

# Kapitel 3

## De syretransporterande organen

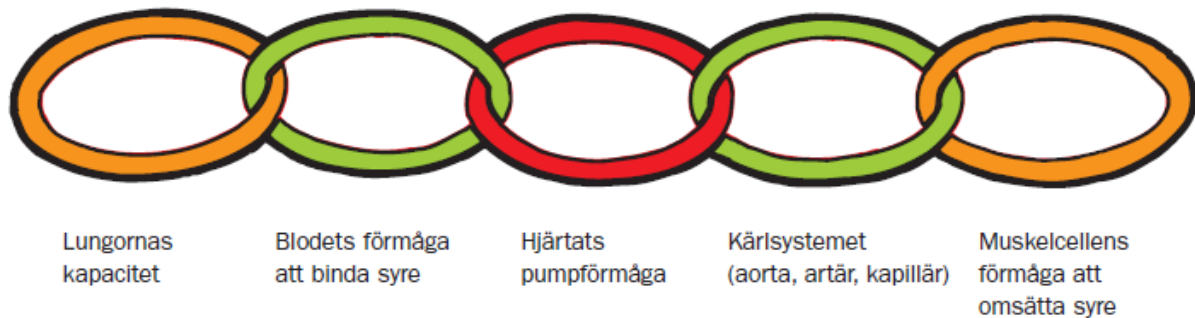
### KAPITEL 3 De syretransporterande organen

Intro.....	2
Lungor .....	2
Blod .....	4
Hjärta .....	5
Blodkärl och blodomlopp .....	9
Muskelceller .....	12
Central och lokal kapacitet .....	14

# De syretransporterande organen

Kolhydrater och en del av det fett vi äter lagras i muskulaturen. Från kroppens fettdepåer kan fettsyror transporteras till arbetande muskler, där dessa energirika födoämnen med hjälp av syre omvandlas till energi. Detta kallas ämnesomsättning.

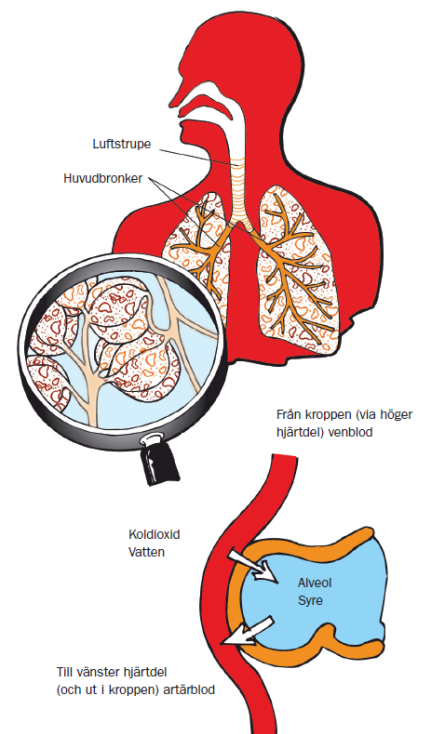
Syrets väg från lungorna via blod, hjärta och blodkärl kallas syretransport och har en avgörande betydelse för vår förmåga att frigöra energi. Detta innebär i praktiken att förmågan att klara tungt arbete under lång tid avgörs av hur mycket syre som kan levereras till musklerna per tidsenhet.



Tillgången på kolhydrater kan också vara avgörande. Betydelsefullt för muskelns förmåga till uthållighetsarbete är också muskelns aktuella träningsstatus. Effekter av uthållighetsträning är att transportsystemet ute i muskeln får fler kapillärer och att det bildas fler och större mitokondrier. Dessutom kommer de enzymer som är verksamma vid syreupptagningen och ämnesomsättningen att öka sin aktivitet. Upphör man med motionsträning kommer såväl kapillärer och mitokondrier som enzymaktiviteten att återgå till det "ursprungliga". Kroppen har alltså en fantastisk förmåga att anpassa sig till aktivitet, men tyvärr också till inaktivitet. Man kan med fog säga att kondition är en färskvara. Syrets väg från inandningsluft till muskelceller är beroende av olika funktioner som var för sig kan begränsa förmågan att transportera tillräckliga mängder syre till vävnaden, vi ska nu kika närmare på syretransportkedjans olika länkar.

## 1. Lungor

Lungorna är den första länken i syretransportkedjan. Lungorna svarar för gasutbytet mellan blodet och inandningsluften. Kroppen tar upp syre ur luften via lungorna som består av miljontals mikroskopiska blåsor, alveoler, se figur. Runt alveolernas väggar löper ett rikt förgrenat nät av tunna blodkärl, kapillärer. Genom dessa kapillärer strömmar det syrefattiga blodet (venblodet), syrgasen passerar genom väggen och bindes till blodets röda blodkroppar. Alveolerna är sammanfogade till trädliknande bronker.



Dessa bronker är via rörliknande förgreningar samlade till större enheter som i sin tur förenas i två huvudbronker med vilka luftstrupen är förbunden. Den totala yta av lungvävnad som alveolerna representerar uppgår till imponerande 70–100 m<sup>2</sup>.

Andningsmuskulaturen i mellangärdet (diafragman) och bröstkorgen åstadkommer lungornas andningsarbete.

## Lungornas funktion

- Mellan alveol och blodkärl pågår ett ständigt gasutbyte.
- Syret i inandningsluften tas upp av blodet och transporteras ut i kroppen.
- En del av det koldioxid och vatten som bildas vid energiomsättningen i muskulaturen följer med blodet tillbaka till lungorna och vädras ut med utandningsluften.

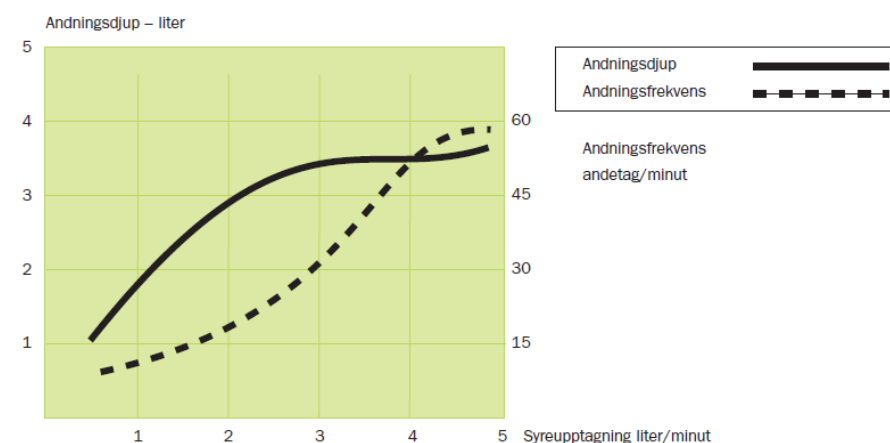
## Lungornas kapacitet

- I vila inandas en vuxen 5–8 l luft/min, vid maximala arbeten ända upp till 100–200 l luft/min.
- För att transportera 1 liter syrgas får man ventilera (andas) 20–25 liter luft.
- Inte ens vid mycket hård påfrestning utnyttjas hos friska personer lungornas maximala ventilationsförmåga helt.

## Lungornas anpassningsförmåga

Hos en vältränad person anpassas sannolikt lungventilationen och andningsdjupet snabbare till det rådande syrekravet från arbetande muskulatur. En otränad person får ofta håll efter några minuters hårt arbete. En trolig förklaring till detta är det ökade krav som ställs på andningsmuskulerna, främst mellangärdets muskler (diafragman). Om blodtillförseln är otillräcklig uppstår syrebrist och därmed smärta.

Efter ytterligare några minuter brukar denna smärta försvinna, oberoende av om man kramar en sten/pinne eller inte! Den tränade får sällan håll, vilket är tecken på en effektivare och snabbare omställning av andning och blodomlopp.



Figuren visar ex på hur andningsdjup och andningsfrekvens ökar då fysiskt arbete och därmed syreupptagning ökar. Av kurvorna framgår att då ventilationen ökar så ökar först andningsdjupet. När detta närmar sig maximal nivå ökar också andningsfrekvensen kraftigt.

## Effekten av fysisk aktivitet på lungorna

### Kortsiktiga effekter

I samband med fysisk aktivitet ökar först andningsdjupet och sedan andningsfrekvensen.

### Långsiktiga effekter:

Fysisk aktivitet stärker andningsmuskulaturen och därmed förbättras effektiviteten av andningen. Regelbunden konditionsträning leder generellt dock inte till ökning av lungvolymen. Observera att även om en person har stor lungvolym, behöver det inte innebära att man har hög syreupptagningsförmåga. Lungorna utgör sannolikt ingen begränsning för den maximala syreupptagningsförmågan.

## 2. Blod

Blodets förmåga att binda och transportera syre utgör den andra länken i syretransportkedjan. Den totala blodvolymen är 4–4,5 liter hos kvinnor och 5–6 liter hos män. Blodet består till ca 60 % av plasma (vävnadsvätska) och till 40 % av blodkroppar.

### Blodets funktion

- transportera syrgas, näringsämnen och hormoner till muskler och andra organ
- transportera koldioxid och vatten samt ev mjölksyra från musklerna
- reglera temperaturen genom att föra värmen ut mot huden

### Blodets kapacitet – blodkroppar

Det finns tre typer av celler i plasman: röda blodkroppar (ca 99%), vita blodkroppar och blodplättar. De röda blodkropparna innehåller det järnhaltiga äggviteämnet hemoglobin, som binder syre. Vi har ca 5 miljoner röda blodplättar per mm<sup>3</sup> blod. Blodets totala syrekapacitet bestäms både av antalet röda blodkroppar per liter blod och den totala blodmängden.

### Blodets kapacitet – blodvärde

Blodets förmåga att binda syre är alltså beroende av hemoglobinhalten (Hb-halten). Normalvärden för kvinnor är 120–155 gram/liter blod och för män 130–170 gram. En låg Hb-halt (järnbrist) minskar den syrevolym som finns i varje liter blod och försämrar förmågan att transportera syre.

Kvinnans lägre Hb-värden är en förklaring till lägre maximal syreupptagning. Kvinnor med kraftig menstruation kan därför variera i prestationsförmåga.

Rökning minskar blodets kapacitet att transportera syre då kolmonoxiden i tobaksröken binds till de röda blodkropparna lättare än syret. Om en blodkropp redan är "upptagen" av kolmonoxid kan den inte binda syret till sig. Hos en person som röker ca ett paket/dag är ungefär var femte röd blodkropp blockerad av kolmonoxid. För att kompensera bortfallet av användbara blodkroppar tycks kroppen producera fler blodkroppar, vilket kan vara en förklaring till att rökare ofta har höga hemoglobinvärden, som då tar extra plats i blodkärlen.

Väldigt höga Hb-värden medför en ökad viskositet, det vill säga tröghet i blodet, med en ökad risk för proppbildning i de minsta blodkärlen och extra belastning på hjärtat. Förmodligen hittar vi här en koppling mellan rökning och den ökade risken för hjärt-kärlsjukdomar.

## Effekter av fysisk aktivitet på blodet

### Kortsiktiga effekter

I samband med fysiskt arbete sväller de arbetande musklerna upp något, vilket gör att mängden vätska i blodet tillfälligt minskar. Detta medför att Hb-värdet temporärt ökar med 5–15 %.

### Långsiktiga effekter:

Regelbunden konditionsträning medför en påtaglig ökning av plasma och en liten ökning av antalet röda blodkroppar, vilket tillsammans ökar blodvolymen med 10–15 % eller mer. Hb-värdet sjunker då på grund av ökad "utspädning". Observera dock att den totala mängden röda blodkroppar ökar.

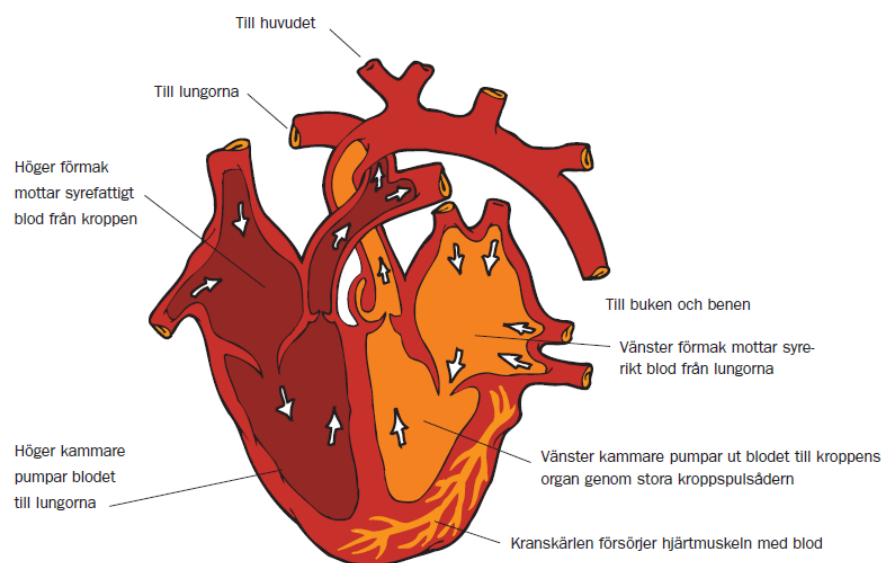
## 3. Hjärta

Hjärtats förmåga att pumpa det syresatta blodet till de arbetande musklerna utgör den tredje länken i syretransportkedjan.

### Hjärtats byggnad

Hjärtat med sina fyra hålrum består av en speciell muskelvävnad, som liknar den tvärstrimmiga skelettmuskulaturen, men som inte kan styras viljemässigt. Hjärtat har dessutom ett klaffsystem, som svarar för att blodet strömmar i rätt riktning. Hjärtat är ungefär så stort som ägarens knutna hand och väger cirka 300 gram på en vuxen normalstor person.

- Höger förmak tar emot kroppens venösa (syrefattiga) blod.
- Höger kammare pumpar blodet via lungpulsådern till lungorna.
- Vänster förmak tar emot det syresatta blodet via de fyra lungvenerna.
- Vänster kammare pumpar ut blodet i stora kroppspulsådern (aorta).



## Hjärtats funktion

Hjärtat är en muskel som genom sammandragningar (kontraktioner) pressar ut blod i kärlsystemet och fungerar som pump i cirkulationsapparaten.

- Högra hjärthalva tar emot syrefattigt (venöst) blod från kroppens vävnader och pumpar det till lungorna för att lämna av koldioxid och vatten (-ånga) samt för ny syresättning (lilla kretsloppet).
- Vänster hjärthalva tar emot syresatt blod från lungorna och pumpar ut det till kroppens olika vävnader (stora kretsloppet).
- Höger och vänster hjärthalva pumpar samma volym blod per minut.

## Hjärtats pumpförmåga

Hjärtats pumpförmåga (kapacitet) kan uttryckas som minutvolym, liter blod/min och bestäms av hjärtfrekvens (puls) och slagvolymen (ml blod/sammandragning) enligt följande:

$$\text{Minutvolym} = \text{slagvolym} \times \text{hjärtfrekvens}$$

I vila pumpar hjärtat cirka 5 liter blod/min. Vid maximalt arbete hos vältränade idrottare kan minutvolymen nå värden över 40 liter blod/min, vilket ungefär motsvarar vad en fullt öppen vattenkran till ett badkar ger per minut. En person med måttlig kondition har en maximal minutvolym på 20–25 liter.

Minutvolymen ökar genom att både slagvolym och hjärtfrekvens ökar. I början av ett arbete är det framförallt slagvolymen som ökar. Slagvolymen når nästan maximala värden redan vid cirka 50 % av maximal syreupptagning. Om intensiteten höjs ytterligare beror den ökade slagvolymen nästan uteslutande på ökad hjärtfrekvens.

***En persons puls vid ca 50 % av maximal syreupptagning kan därför användas som utgångspunkt för beräkning av individens fysiska arbetsförmåga (maximal syreupptagning), vilket är en viktig förutsättning för HPI Konditionstest.***

## Hjärtats arbete

Att mäta slagvolymen kräver avancerad utrustning. I figuren nedan visas ett exempel på hur hjärtat arbetar för att nå en viss minutvolym vid olika arbeten.

### Hjärtats kapacitet i vila

Puls = 70 slag/minut

Slagvolym = 70 ml

Hjärtminutvolym = 4,9 liter/minut

Syreupptagning = 0,25 liter/minut



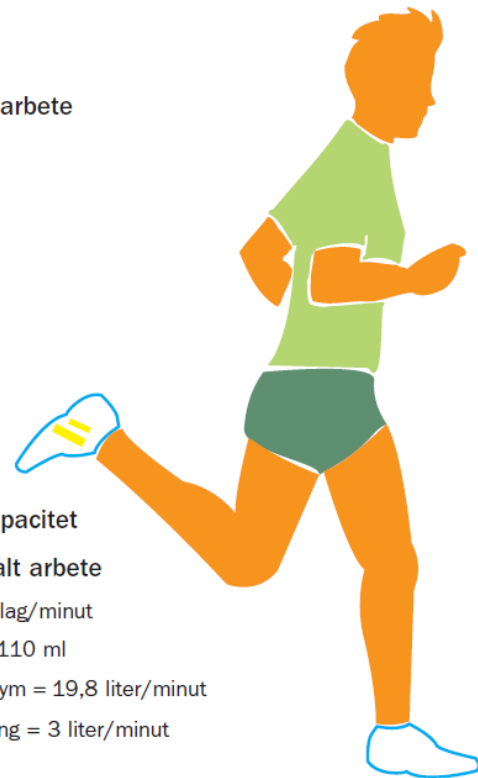
### Hjärtats kapacitet vid måttligt arbete

Puls = 120 slag/minut

Slagvolym = 110 ml

Hjärtminutvolym = 13,2 liter/minut

Syreupptagning = 1,5 liter/minut



### Hjärtats kapacitet

#### vid maximalt arbete

Puls = 180 slag/minut

Slagvolym = 110 ml

Hjärtminutvolym = 19,8 liter/minut

Syreupptagning = 3 liter/minut

Att ligga och vila kräver en syreupptagning på 0,25 l/min. För att tillgodose det behovet krävs det för deltagaren i vårt ex slagvolym 4,9 l/min. Detta uppnås med puls 70 slag/min och slagvolym 70 ml.

Måttligt arbete kräver en syreupptagning på 1,5 l/min. För att tillgodose det behovet har kravet på slagvolym ökat till 13,2 l/min. Detta uppnås med puls 120 slag/min och slagvolym 110 ml.

Vid maximalt arbete krävs en syreupptagning på 3,0 l/min. För att tillgodose det behovet har kravet på slagvolym nu ökat till 19,8 l/min. Detta uppnås med ytterligare pulsökning till 180 slag/min. Slagvolym är dock oförändrad 110 ml.

**Observera att slagvolymen nådde sin maximala nivå redan vid det måttliga arbetet. Att minutvolymen kan öka från 13,2 till 19,8 l/min beror alltså helt på hjärtfrekvensökningen!**

***Eftersom konditionsträning påverkar hjärtat så att slagvolymen ökar innebär detta att hjärtat inte behöver slå lika ofta för att pumpa ut en given blodvolym. Detta ses då som en pulssänkning både vid ett givet fysiskt arbete och i vila.***

## Vilopuls

De flesta människor har en puls i vila på 60–70 slag per minut. Hos mycket vältränade elitidrottare i uthållighetsgrenar, exempelvis cykel, längdskidåkning, löpning och rodd, är det inte ovanligt med 35–40 slag per minut i vilopuls. För att få ett bra och standardiserat mått på vilopulsen bör den tas på morgonen då man fortfarande ligger kvar i sängen. Gör bestämningen under minst 30 sekunder. Gör gärna två mätningar och kontrollera att de blir lika.

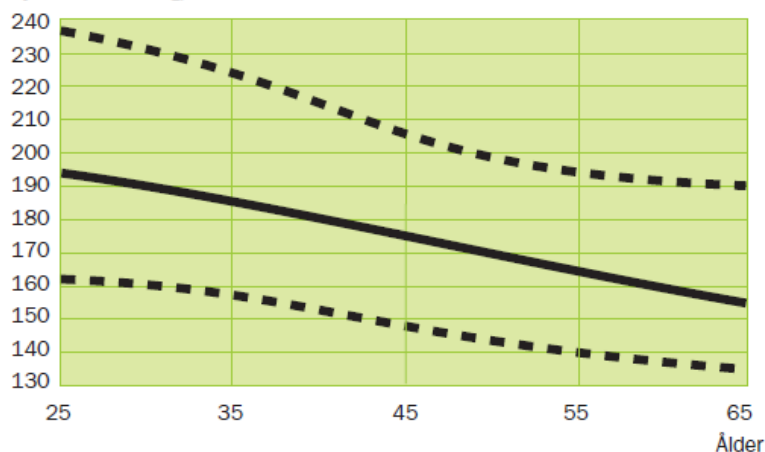
Pulsen känner man vid artären på tumsidan av handloven eller vid halsartären. Lägg toppen av pekfingeret och långfingeret med ett lätt tryck över kärlet. Det är tryckvågen från hjärtats utpumpning som fortplantas längs kärlväggen. Träna ofta på dig själv. Var klar över att blodkärlen inte finns på exakt samma ställe hos alla människor. Hos överviktiga kan det ibland vara svårt att känna pulsen. Genom att följa vilopulsen under en träningsperiod kan man se förbättringen som sänkt vilopuls. Förhöjd vilopuls kan vara ett första tecken på att en infektion är på gång eller att man är på väg att bli övertränad. Den som tränar hårt bör regelbundet följa sin egen vilopuls. Vilopulsen kommer att stiga under de perioder då träningen minskas eller upphör. Detta är återigen ett uttryck för hur kroppen anpassar sig till de fysiska kraven.

## Maxpuls

Det är inte bara vilopulsen som är olika för olika människor, även maxpuls varierar. Det som främst påverkar maxpuls – till skillnad från vilopuls – är ärftliga faktorer. För att mäta maxpuls krävs ett mycket tufft test som leder till utmattning. En testmetod för att bestämma maxpuls är att genomföra ett hårt löppass på 4–5 minuter (800–1 200 meter) gärna i svag uppförsbacke. Farten ska successivt ökas och man springer tills man "stupar". Endast helt friska, mycket välmotiverade och vältränade klarar detta. Ordentlig uppvärmning är en förutsättning.

En annan metod är att utgå från ett submaximalt test på cykelergometer. Effekten ökas därefter successivt varje minut till dess att man inte orkar mer. Maxpuls blir något olika beroende på om man springer, cyklar eller simmar. Man bör därför göra mätningen i den idrott man bedriver.

Hjärtfrekvens slag/minut





Maxpuls kan beräknas med formeln 220 minus åldern, med utgångspunkt att maxpuls generellt sjunker med cirka ett slag per år. Observera dock att den individuella variationen är mycket stor!

***Det som karakteriserar ett vältränat hjärta är alltså inte hög maxpuls, utan den stora förmågan att pumpa ut blod vid varje hjärtslag. Hjärtats pumpförmåga är en faktor som begränsar prestationsförmågan. Hjärtat utgör sannolikt den mottagligaste länken för träning i syretransportkedjan.***

## Effekten av fysisk aktivitet på hjärtat

### Kortsiktiga effekter

I samband med fysiskt arbete ökar både hjärtfrekvensen och hjärtats slagvolym, vilket sammantaget ökar hjärtats minutvolym, det vill säga mängden blod i liter per minut.

### Långsiktiga effekter

Fysisk inaktivitet försämrar snabbt hjärtats pumpkapacitet. En studie visar att vila (sängläge) i tre veckor ger en förödande försämring på hjärtats muskelkraft, det vill säga slagvolym. Ett standardarbete på cykelergometer krävde 120 slag per minut före viloperioden och var då lätt att utföra. Samma arbete krävde efter sängläge 170 slag per minut.

Regelbunden motion ökar i stället hjärtats slagvolym, vilket ökar hjärtats maximala minutvolym och sänker pulsen i vila. Den maximala hjärtfrekvensen blir dock oförändrad eller kan till och med sänkas något med hård träning.

I fysiologiska undersökningar har man kunnat konstatera att hjärtmuskeln växer i storlek i samband med träning. Hjärtats inre volym ökar mer än dess vägg tjocklek, vilket ändå sammantaget innebär en ökad hjärtmuskelmassa, främst orsakat av att de enskilda hjärtmuskelcellerna ökat i storlek. Ett större hjärta har förutsättningar att pumpa ut mer blod. Visserligen kan patienter med "dåligt" hjärta också ha stor hjärtvolym men ändå liten slagvolym. Hjärtmuskeln kontraktionskraft kan då vara försämrad.

Hos vuxna sker inte samma påtagliga tillväxt av hjärtat vid träning som hos yngre. Även om hjärtats storleksökning inte blir så stor, kan hjärtats slagvolym ändå öka genom att hjärtats muskulatur blir starkare och därmed pumparbetet effektivare. Ett starkare hjärta kan vid varje kontraktion mer effektivt tömma hjärtat på blod.

Även hos människor i hög ålder har man kunnat konstatera ökad slagvolym som en effekt av träning.

Storleken på hjärtats kranskärl ökar, vilket minskar risken för blodproppar i hjärtat.

Konditionsträning leder också både till nybildning av kranskärl och en ökning av blodflödet i hjärtats kranskärl genom att förbättra kärlens elasticitet.

Den lägre hjärtfrekvensen minskar syrebehovet i hjärtmuskeln vid submaximala belastningar och minskar därmed risken för syrebrist och kärllkramp (angina pectoris).

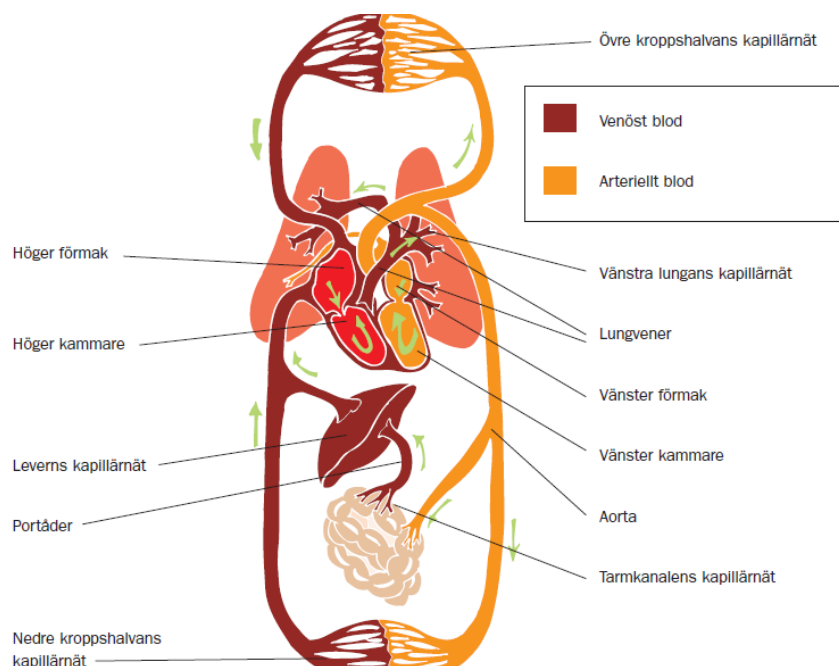
Det tränade hjärtat klarar bättre eventuella störningar i hjärtrytmen.

## 4. Blodkärl och blodomlopp

Syretransportkedjans fjärde länk är blodkärlen och blodomloppet. Det finns två olika typer av blodkärl:

- Artär – kärl som leder blod från hjärtat, blodet pumpas ut stötvis.
- Ven – kärl som leder blod till hjärtat, blodet flyter i jämn fart.

Hjärtats vänstra kammare pumpar stötvis ut det syresatta blodet genom artärerna till kroppens alla organ (se figur). Man talar om arteriellt blod. När blodet lämnat ifrån sig syret i de olika organen rinner det tillbaka till hjärtat genom venerna. Det syrefattiga blodet kallas venöst blod och är betydligt mörkare än det syresatta. Förutom att hjärtat driver blodet i rätt riktning, bidrar också musklerna genom sitt arbete att pumpa blodet vidare, den så kallade venpumpen.



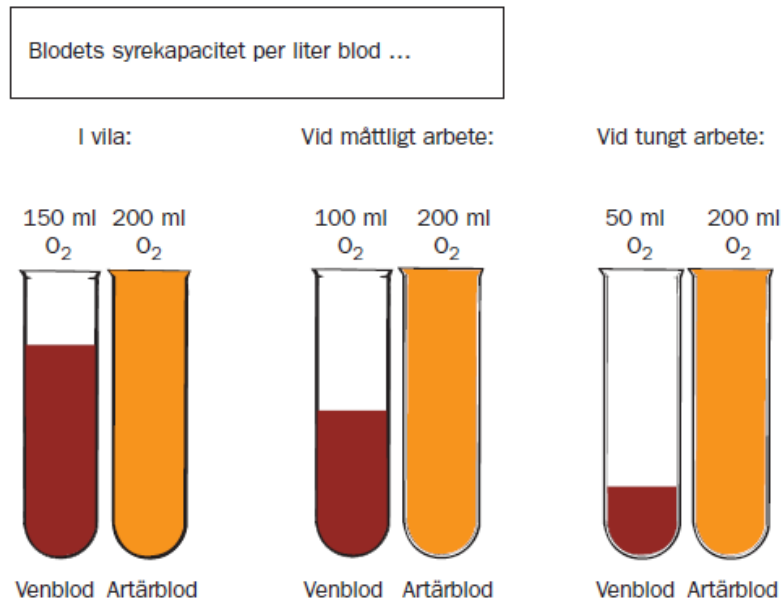
Venklaffar förhindrar blodet att strömma tillbaka. I det lilla kretsloppet, det vill säga från hjärtats högra kammare och till lungorna samt åter, är förhållandet dock det omvända. Här är det syrefattigt blod som pumpas från hjärtat för att syresättas i lungorna och syrerikt blod som återvänder till hjärtat. Artärerna är uppbyggda något olika beroende på var de finns:

- De stora kärlen närmast hjärtat har elastiska väggar för att effektivt kunna vidarebefordra tryckvågen.
- Längre bort från hjärtat är artärerna omgivna av en "korsett" av glatta muskelceller som effektivt kan variera diametern och därmed blodgenomströmningen.

Artärerna förgrenar sig i mindre blodkärl som kallas arterioler. Dessa delar slutligen upp sig i ett nät av mycket tunna blodkärl – kapillärer. De minsta kapillärerna är inte bredare än ett hårstrå. Kapillärernas väggar är så tunna och deras samlade yta så stor, att ett effektivt utbyte av gaser och näringsämnen sker. Eftersom kapillärernas totala tvärsnitt är cirka 800 gånger större än aortas tvärsnitt medför det att blodgenomströmningen i kapillärerna blir långsam. I aorta är blodets hastighet i vila cirka 0,5 m/s mot cirka 0,5 m/s i kapillärerna. Detta innebär att gas- och

näringsutbytet mellan blod och vävnad hinns med, trots att längden på kapillärerna bara är några millimeter.

Det blod som vänster kammare pumpar ut i kroppspulsådern är under normala förhållanden nästan mättat med syre. I vila, då energikravet är lågt, kommer endast en mindre del av syret i blodet att tas i anspråk av cellerna. Inte ens vid maximalt arbete används allt syre i blodet, utan det finns alltid syre kvar när det venösa blodet återvänder till hjärtat. Skillnaden mellan artär- och venblodets syreinhåll kallar man arteriovenös syrgas-differens (AV-differens).



## Blodtryck

Blodtryck är det cirkulerande blodets tryck mot kärlväggarna. När hjärtat är i sin arbetsfas (dras samman och pumpar ut blod) uppstår det systoliska, övre blodtrycket. Det undre, diastoliska trycket, är blodtrycket vid hjärtats utvidgning. Blodtrycket mäts i millimeter kvicksilver (mmHg).

Enligt SBU-rapporten *Måttligt förhöjt blodtryck* från 2004 och 2007 är gränserna för förhöjd blodtrycksnivån 140/90. Med dessa gränser som utgångspunkt har 27 % av svenskarna i åldrarna över 20 år högt blodtryck, det som kallas hypertoni. Andelen med högt blodtryck i åldrarna över 50 år är betydligt högre. I samma SBU-rapport går att läsa att av de patienter som fått diagnosen högt blodtryck och som fått mediciner för att sänka blodtrycket är det endast 20–30 % som når behandlingsmålet under 140/90. "Livsstilsåtgärder (fysisk aktivitet, viktnedgång, kostförändring, stresshantering, rökstopp och minskning av högt alkoholintag) kan minska behovet av behandling med läkemedel och ska vara basen i omhändertagandet av personer med högt blodtryck."

Att diskutera blodtryck och mediciner i samband med ett konditionstest är inte lämpligt för den som saknar medicinsk grundutbildning, däremot kan du alltid rekommendera livsstilsförändringar.

## Blodfetter

Blodfetter avser de fetter som finns i blodet. Blodfetterna är nödvändiga för att bygga upp kroppens celler och för att tillverka vissa hormoner. De är också en viktig del av kroppens energiförråd. Det finns tre olika sorters blodfetter:

- LDL-kolesterol, (Low Density Lipoprotein) transporterar kolesterol från levern ut till vävnaderna. det "onda" kolesterolet – ökar risken för åderförfattning genom att fastna på insidan av blodkärlen.
- HDL-kolesterol, (High Density Lipoprotein) transporterar kolesterol till levern. Det "goda" kolesterolet – minskar risken genom att ta med sig överflödigt kolesterol från kroppen till levern där det bryts ned.
- Triglycerider, fungerar som energikälla i kroppen. Huvuddelen av fett i maten och de vanligaste matfetterna och matolja utgörs av triglycerider.

Den största mängden kolesterol bildas i kroppen och är ett nödvändigt ämne för olika funktioner och cellstrukturer i kroppen. Endast en mindre del av "för högt" kolesterol beror enbart på felaktiga matvanor. Ett högt kolesterolvärde är snarare en samlad effekt av fysisk inaktivitet, stress och högt fettintag. Höga blodfetter kan på sikt bidra till åderförfattning i blodkärl, vilket i sin tur ökar risken för hjärt-kärlsjukdomar.

## Effekten av fysisk aktivitet på blodkärl och blodomlopp

### Kortsiktiga effekter

Den totala blodcirkulationen ökar markant och artärerna vidgas för att underlätta det ökade blodflödet.

Aktiviteten ökar i det sympatiska, det vill säga det pådrivande, nervsystemet, samtidigt som aktiviteten i det parasympatiska, det vill säga bromsande, nervsystemet minskar. Detta leder till en kärlsammandragning och därmed en kraftig ökning av blodtrycket, vid maximal ansträngning kan blodtrycket nå nivåer högre än 200 mmHg för det systoliska (högre) blodtrycket.

### Långsiktiga effekter:

Regelbunden fysisk aktivitet resulterar i:

- bildandet av fler blodkärl, även i hjärtats egna kranskärl, som förbättrar syreförsörjningen och minskar risken för hjärt-kärlsjukdomar
- en ökning av kapaciteten att omsätta fett både under lättare och måttligt tungt arbete och i vila
- en sänkning av det "onda" kolesterolet, LDL och en ökning av det "goda" kolesterolet, HDL
- en normalisering av blodtrycket hos personer med måttligt förhöjt blodtryck

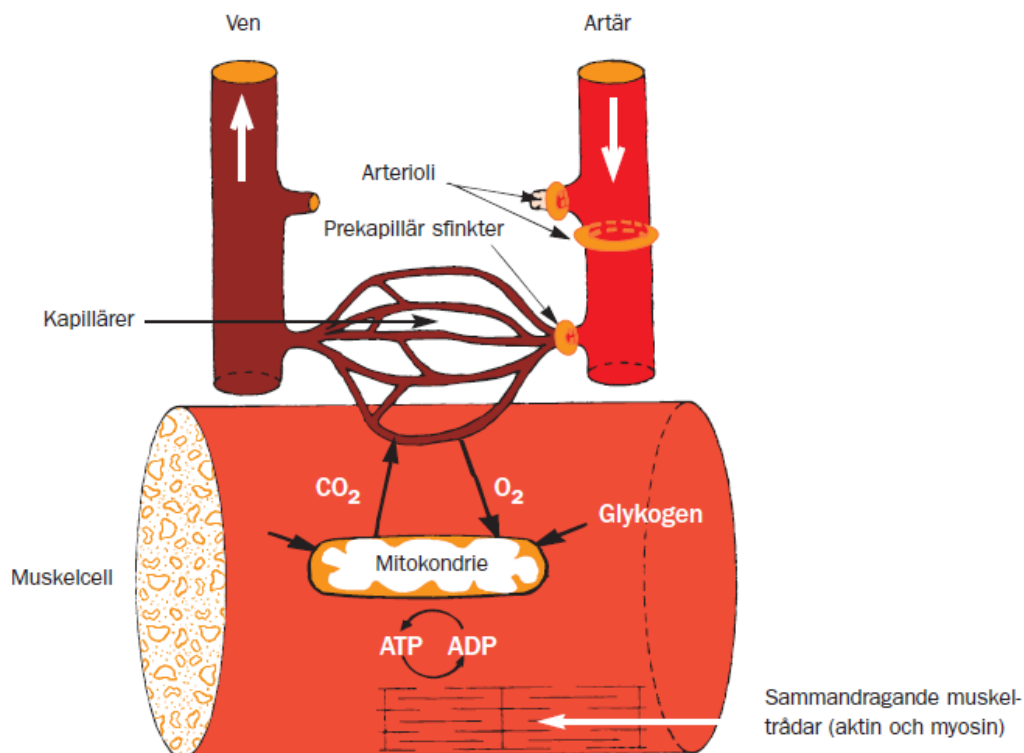
## 5. Muskelceller

Syretransportkedjans femte och sista länk är "mottagarstationen" – den enskilda muskelcellen. Den del i muskelcellen som från kolhydrater (glykogen) och fett i närvaro av syre producerar den energi som behövs vid muskelarbete (förbränning) kallas mitokondrier. Med en speciell metodik baserad på muskelprov direkt i muskelvävnaden, så kallade biopsier, kan muskelfibersammansättning, kapillärtäthet, mitokondrievolym och enzymsystem bestämmas.

## Muskelcellen – blodflöde och funktion

Kroppspulsådern delar upp sig i allt fler grenar, artärer. Blodet styrs till de organ som för tillfället har störst behov av syre. Under fysiskt arbete är det musklerna. Hjärna och nervsystem kräver dock alltid en liten mängd syre. Artärerna förgrenar sig till mindre och mindre kärl. De minsta blodkärlen, kapillärerna, omger själva muskelcellen. Syret lämnar här den röda blodkroppen och passerar (diffunderar) in i muskelcellen. Ett ämne, myoglobin (närbesläktat med hemoglobin), har en väsentlig uppgift i denna transport in till syrets slutstation, mitokondrien. Avståndet mellan kapillär och mitokondrie är till viss del avgörande för transporthastigheten.

I mitokondrien förbränns glykogen (socker) och fett med hjälp av syre så att energi kan frigöras. Mitokondrien kan sägas vara muskelns kraft- och värmeverk. Förutom energi och värme bildas koldioxid och vatten, som transporteras med blodet till lungorna där de ventileras ut. Från muskeln leder fina kärl ut det nu syrefattiga, mörkröda blodet. Det flyter fram tämligen lugnt. I sådana blodkärl, vener, känns inte pulsslagen. Blodtrycket är klart lägre än i artärerna. Venerna samlas till allt grövre kärl, som för blodet åter till hjärtat. Härifrån pumpas det ut i lilla kretsloppet där ny syresättning sker i lungorna och blodomloppet är fullbordat. En röd blodkropp kan cirkulera runt i kroppen på mindre än 20 sekunder.



Figuren visar en förenklad beskrivning av de kärl och regleringsmekanismer som styr syrets väg från de stora kroppsartärerna till muskelcellernas mitokondrier (efter P G Schantz). Pilarna anger blodets riktning. Kapillärerna omger muskelfibern. Syre och näring transporteras in till mitokondrien genom kärlväggen. Kolhydrat lagras i muskeln som glykogen.

Optimal tillgång till syre är en förutsättning för mitokondriens arbete. Allt syre som transporteras till muskeln kommer dock inte att nå mitokondrien. Det kan bero på låg aktivitet i myoglobin, att kapillärnätet inte är tillräckligt utbyggt eller att blodets flödes hastighet är för hög. Det innebär även att blodet i venerna innehåller en viss syremängd, dock alltid mindre än i artärerna. Ju större skillnad på syreinnehållet i artär respektive ven, det vill säga AV-differensen, desto mer syre har tagits upp.

## Effekten av fysisk aktivitet på muskelcellen

### Långsiktiga effekter:

Uthållighetsträning i måttligt tempo kan med tiden flerdubbla antalet kapillärer, vilket innebär att mitokondrien kan erbjudas mer syre och att tillgången till syre under hårt arbete blir bättre.

Uthållighetsträning gör också att fler mitokondrier bildas, vilket ytterligare förbättrar möjligheten att effektivare utnyttja syret i muskelcellerna.

## Central–lokal kapacitet

Hjärtat har en central funktion i syretransporten. Hjärtats pumpförmåga tillsammans med lungornas kapacitet och blodets syrebindande förmåga kallas den centrala kapaciteten. Att bygga upp den centrala kapaciteten till höga värden tar många år. På motionsnivå räcker det med lugnare distanssträning, medan det på elitnivå krävs olika former av intensiv träning.

***Har man väl byggt upp en hög central kapacitet kan man göra enstaka avbrott eller tillåta sig perioder med minskad träning utan att kapaciteten nämnvärt minskar.***

Den lokala kapaciteten är direkt kopplad till den rörelse som utförts. Musklerna tar emot det syre som erbjuds via blodbanan och kapillärerna. Beroende på muskelns träningsstillstånd varierar denna lokala kapacitet (perifer). Som nämnts ökar omfattande träning antalet kapillärer, mitokondrier och enzymaktivitet. Intensitet och mängd i träningen är väsentligt för hur muskelns kapacitet påverkas. Stillasittande eller inaktivitet vid sjukdom samt skada får muskelns kapacitet att på tämligen kort tid (1–3 veckor) förlora den upptränade effekten.

T ex kan en löpare förbättra och underhålla sin centrala kapacitet genom både löpning, cykling, längdåkning mm. Hjärtat stimuleras att jobba när tillräckligt stora muskelgrupper kräver syre. Däremot kommer den lokala kapaciteten att till stora delar gå förlorad under vintern om inga löppass genomförs, då man får en lokal anpassning i musklerna till den aktivitet man bedriver. Även risken för skador i form av muskelbristningar och seninflammationer blir större när löpträningen väl återupptas.

Har man hög ambitionsnivå i någon gren bör man träna den året runt för att inte förlora den lokala kapaciteten. Däremot kan korta uppehåll då man prövar andra idrotter bara vara stimulerande och ge trötta muskelfibrer möjlighet till återhämtning och läkning. Alltför intensiv och långvarig träning då syretransporten till arbetande muskler är otillräcklig kan hämma mitokondrietillväxten eller till och med göra mitokondrierna mer eller mindre funktionsodugliga.