

Fysiologi -
bogen

Bidstrup et al.
Nucleus, 2. udg.
2016

rene kan komme helt ned på 0,3 mm pr. sek. Grunden til dette store fald i blodets hastighed skyldes ændring af det samlede tværsnitsareal i karsystemets forskellige afsnit. Dette areal er mindst i arterier og vener og størst i kapillærene. Fænomenet er velkendt fra floder og elve - vandets hastighed er størst hvor floden er smal, og lille hvor floden breder sig ud.

Det er hensigtsmæssigt at blodets hastighed er mindst i kapillærene. Det er nemlig her at der skal ske en udveksling af næringsstoffer, affaldsstoffer, O₂ og CO₂ mellem blodet og cellerne i kroppen.

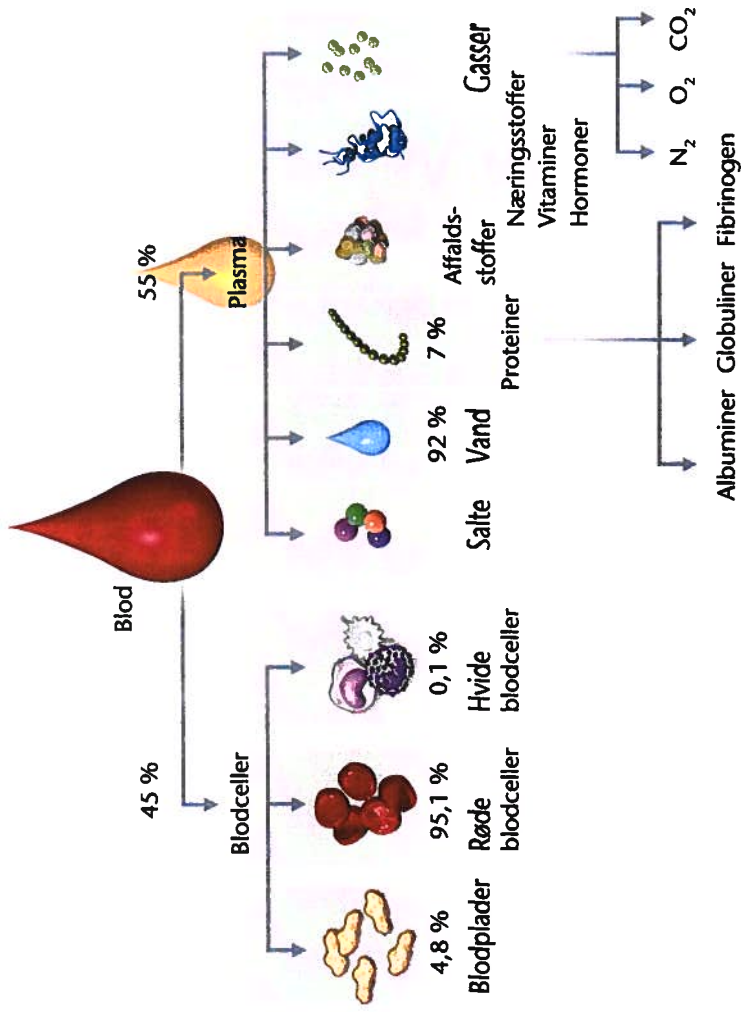
Blodet og dets bestanddele

En voksen kvinde har ca. 70 mL blod pr. kilo kropsvægt, mens en voksen mand har ca. 80 mL. Dette svarer til at en kvin-

de på 70 kg har 4,9 liter blod, mens en mand med samme vægt har 5,6 liter. Blodmængden kan dog variere en del og er blandt andet afhængig af træningstilstand (se side 107).

Blodet har mange funktioner i kroppen, blandt andet at:

- forsyne kroppens celler med O₂ og næringsstoffer som glucose og fedtsyrer
- fjerne affaldsstoffer som CO₂ og urinstof
- transportere kroppens signalmolekyler - hormonerne
- hjælpe med til at regulere kroppens pH
- regulere kroppens kerntemperatur og
- sørge for at bringe immunforsvarets celler og antistoffer rundt i kroppen.



Figur 97. Blodets bestanddele.

r blod, mens en
gt har 5,6 liter.
variere en del og
ig af træningsstil-

ioner i kroppen,

eller med O₂ og
glucose og fedt-

om (CO₂) og urin-

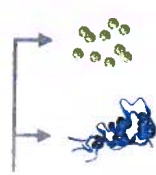
signal-moleky-

ulerer kroppens

erne-temperatur

mmunforsvarets

undt i kroppen.



Gasser
ringsstoffer
miner
moner

N₂ O₂ CO₂

ogen

55% af blodvolumen udgøres af plasma. De røde blodceller udgør knap 45 %, mens de hvide blodceller og blodpladerne tilsammen udgør mindre end 1 %, så blodets celler udgør tilsammen 45 % af blodvolumen, se figur 97.

Den andel af blodets volumen der udgøres af de røde blodceller, kaldes **hæmatokrit**. Værdien angives som et procenttal. Hæmatokritværdien kan variere en del, men er typisk 38-43 % for kvinder og 40-45 % for mænd. Omkring 92% af blodplasma er vand. Derudover består det hovedsageligt af opløste proteiner, men også af næringsstoffer, affaldsstoffer, forskellige uorganiske salte m.m., se figur 97. Hovedparten af plasmaproteinerne har transportfunktion. De transporterer fx fedtsyrer og visse hormoner.

Et plasmaprotein, fibrinogen, omdannes til fibrin ved beskadigelse af blodkar, se side 102. Plasma uden fibrinogen kaldes for serum. Endelig indeholder plasmaet en række antistoffer (immunoglobuliner) der dannes af den gruppe hvide blodceller, der kaldes plasmaceller, se side 159.

Røde blodceller – erythrocytter

De røde blodceller eller erythrocytter dannes i knoglemarven ligesom alle de øvrige blodceller (se figur 149 side 152). De er med en diameter på ca. 7 µm nogle af kroppens mindste celler. Færdigudviklede røde blodceller har mistet cellekernen, mitokondrierne og ribosomerne, og de har form som en skive der er trykket lidt sammen på midten, se figur 97. Denne form gør dem meget fleksible hvilket er af betydning, når de skal gennem de mindste kapillærer. Tabet af organeller har to

vigtige konsekvenser for de røde blodceller – de kan hverken respirere eller syntetisere proteiner. Det første betyder at røde blodcellers energiforsyning alene klares ved glycolyse. Den manglende proteinsyntese betyder blandt andet at cellerne ældes hurtigere. Som konsekvens af dette ændrer deres cellemembran sig med tiden hvilket betyder at gamle røde blodceller genkendes og fagocytteres af makrofager, der er placeret i milten, leveren og lymfeknuderne. En rød blodcelle bliver omkring 120 dage gammel.

En mikroliter (1 mm³) blod indeholder i gennemsnit 5 millioner røde blodceller – lidt flere hos mænd og lidt færre hos kvinder. En person med 5 liter blod vil derfor have 25 · 10¹² røde blodceller i sit blod – hvilket cirka svarer til en fjerdedel af alle kroppens celler. Skal alle disse celler udskiftes på blot 120 dage, betyder det at der både dannes og nedbrydes knap 2,5 millioner røde blodceller pr. sekund.

Når røde blodceller nedbrydes, omdannes hæmgruppen fra hæmoglobin til det gulbrune stof bilirubin. Dette stof skiller kroppen sig af med via galden. I tyktarmen omdannes det dog først af bakterier til det farveløse urobilinogen der igen omdannes til urobilin, der giver både afføring og urin deres velkendte farver.

Blodmangel

Ved blodmangel – anæmi – forstår man en tilstand hvor koncentrationen af funktionelt hæmoglobin i blodet er under de normale værdier, der for voksne er:

- Mænd: 8-11 mmol/L
- Kvinder: 7-10 mmol/L

Graden af anæmi afhænger af hvor lav koncentrationen af hæmoglobin er. Men er den under 5,0 mmol/L, karakteriseres den som svær anæmi. Læs om hæmoglobin side 77.

Anæmi medfører en reduceret tilførsel af oxygen til kroppens celler, og symptomerne er:

- bleg hud
- nedsat kondition
- åndenød – specielt ved anstrengelse
- hjertebanken
- svimmelhed
- træthed
- hovedpine
- øget søvnbehov.

Hvide blodceller – leucocytter

Der findes en lang række forskellige typer af **hvide blodceller** eller leucocytter, der alle hører til kroppens forsvar. De forskellige typer, deres dannelse og deres funktion er gennemgået i kapitlet om immunforsvaret.

Antallet af hvide blodceller kan variere meget, og det bruges ofte som en indikator på bestemte sygdomme, herunder infektionssygdomme. En mikroliter (1 mm³) blod indeholder normalt fra 4.000-11.000 hvide blodceller.

Blodplader – trombocytter

Blodplader eller trombocytter stammer

– som de røde og de hvide blodceller – fra knoglemarven. Her dannes de ved fragmentering af nogle store celler der kaldes megakaryocytter. Blodpladerne mangler cellekerner, men indeholder andre organeller som fx mitokondrier.

Opstår der en læsion af et blodkar, samler blodpladerne sig straks for at forsegle læsionsstedet. Samtidig omdannes blodets fibrinogen til fibrin der danner et netværk

af proteintråde. De skaber sammen med blodplader og indlejrede røde blodceller et såkaldt koagel der fungerer som en prop i læsionshullet og standser blødningen. Blodets koagulation er dog meget kompliceret, og den involverer en del flere processer end beskrevet her.

Blodplader er skiveformede med en diameter på 2-3 µm. En mikroliter (1 mm³) blod indeholder normalt fra 150.000-450.000 blodplader. Blodpladernes levetid er ca. 10 dage hvorefter de fagocyteres af makrofagerne.

Stofudveksling mellem blod og celler

Udveksling af stoffer mellem blod og vævsceller foregår i kapillærerne, se figur 98. CO₂ og O₂ diffunderer gennem cellemembranerne. Små molekyler som glucose og aminosyrer passerer via transportproteiner, vand via aquaporiner og ioner via kanaler eller pumper, se afsnittet Transport gennem membranen side 16ff.

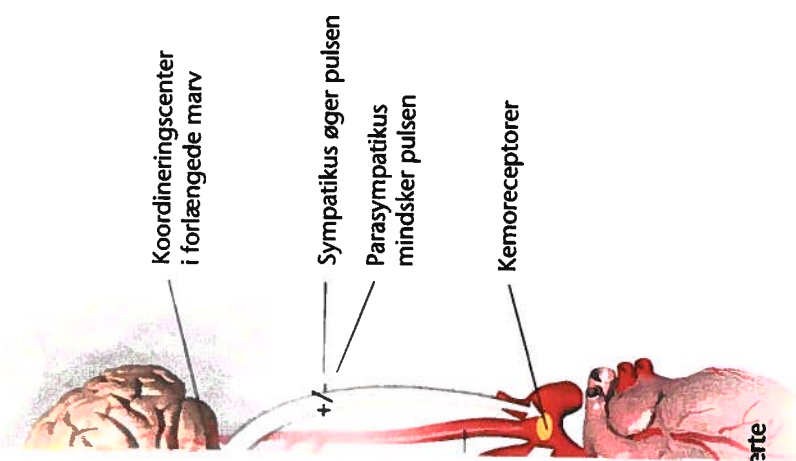
Vandbevægelsen reguleres af et udadrettet blodtryk og et indadrettet kolloidosmotisk tryk. Det kolloidosmotiske tryk opstår fordi koncentrationen af opløste proteiner (kolloider) er større i blodplasmaet end i væsken uden for blodkarrene. Det skyldes at proteiner normalt ikke kan passere kapillærvæggene.

I den arterielle ende af kapillærerne hvor blodtrykket er størst, er det filtration af vand ud af karrene som dominerer. I den venøse ende er det resorption eller tilbagetransport af vand som dominerer. Som det ses på figuren, er nettotrykket der filtrerer vand ud af den arterielle ende af kapillæret, større end nettotrykket der resorberer vand i den venøse ende. De aktuelle trykbidrag kan dog variere

odet. Disse ændringer vil få de glatte skår i blodkarvæggene til at afslappe sig. Herved kommer der mere blod til arbejdende muskler. Under arbejdet er det systoliske tryk, mens det diastoliske holdes konstant. Andre kemiske stoffer som alkohol og nikotin virker også udvidende på karvæggene.

Julering af kredsløbet

Blodtrykket reguleres ligesom blodtrykket fra et center i den forlængede hjerne. Ved at ændre på aktiviteten i blodtryksreceptorer og parasympatikusskive kan pulsen øges eller sænkes.



CO₂ og en stigning i koncentrationen af K⁺ og H⁺ som tegn på øget stofskifte. Kemoreceptorer i aorta reagerer på disse ændringer, og det bevirker at aktiviteten i det sympatiske nervesystem øges, mens samtidig falder aktiviteten i det parasympatiske nervesystem, og resultatet bliver at pulsen stiger, og arteriernes tonus øges i de indre organer og mindskes i musklerne. Minutvolumen øges på grund af en stigning i både slagvolumen og puls.

TEMA

Træning, kredsløb og åndedræt

Ændrer man pludselig aktivitetsniveau - fx fra at gå til at løbe - vil ventilationsfrekvensen, åndingsdybden og pulsen øges som reaktion på musklernes forøgede behov for O₂ (og forøgede udskillelse af CO₂). Begynder man nu at løbe jævnligt - konditionstræning - vil der ske mere permanente forandringer som reaktion på de nye krav der stilles til kroppen. Her skal vi se på de forandringer der har med optagelse, transport og udnyttelse af O₂ i cellerne at gøre - det man med et enkelt ord kalder konditionstræning - også kaldet aerob træning - vil den mængde luft som lungerne kan indånde pr. minut, blive større. Det skyldes for det første at ventilationsfrekvensen kan øges når respirationsmusklerne bliver stærkere. For det andet bliver åndingsdybden større hos den træned. Den øgede åndingsdybde gør at alveolerne bliver mere udspilede, det

blod på bekostning af de indre organer og ikke-arbejdende muskler. Både det sympatiske og det parasympatiske nervesystem styrer altså hjertermuskulaturen og de glatte muskler i arteriolerne, men deres virkning er modsat. Aktivitet i det sympatiske nervesystem får pulsen til at stige, og blodet ledes til de aktive muskler, mens aktivitet i parasympatikusskive får pulsen til at falde, og blodet ledes til fordøjelsessystemet og andre indre organer.

bevirker igen at alveolevæggene bliver tyndere. Herved bliver oxygens diffusionsvej fra alveoleluft til blodet i lungekapillærerne kortere, og diffusionen bliver derfor hurtigere. Samtidig øges tætheden af kapillærer omkring alveolerne. Alt i alt bevirker dette at der optages mere oxygen fra den indåndede luft pr. minut. Vitalkapaciteten (se side 72) vil derimod ikke øges af betydning ved træning, og med alderen falder den endog.

For at transportere den større mængde O₂ fra lungerne ud til muskelcellerne, skal en større mængde hæmoglobin transporteres gennem kredsløbet pr. minut. Det bliver muligt ved at hjertets slagvolumen øges fordi hjertets muskler vokser og styrkes så blodet kan pumpes ud med større kraft. På samme tid øges også antallet af røde blodceller, men fordi blodvolumen også øges, stiger hæmatokritværdien ikke. En øget hæmatokritværdi ville gøre blodet mere tyktflydende og belaste hjertet og kredsløbet uhensigtsmæssigt hårdt. Den maksimale puls kan ikke øges ved

træning. Den falder derimod konstant med alderen.

En sideeffekt ved at hjertemuskulaturen styrkes og slagvolumen øges, er en lavere hvilepuls.

For at forbedre leverancerne af oxygen til den enkelte muskelcelle så meget som muligt, forøges tætheden af kapillærer i de trænede muskler. Det medfører at oxygenets diffusionsareal bliver større. Oven i alt dette vil blodtilførslen til de arbejdende muskler blive prioriteret på bekostning af tilførslen til de indre organer som fordøjelseskanalen og nyrerne.

Når blodet kommer ud til muskelcellerne, vil flere faktorer medvirke til at blodets indhold af O_2 bliver afgivet hurtigere. For det første har træningen, som nævnt ovenfor, øget mængden af kapillærer mellem muskelcellerne, og for det andet er myoglobinnmængden i den enkelte muskelcelle øget. Oxygens diffusionshastighed øges også af det forhold at pO_2 er lavere i den arbejdende muskel end i den hvilende (se side 78), mens blodets pO_2 er uforandret. Endelig har konditionstræningen også effekt på respirationsprocessen idet antallet af mitokondrier og mitokondriernes størrelse øges, og det samme vil koncentrationen af respirationsenzymmer.

Epo

Ønsker man at øge konditionen ud over det den øgning træningen giver, kan man benytte flere forskellige metoder - nogle ulovlige, andre lovlige. Blodets indhold af røde blodceller og dermed dets evne til at transportere oxygen bliver reguleret via nyrerne der

producerer hormonet erythropoietin, bedre kendt som epo. Dannelsen af røde blodceller er reguleret ved negativ feedback. Hvis blodets evne til at transportere oxygen er for lille i forhold til behovet, vil mængden af oxygen der transporteres til nyrerne, også være for lille. Dette stimulerer nyrerne til at producere mere epo der igen stimulerer knoglemarven til produktion af flere røde blodceller, så blodets hæmatokritværdi stiger. Når blodets evne til at transportere oxygen svarer til behovet, falder nyrernes epoproduktion tilbage til det normale.

Epo fremstilles kunstigt ved gensplejsning til behandling af patienter med alvorlige former for blodmangel, men det kan også bruges som ulovligt dopingmiddel.

En epokur der typisk strækker sig over adskillige uger med jævnlige indsprøjtninger, vil medføre en øget produktion af røde blodceller og en forøget hæmatokritværdi. Resultatet viser sig både som en forbedret maksimal oxygenoptagelse og en øget udholdenhed. Hvilket ofte vil være afgørende for om man vinder en konkurrence eller får en sekundær placering. Hæmatokritværdier der ligger væsentligt over det normale interval (se side 101), kan dog være farlige da blodet bliver mere tyktflydende eller viskøst, jo større procentdel de røde blodceller udgør af blodet. Den øgede viskositet belaster hjertet, giver forhøjet blodtryk og øger risikoen for blodpropper.

Samme virkning som med epo kan opnås med blodddoping der som navnet antyder, også er ulovligt. Ved blodddoping bliver idrætsudøveren tappet for ½-1 liter blod, typisk 8-12 uger før en

konkurrence. Blodet bliver delt i en blodcelledel og en plasmadel. Plasmadelen føres straks tilbage i drætsudøverens blodbane, mens blodcelledelen fryses ned til senere brug. Kroppen har erstattet de mistede røde blodceller efter et par uger. De nedfrosne blodceller tøses op og indgives igen få dage før konkurrencen eller under selve konkurrencen hvis den varer flere dage. Resultatet er som ved doping med epo en øget hæmatokritværdi med de nævnte risici. En lovlig måde at øge konditionen er den såkaldte højdetræning der er baseret på kroppens egen forøgede dannelse af epo. Metoden kaldes også 'bo højt - træn lavt' da man i virkeligheden typisk træner i under 1.000 meters højde, mens man sover og hviler i mindst 3.000 meters højde. Den lave pO_2 i 3.000 meters højde medfører en dårligere oxygenmætning af blodet. Det stimulerer via epo til dannelsen af flere røde blodceller, så hæmatokritværdien stiger. Grunden til at man ikke træner i samme højde som man sover, er at den lave pO_2 bevirker at man ikke kan træne lige så hårdt og længe som ved lavere højde. Man vil altså ikke få samme udbytte af træningen. I en variant af denne træningsmetode erstatter man 'bo højt' med 'højdehuse'. Et højdehus er et hus hvor oxygenkoncentrationen er holdt kunstigt lavt. Det er så her man opholder sig og sover når man ikke træner. Videnskabelige undersøgelser af de fysiologiske effekter af højdetræning giver dog modstridende resultater. En nyere undersøgelse viser endog at en væsentlig del af effekten er af mental karakter.

Figur 103. Effekten af træning på hjerte, kredsløb, lunger og åndedræt.

