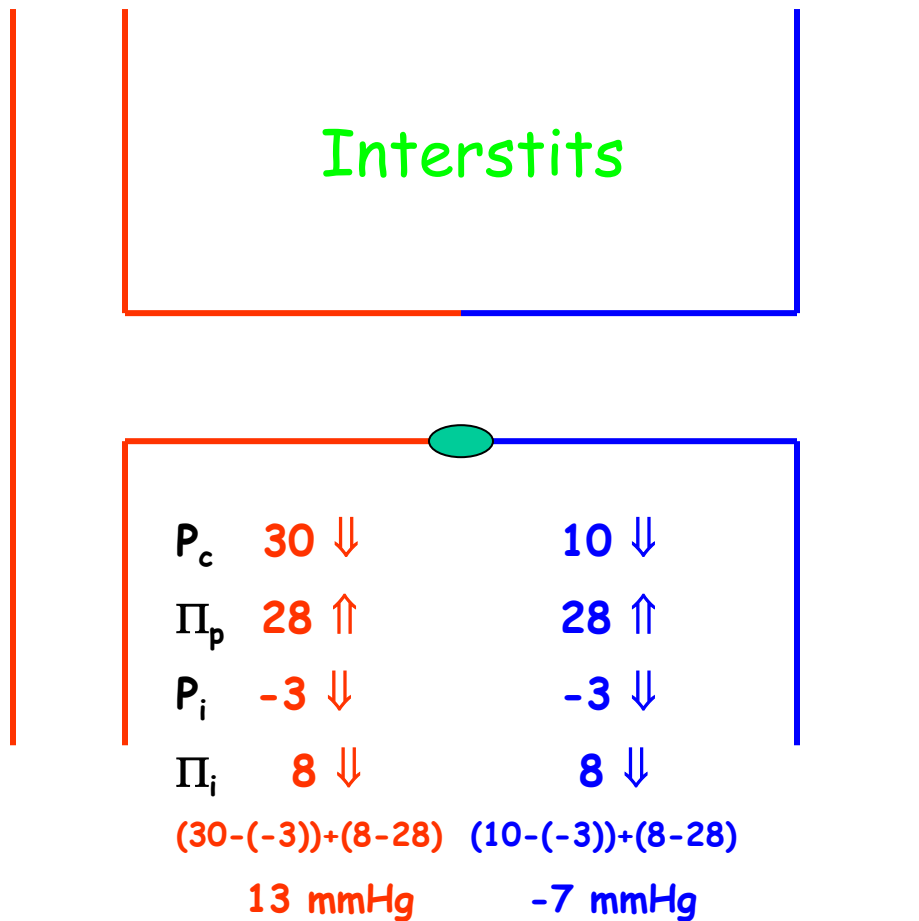
Kolloidosmotiske tryk

Det totale osmotiske tryk i plasma er 6000 mmHg, men udgøres hovedsagligt af ioner og andre stoffer der let passerer kapillærvæggen.

Større proteiner har en koncentrationsgradient på grund af den manglende evne til fri diffusion og giver ophav til et kolloidosmotisk tryk på ca. 25 mmHg.

arteriole

venole



$$k ([P_c - P_i] + [\Pi_i - \Pi_p])$$

Vener er mere tyndvæggede så transport ind i venoler er større ved samme gradient end ud af arterioler

Opgave

I et hjertekapillær sættes filtrationskoefficienten til $0.2 \cdot 10^{-8} \cdot \text{ml} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Hvad er filtrationshastigheden i den arterielle halvdel og i den venøse halvdel når kapillærets samlede vægareal er $2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$?

Ødemer

Ødemer er overskydende akkumulation af væske. Ofte på grund af ubalance i de faktorer der kontrollerer væsketransporten.

Starling:

$$F = k_{fc} \cdot [(P_c - P_i) - (\pi_p - \pi_i)]$$

Lymfeflow kan øges med en faktor 50 fra basale omstændigheder.

Dette vasker interstitielt protein ud (nedsætter π_I)

Dette gør at kapillærtrykket skal doubles inden ødem opstår

Årsager til ødem

- Lymfatisk obstruktion
 - tumorindvækst
 - elefantiasis
 - inaktivitet
- Øget kapillærpermeabilitet
 - brandsår
 - inflammation
- Nedsat plasmaprotein
 - alkoholisme
 - anden malnutrition
(hungerødem)
 - nefrotisk syndrom
- Øget hydrostatisk tryk
 - hjerteinsufficiens
 - øget volumen load

Hurtig ødemdannelse kan lede til cirkulatorisk shock på grund af intravasal volumendeplettering da reguleringsmekanismerne ikke er hurtige nok.

Opgave

Vævsfiltrationskoefficienten K_{ft} defineres som det antal ml plasmavand der udfiltreres pr. min. pr mmHg trykforskel pr. 100 g væv. I gennemsnit er K_{ft} for kroppen:

$$0.002 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1} \cdot 100 \text{ g BW}^{-1}$$

Den effektive trykforskel for kapillærfiltration er 2 mmHg.

Hvor meget væske udfiltreres der?

Opgave

Når proteinkoncentrationen i den dannede lymfe er $3\text{g} \cdot 100\text{ml}^{-1}$ ønskes beregnet en middelværdi for den fraktion af plasmaprotein der passerer igennem kapillærvæggen.

Cardiac Output sættes gennemsnitlig til $7.5\text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

Opgave

Under en flyrejse sidder en passager ubevægeligt i 9 timer.

Beregn ødemdannelsen som den procentvise volumenforøgelse der vil komme i det bløde væv i fodryggen?

Filtrationskoefficienten sættes til:

$$0.0012 \text{ ml} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$$

Næste gang

Modstandskar Hjertets mekaniske funktion

- Berne & Levy kap 23+24+26+28
- Guyton 8. Ed. kap. 9+17+20