

# Hjertets anatomi & fysiologi

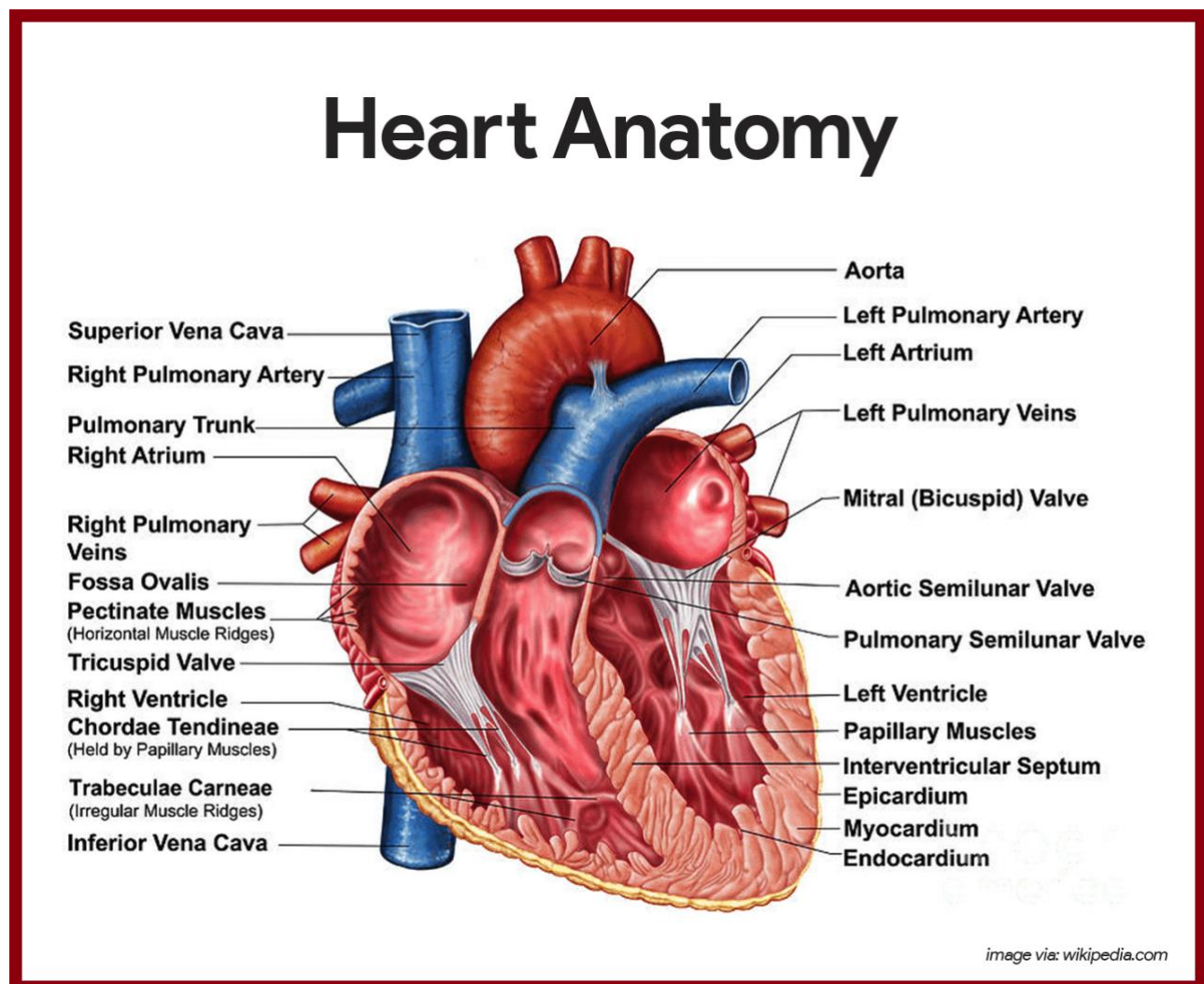
---

Asma Bashir, læge  
[www.asmabashir.com](http://www.asmabashir.com)

## MAKROSKOPISK ANATOMI

### HJERTET – LOKALISATION

- Placeret ca. midt i brystkassen, thorax, en lille smule til venstre for midtlinjen.
- Lejret på oversiden af mellemgulvet, diaphragma, bag de nederste 2/3-dele af brystbenet, sternum.
- Adskilt fra denne af thymus forfra, pleurahinden og lungerne på højre og venstre side.
- Bagsiden, basis cordis, der består af atrierne, er adskilt fra hvirvelsøjlen of oesophagus og aorta thoracica.
- Udgør en væsentlig del af midtervæggen i thorax, mediastinum medius.



### HJERTET – TOPOGRAFI

- Måler ca. 12 x 9 x 6 cm
- Vejer ca. 300-350 gram hos mand og lidt mindre hos kvinden.
- Består af et højre og venstre atrium og en højre og venstre ventrikel.

- Det venøse blod føres af vena cava superior, vena cava inferior og sinus coronarius til højre atrium, hvorfra det fortsætter over i højre ventrikel.
- Blodet pumpes igennem lungearterierne, truncus pulmonalis, til lungerne, hvor det iltes og afgiver CO<sub>2</sub>.
- Blodet løber tilbage til venstre atrium via 2 højre og 2 venstre lungevener, vena pulmonales.
- Fra venstre atriet fortsætter blodet over i venstre ventrikel, der pumper blodet i aorta.

### **HJERTET – ANNULUS FIBROSUS**

- Et fibrøst skelet bestående af bindevævsplade.
- Atriemuskulaturen er forankret på oversiden af bindevævsplade og ventrikelmuskulaturen på undersiden.
- Basis for denne bindevævsplade er der 4 bindevævsringe, som er forbundet med hinanden og samlet danner annulus fibrosus.
- 2 af bindevævsringene udgør åbningerne mellem atriene og ventriklerne, anuli fibrosi. De 2 andre ringe danner åbninger mellem hhv. højre ventrikel og lungearterien, og venstre ventrikel og aorta.

### **HJERTET - KAMRENE**

- Atrier – 2 kamre på oversiden af bindevævspladen.
  - Højre og venstre atrium er adskilt af septum interatriale.
    - I midten af septum interatriale ses en store oval fordybning, fossa ovalis, der er afgrænset af limbus fossae ovalis.
    - I fostertilstanden var der en stor åbning, foramen ovale, som ledte placentas iltede blod fra højre atrium til venstre atrium, det vil sige udenom lungerne.
  - Højre atrium ligger fortil og til højre.
    - Er delt i 2 dele af en vertikal fure, sulcus terminalis cordis, der adskiller det glatvæggede afsnit, sinus venarum cavarum, fra det egentlige atrium, atrium proprium, der har et muskelrelief, mm. pectinati. Denne deling er indikeret af crista terminalis.
    - Modtager det venøse blod fra kroppen igennem ostium venae cavae superioris et inferioris. Vena cava inferior er forsynet med en rudimentær halvmåneformet klap, valvula venae cavae inferioris, mens vena cava superior ikke er forsynet med klapper.
    - Modtager også det venøse blod fra selve hjertets vener igennem sinus coronarius. Her er åbningen forsynet med en klap, valvula sinus coronarii.
    - Pumper blodet videre til lungerne gennem lungepulsåren, truncus pulmonalis, med henblik på udskillelse af CO<sub>2</sub> og optagelse af O<sub>2</sub> i lungerne.
  - Venstre atrium ligger bagtil og til venstre.
    - I atriet findes indmundinger af de 4 vv. pulmonales, ostia venarum pulmonalium, der ligger bagtil i hver sit hjørne som cirkulære åbninger. Ej forsynet med klapper. Ingen fure i modsætning til det højre atrium.
    - Modtager iltede blod fra lungekredsløbet og leder videre til venstre ventrikel.

- Ventrikler – 2 kamre på undersiden af bindevævspladen.
  - Højre og venstre ventrikel er adskilt af septum interventriculare der består af 2 dele:
    - Pars membranacea – en mindre del på ca. 1,5-2 mm i tykkelse.
    - Pars muscularis – en længere del på ca. 0,5-1 cm i tykkelse.
  - Højre ventrikel
    - Formet som et bøjet rør med indløbsdelen hvor atriet munder ind.
    - Indeholder 3 papillærmuskler, m. papillares anterior, posterior et septalis. De sidste 2 delt i mindre dele. Papillærmusklerne er kegleformet med tilhæftet basis og en fri del, der prominere ud i lumen. Fra dens spids afgår flere tynde, forgrenede senestrange, chordae tendineae, som hæfter i randen og på undersiden af atrioventrikulærklapperne (AV-klapperne).
    - Udløbsdelen er det glatvægget conus arteriosus, der ender i pulmonalostiet.
    - Ind- og udløbsdelen er forbundet gennem en oval åbning, som opadtil begrænset af en muskelkam, crista supraventricularis, og nedadtil af et muskelbundet, trabecula septomarginalis, også kaldet moderatorbåndet, der forbinder septum interventriculare med den forreste papillærmuskel.
  - Venstre ventrikel
    - Arbejder med et langt større uddrivningstryk end højre ventrikel, derfor tykkere musklen.
    - Indeholder 2 papillærmuskler, m. papillares anterior et posterior.
  - Trabeculae carneae – findes på de indvendige flader og krydser hinanden under forskellige vinkler.
- Funktion:
  - Atrier – et opsamlingsreservoir for de tilførende vener fra kroppen og lunger.
  - Ventrikler – en kraftfuld pumpe, der arbejder i 2 faser:
    - En sammentrækningsfase kaldet systolen hvor blodet pumpes ud i arterierne
    - En afslapningsfase kaldet diastolen hvor blodet strømmer ind fra det tilhørende atrium.

### **HJERTET – PERICARDIUM**

- Pericardium – hjertehinden/sækken. En fibrøs sæk rundt om hjertet og kar. Består af 2 komponenter:
  - Et ydre fibrøs pericardium
    - Definerer grænsen til mediastinum medius.
    - Vigtig for at begrænse hjertets volumen og dermed hindre en alt for stærk strækning af hjertemuskulaturen.
    - Fortsætter ved overgangen til karrene som lamina adventitia.
  - Et indre serøs pericardium – kan yderligere inddeles i 2 lag:
    - Det parietal lag, lamina parietalis – det ydre lag der er i berøringen med det fibrøse pericardium.

- Det viscerale lag, lamina visceralis – kaldes også epicardium. Det indre lag der beklæder selve hjertet.
- Cavitas pericardialis – et spalterum mellem de 2 ovenævnte lag, som rummer ca. 10-15 ml serøs væske, liquor pericardii, til at fugte fladerne og nedsætte friktionen mellem dem.

### **HJERTETS VÆG OG INDRE**

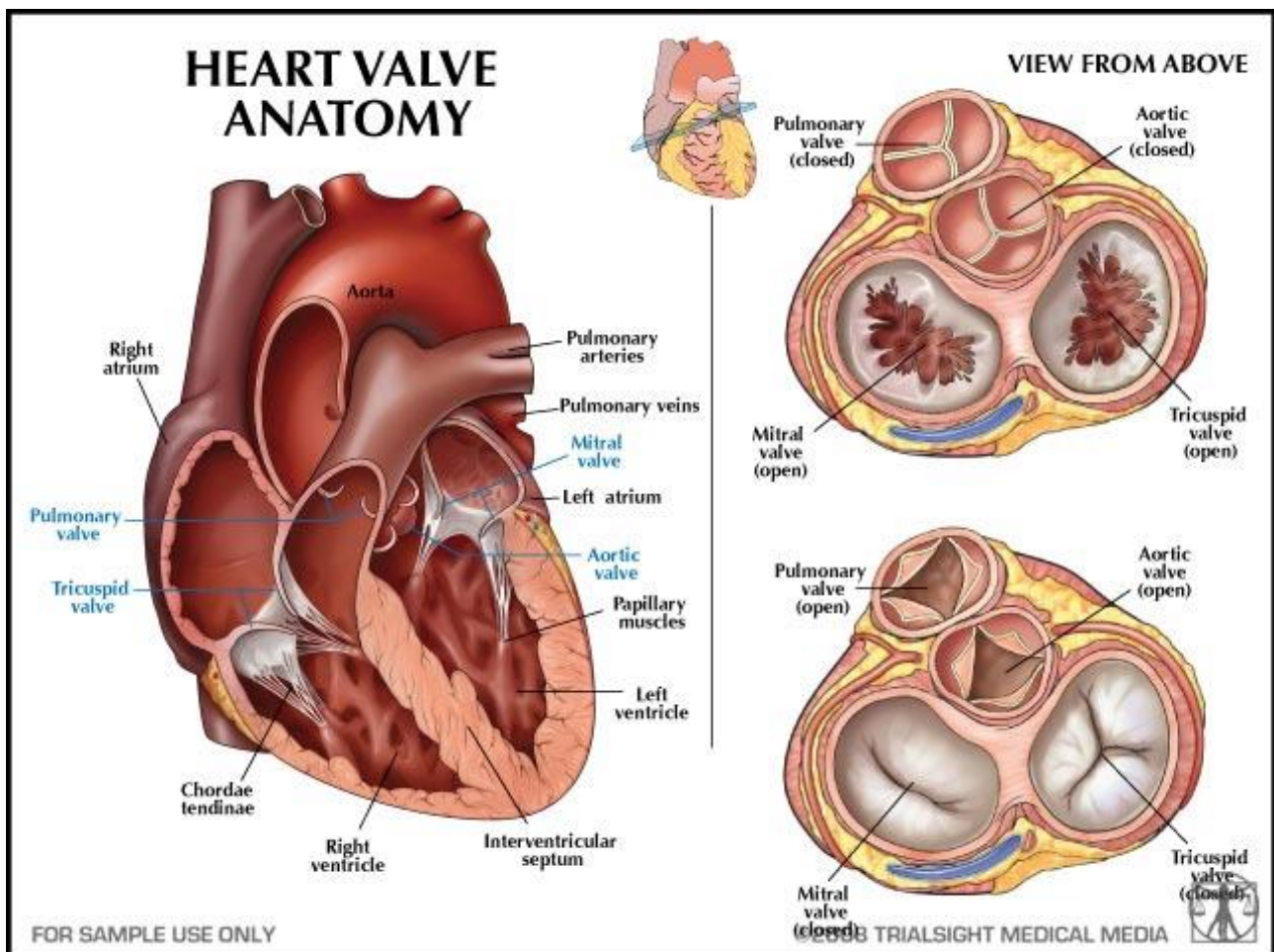
Det består af 3 lag, som udefra og ind benævnes

- Epicardium – en tynd hinde, der beklæder ydersiden af hjertet.
  - Benævnes også det viscerale/inderste lag af pericardiet.
  - Består af et enkelt lag mesothelceller og et submesotheliale tyndt lag af løst bindevæv, der indeholder blodkar og nerver.
- Myocardium – et tykt muskellag bestående af særlige tværstribede muskelceller, benævnt hjertemuskelatur.
  - Muskulaturens orientering er spiralfornet, hvor fiberbunder udspringer fra annulus fibrosus og løber profund ned mod apex, og herefter løber superficielt tilbage til annulus fibrosus, hvor papillærmusklerne også afspaltes. Spiralfornet er med at forkorte ventriklerne under kontraktionen samtidigt med at diameteren formindskes.
  - Tykkelse er forskellige i de forskellige hjertekamre og afhænger af trykket der skabes for at presse blodet videre til de næste afsnit i kredsløbet. Myocardiet er tyndest i atrieerne pga. forbindelse til lungekredsløbet.
  - Myokardiet hviler aldrig, og denne konstante arbejdsindsats kræver en hurtig energiomsætning. Der er derfor langt flere mitokondrier i hjertemuskelatur end i anden tværstribet muskelatur.
- Endocardium – det inderste lag bestående af et lag endothelceller, der beklæder indersiden af hjertet.
  - Under laget findes et tæt bindevæv bestående af mange elastiske fibre bindet fast til hjertevæggen.
  - Beklæder alle hulrum i hjertet, hjerteklapperne og de indre hjertemuskelne, papillærmuskler.
  - Desuden findes der et subendocardielt lag af bindevæv men mangler papillærmusklerne og chordae tendineae (det sidste er beklædt med endocardium og indeholder tætte bunder af kollagene fibre). Laget indeholder også blodkar, nerver og grene af impulsledningssystemet. Ved overgangen til arterier og vener fortsætter endocardiet i karrenes intima og hindrer koagulation.

### **HJERTET – KLAPPER**

- Ventiler i indmundninger, ostierne.
- Ensretter blodstrømmen.
- Afgørende for pumpefunktionen
- Typer af klapper:
  - Åbningen imellem atrier og ventriklere – atrioventrikulærklapper (AV-klapper).

- Udgår fra endokardiet i annulus fibrosus (bindevævspladen) som tynde pladeformede fligklapper, cuspides.
  - Trikuspidalklappen, valvula tricuspidalis, på højre side.
  - Mitralklappen, valvula bicuspidalis eller valvula mitralis, på venstre side.
    - Som nævnt tilhæftet annulus fibrosus og nedbundet til papillærmuskler via chordae tendineae der hæfter sig på klapperne rande.
    - Når papillærmusklerne kontraherer sig, lukker klapperne sig og samtidigt holdes de på plads under ventrikelkontraktionen pga. tilhæftningen til annulus fibrosus. Hver papillærmuskel afgiver mindst 2 chordae tendineae til klapperne.
- Åbningen til lunger og kroppen – opbygget af halvmåneformede små poser kaldet semilunærklapper, valvula semilunaris.
  - Aortaklappen, valvula aorta – mellem venstre ventrikel og aorta.
  - Truncus pulmonalis, valvula trunci pulmonalis – mellem højre ventrikel og truncus pulmonalis.
    - Klapperne har en fuldkommen passiv virkemåde: ved ventrikelkontraktion står de åbne, og når blodet under dem efterfølgende ventrikeldilatation og dermed trykstigning strømmer tilbage, fyldes de og lukker af for tilbageløbet.





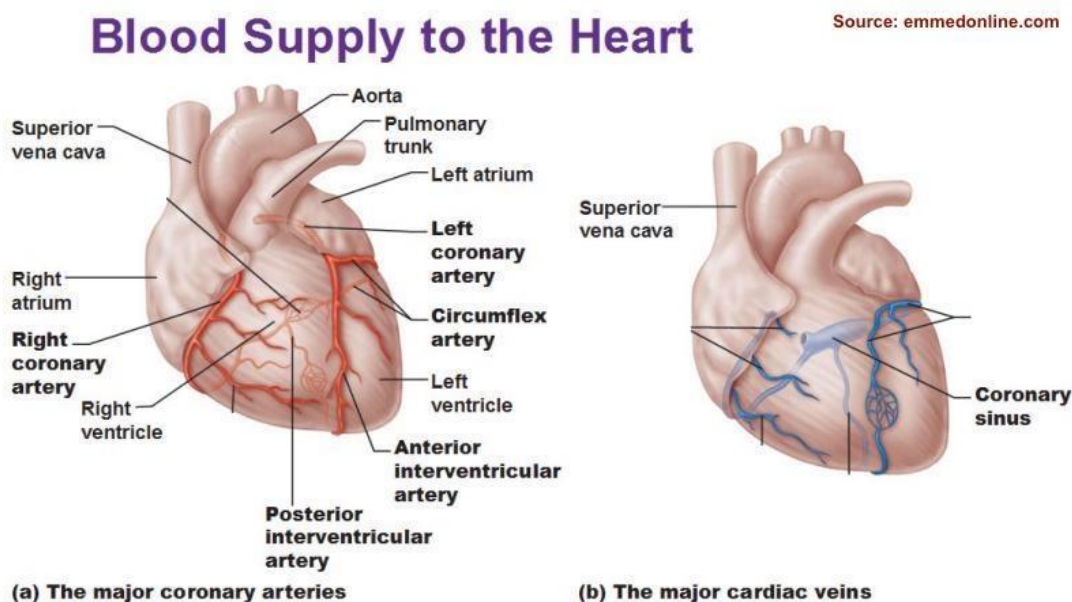
## HJERTETS EGEN BLODFORSYNING

Sulci på hjertets overflade:

- Grænsen mellem venstre atrium og ventrikel
  - Sulcus coronarius i en dyb fure, der er udfyldt af fedtvæv og modtager størstedelen af hjertets eget venøse blod.
  - Åbningen er forsynet med en rudimentær klap, valvula sinus coronarii.
- Grænsen mellem højre og venstre ventrikel
  - Sulcus interventricularis anterior, som tegner sig på facies sternocostalis.
  - Sulcus interventricularis posterior, som tegner sig på facies diaphragmatica.

Blodforsyningen – foregår under diastolen, idet karrene under systolen helt eller delvist sammenklappes:

- Grene fra aorta ascendens:
  - A. coronaria cordis dextra – mellem truncus pulmonalis og højre aurikel (en rest af embryologisk del af atrium).
    - Afgiver grene til højre atrium og posterior og inferior del af interventrikulær septum.
  - A. coronaria cordis sinistra – mellem truncus pulmonalis og venstre aurikel, før den ender i sulcus coronarius og deler i 2 grene der sender grene in i muskelvævet og forsynet hele venstre myokardiedel:
    - Ramus anterior interventrikulær
    - Ramus circumflexus.



Blodforsyning af pericardiet:

- Aa. pericardiophrenicae fra aa. Thoracica interna
- Grene fra aa. Bronchiales og phrenicae superiores

---

Det afiltede blod samles via mindre vener, vv. cordis i den store sinus coronarius, som fører blodet til højre atrium, hvor det indgår i den almindelige cirkulation.

---

### Anastomoser

Der sker dannelse af anastomoser mellem de finere forgreninger af coronararterier gennem hele livet. Dog er de ikke særlige effektive til at opretholde kollaterale cirkulation i tilfælde af coronarokklusionen, dog står der forskelligt i forskellige bøger, da nogle angiver at omfanget af skaden formindskes ved kollaterale forbindelser og området forsynes med oxygen og næring. De mindre grene kaldes for endearterier, dvs. de forsyner hver sit område. Ved coronarokklusionen kan det medføre nekrose af det uforsynede myocardiområdet med efterfølgende dannelse af bindevævsar.

Ved manglende ilt bruger hjertet laktat og pyruvate. Når laktat er brugt op, nedbryder det sine glykogen depoter for at frigøre laktat. Hvis der opstår iltmangel (hypoxi) får man hjertekramper.

---

### HIERTETS INNERVATION

Autonomt innoveret fra plexus cardiacus beliggende foran og under aortabuen.

- Ganglier i plexus kommer fra:
  - Parasympatiske præganglionære tråde som rami cardiaci n. vagi.
    - Vagus innoverer sinusknuden og AV-knuden.
    - Sænker pulsfrekvensen.
    - Afgiver grene til oesophagus, cardiac plexus og pulmonal plexus.
  - Sympatiske postganglionære tråde som nn. cardiaci cervicales
    - Innoverer også sinusknuden og AV-knuden
    - Innoverer muskulaturen i atrier og ventrikler.
    - Øger pulsfrekvensen og kontraktionsstyrken.
- Plexus deles i:
  - Den superficielle del – under aortabuen og mellem denne og pulmonalis truncus.
  - Den dybe del – mellem aortabuen og trachea.

Der findes strækkereceptorer og nociceptorer i hjertet, der formidler smerter f.eks. i forbindelse med angina pectoris (hjertekramper) og akut myokardieinfarkt pga. lokal blodmangel (hypoxi), iskæmi.

Langs den højre og venstre hjerterand løber hhv. n. phrenicus dexter og sinister nedad mellem pericardiet og pleura mediastinalis.



---

## **MIKROSKOPISK ANATOMI**

### **DET MAKROVASKULÆRE SYSTEM**

Myocardieceller:

- Hjertecellerne er meget små sammenlignet med skeletmuskulaturen.
- Hjertecellerne er forgrenede, og adskilt fra hinanden ved en indskudskive.
- Indeholder aktin- og myosinfilamenter, der glider mod hinanden under kontraktionsprocessen.

Den vaskulære væg – indeholder følgende lag, indefra og ud:

- Endothelceller – en indvendig glat beklædning af et enkelt lag.
- Tunica intima – et affladet endothelcellelag
  - Forbundet sammen af zonulae occludentes og nexus'er.
  - Adskilt fra det underliggende subendotheliale lag af en basallamina.
  - Hviler på lamina elastica interna.
- Lamina elastica interna – en distinkt elastisk membran.
- Tunica media
  - Består af ca. 50 fenestrerede elastiske membraner, indeholder glatte muskelceller.
  - Kollagene og elastiske fibre indlejret i grundsubstans af sure proteoglykaner.
  - Indeholder ligeledes > 10 koncentriske lag af glatte muskelceller, hvor der forekommer kollagene elastiske fibre indlejret i glykoprotein matrix.
- Lamina elastica externa – en mindre veldefineret elastisk membran.
  - Mangler i de små arterier.
  - Kan være afbrudt i de lidt store arterier.
- Tunica adventitia
  - Bygget af tyndt bindevæv.
  - Indeholder kollagene fibre
  - I de store arterier indeholder den også elastiske fibre
  - Indeholder karforsyningen, vasa vasorum, samt nerver.

### **DET VASKULÆRE SYSTEM**

- Et lukket rørsystem
- Opdelt i 2 dele:
  - Den arterielle del – sørger for blodtilførsel til organerne.
  - Den venøse del – sørger at returnere blodet til hjertet.

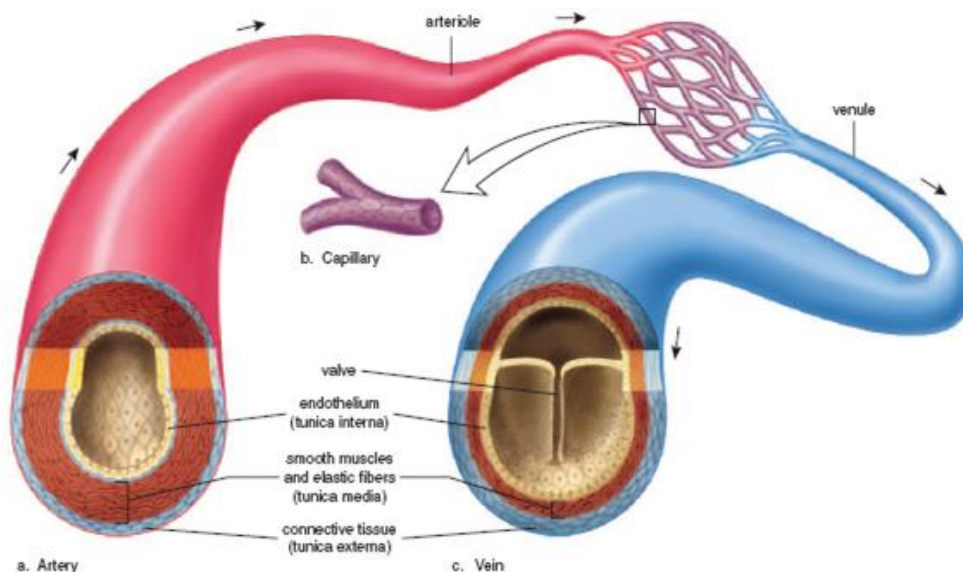
Arterier – fører blodet væk fra hjertet:

- Kraftig opbygget.
- Indeholder betydelige mængder glat muskulatur og elastiske bestanddele.

- Elastiske arterier – de største arterier (diameter > 10 mm) grundet indhold af mange elastiske membraner i væggen. Omfatter:
  - Aorta
  - Truncus pulmonalis med pulmonale arterier
  - A. carotis communis
  - A. subclavia
  - Aa. coronariae
- Muskulære arterier – mindre arterier.

Vener – fører blodet tilbage til hjertet:

- Diameter kan variere fra 0.1 til over 10 mm.
- Tyndere vægge end arterier pga. lavt tryk.
- Relativt rige på elastisk væv og ganske udvidelige.
- Består af samme 3 fundamentale lag som arterierne med mindre tydelige grænser mellem dem:
  - Tunica intima – består af endothelceller omgivet af et tyndt lag af subendotheliale bindevæv.
  - Tunica media – tyndere end i arterier:
    - Indeholder ca. 3-4 lag af cirkulært arrangerede glatte muskelceller.
    - Tunica media kan mangle helt i de store vener eller består af kun få lag af glatte muskelceller.
  - Tunica adventitia – tykt.
    - Indeholder bindevæv
    - Forekomst af glatte muskelceller.
    - Indeholder vasa vasorum og lymfekår samt umyelinerede nervefibre.
- Mangler lamina elastica interna og lamina elastica externa.
- Vener > 2 mm indeholder veneklapper – forhindrer tilbageløb af blodet og dermed ensretter blodstrømmen.



- Forekommer først og fremmest i underekstremiteterne.
- Vennerne i truncus er uden klapper og den venøse tilbagestrømning foregår via det intrathorakale tryk.

#### Arterioler:

- Diameter mindre end 100  $\mu\text{m}$ .
- Består af samme 3 fundamentale lag
  - Tunica intima består af flade endothelceller, der igennem basallamina og lamina elastica interna danner udposninger med kontakt til tunica media.
    - I den terminale del af arterioler mangler lamina elastica interna.
  - Tunica media indeholder 1-3 koncentriske lag af muskelceller.
  - Tunica adventitia består af løst bindevæv og er adskilt fra lamina media med lamina elastica externa.
- Det største trykfald er netop lokaliseret til arterioler og kaldes derfor også som modstandskar. Tonus af disse kars glatte muskulatur bestemmer den perifere modstands størrelse og dermed det diastoliske blodtryk.

#### Kapillærer:

- Benævnes også hårrør.
- Mikroskopisk tynde kar der danner et sammenhængende netværk.
- Væggen består af et endothelcellelag og en basallamina med indlejret spredt forekommende pericytter.
  - Pericytter menes at være kontraktile pga. indhold af aktin, myosin og tropomyosin, hvorved de kan influere på blodgennemstrømningen i kapillærerne og samtidigt har også en fagocytterende funktion.
- Tunica media *et* adventitia mangler.
- Diameter ikke større end 10  $\mu\text{m}$  – dette med henblik på en optimal udveksling.
- Der skelnes mellem 3 forskellige kapillærtyper:
  - De kontinuerlige kapillærer:
    - De mest udbredte kapillærer og forekommer i alle 3 muskelvæv, i hjernen og bindevævet.
    - Interendothelial junction på ca. 10-15 nm bred, forbundne med okkluderende kontakter.
    - Funktion – transcytose, dvs. transendothelial transport af visse vandopløselige molekyler eller transport af vesikler mellem det indre og ydre lag af endothelceller (ej klarlagt).
  - De fenestrerede kapillærer:
    - Diameter omkring 50 til 80 nm.
    - Forekommer i tarmkanalens lamina propria, nyrerne kapillærerne og i endokrine kirtler.
  - Sinusoider:

- Diameter med åbninger op til 100 nm til 1000 nm mellem cellerne.
- Findes i lever, milt, hypofyse, binyrer og knoglemarv.
- Har snoede forløb, og er usammenhængende og utæt end de forrige kapillærer.
- Basallamina er ufuldstændig eller mangler helt.

Venoler:

- Et sammenløb af de mindre postkapillærer venoler.
- Har et tyndt lag endothel med løsere karakter end arterier og kapillærer og omgivet af pericytter.
- Længere fremme er endotheliet omgivet af 1-2 lag glatte muskelceller, betegnet muskulære venoler.
- Ingen forekomst af lamina elastica externa og interna.

Arterio-venøse anastomoser:

- Direkte forbindelse mellem arterioler og venoler.
- Har en tyk væg med rigelige glat muskulatur.
- Findes især i huden – har betydning for regulering af varmetabet.

---

## Endothelet

Har mange funktioner:

- At udgøre en selektiv permeabilitetsbarriere for udvekslingen af substanser mellem blod og væv.
- At syntetisere og secernere en række substanser:
  - Antikoagulerende glukoaminoglykan, heparasulfat – modvirker dannelse af en blodtrombus.
  - Prostaglandin-derivatet prostacyclin (PGI<sub>2</sub>) – hæmmer adhæsion af trombocytter og virker vasodilaterende.
  - Kvælstofoxid (NO) – hæmmer adhæsion af trombocytter og virker vasodilaterende.
  - Endothelin-1 – virker vasokonstriktorisk.
  - Nitrogenoxid (NO) – en giftig forbindelse af kvælstof og ilt, frit radikal og meget reaktivt og ustabil. I lave koncentrationer fungerer den fysiologisk som neurotransmitter og hormon forårsager dilatation i perifere vener, reducerer det venøse tilbageløb og dermed pre-load. Dilaterer også arterier og arterioler, reducerer blodtrykket og dermed after-load.
  - Enzymet angiotensin-konverterende enzym (ACE) – omdanner angiotensin-I til angiotensin-II, der har en kraftig vasokonstriktorisk effekt og dermed øger blodtrykket.
- Forsynet med integriner, der binder sig til de forskellige ligander på overfladen af leukocytter og lymfocytter, der strømmer med blodstrømmen, til vandring over karvæggen i forbindelse med inflammationen og betændelsestilstande.

---

Kredsløbssystemets vigtigste opgaver er:

- Transport af O<sub>2</sub> fra lungerne til vævene og transport af CO<sub>2</sub> den modsatte vej
- Transport af affaldsstoffer fra de væv, hvor de produceres, til de organer, hvor de udskilles.

- 
- Transport af næringsstoffer fra fordøjelseskanalen til vævene og til og fra organer, som omdanner og oplagrer (specielt leveren) næringsstoffer.
  - Transport af kemiske hormoner (budbringer) fra de endokrine kirtler til målcellerne. Blodet får på den måde en kommunikationsfunktion.
  - Transport af varme fra vævene til den ydre overflade, hvor varmen af gives.
  - Beskyttelse mod infektion. Hvide blodlegemer og antistoffer transporteres med blodet til vævene.
  - Overførsel af kraft i form af tryk. Dette er grundlaget for filtration af væske gennem væggen på de tyndeste blodkar. En sådan filtration er specielt vigtig for nyrernes funktion.
  - Stabilisering af organismens indre miljø (homeostase) med hensyn til blandt andet pH, ioner, væskemængde og osmotisk tryk.

## **BLODETS CIRKULATION**

### **STRØMNINGSHASTIGHED Gennem KREDSLØBET**

- Minutvolumen – 5.5 liter blod pumpes hvert minut i hvile.
- Væskestrømning gennem et sammenhængende rørsystem er lig tværsnittet gange strømningshastigheden.
- Strømningen væk fra hjertet – det samlede tværsnitsareal øges kraftigt i takt med blodkarrene forgrener sig mere og mere, og strømningshastighed aftager tilsvarende.
- Strømningen mod hjertet – det samlede tværsnit aftager, og blodets strømningshastighed tiltager.
- Strømningsforholdene og kapillærernes opbygning sikrer en effektiv udveksling af stoffer mellem blodet og vævene.
  - Endotelaget har en semipermeabel membran der tillader passage af lavmolekylære stoffer f.eks. vand, glukose, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>.
- To store kræfter driver bevægelsen af væsker gennem kapillærer:
  - Diffusion
    - Udvekslingen af næringsstoffer, luftarter og affaldsstoffer mellem kapillærerne og cellerne foregår hovedsagelig ved diffusion.
    - Ved diffusion transporteres hvert enkelt stof gennem kapillærvæggen med en hastighed, som er afhængig af kapillærvæggens permeabilitet for stoffet (væskefyldte spalter (porer) – størrelsen kan variere fra væv til væv) og koncentrationsforskellen af stoffet mellem blodet og vævsvæsken, hvor bevægelsen foregår fra området med høj koncentration af stoffet til området med lav koncentration.
  - Filtration
    - Væsken presses gennem en membran ved hjælp af et tryk.
      - ✓ Et hydrostatisk tryk presser væsken ud af kapillærerne pga. højere tryk i kapillærer ved arteriolernes ende end trykket i omgivelserne.
      - ✓ En osmotisk trykforskel suger væsken ind i kapillærer igen ved venolernes ende pga. høj koncentration af osmotiske aktive molekyler som albumin, globuliner og fibrinogen.
    - Balancen mellem disse tryk er sådan at der sædvanligvis foregår en filtration af væske fra blodet til vævsvæsken i den meste af kapillærerne længde (nettofiltration 4 liter pr. døgn). Væsken returneres til blodet via lymfesystemet.
    - Der sker et betydeligt fald i det hydrostatiske tryk fra begyndelsen til enden af kapillærerne.
    - Faldet i det hydrostatiske tryk medfører også at væskestrømmen fra vævsvæsken til blodet (reabsorption) foregår i den sidste del af kapillærerne.
- Man skelner mellem 4 Starling's kræfter:
  - Kapillært hydrostatiske tryk pc.



- 
- Interstitial væske hydrostatiske tryk  $p_{if}$  (differencen mellem disse to skriver som  $\Delta p$ ).
  - Kapillært kolloid osmotiske tryk  $\pi_c$ .
  - Interstitial væske kolloid osmotisk tryk  $\pi_{if}$  (differencen mellem disse skriver som  $\Delta \pi$ ).
  - En positiv  $\Delta p$  driver væsken ud af kapillærene, mens en positiv  $\Delta \pi$  driver væsken tilbage i kapillærene.
  - Starling's ligning opstilles som følgende:  $J_v = L_p [(p_c - p_{if}) - \sigma (\pi_c - \pi_{if})]$

$J_v$  er nettofiltration. Filtration er en positiv  $J_v$ , medens en negativ  $J_v$  er reabsorption.

- En øget filtration kan reducere den venøse tilbagestrømning til hjertet, så slagvolumen (SV) og dermed det middel arterielle blodtryk (MAP) aftager.
- En anden årsag til øget filtration kan være venerne compliance og størrelse, hvor der derfor kan foregå en passive ophobning af blodet i venesystemet f.eks. ved en stillestående stilling. Dette medfører en trykstigning i underekstremiteterne og dermed udsivning af væske til interstitielrummet. Dette kan lede til et nedsat venøst tilbageløb og nedsat cardiac output medførende insufficient hjernegennemblødning og besvimelse, ortostatisk hypotension.

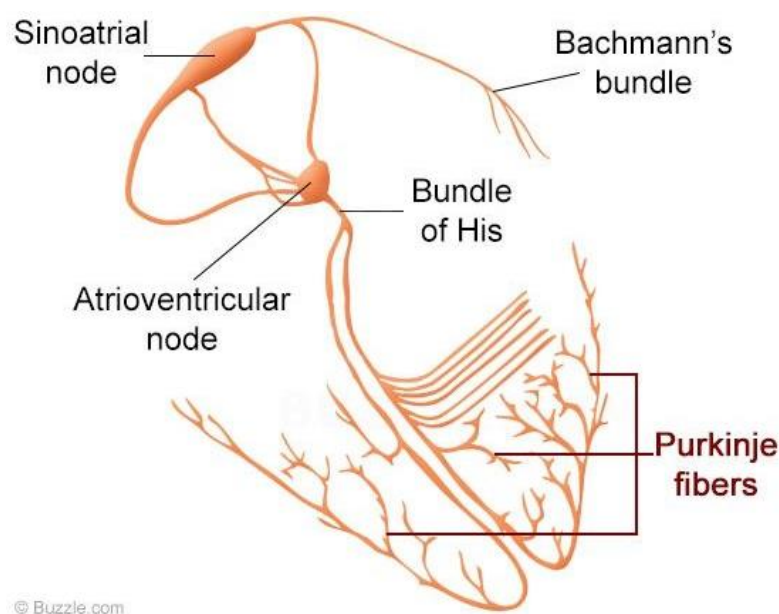
## HJERTETS IMPULSLEDNINGSSYSTEM

Hjertet styrer sin egen rytme via

- Impulsledningssystemet
- Det medullære cardiovaskulære center (MCVC) i medulla oblongata i samarbejde med cortex cerebri og hypothalamus
  - Det autonome nervesystemets sympatiske og parasympatiske dele

To vigtige funktioner for hjertepumpen:

- At genere den elektriske impuls, som indleder hver hjertekontraktion
- At sikre den ordnede spredning af impulsen til myocardiet, således at dette kontraherer sig i den for pumpefunktionen mest hensigtsmæssige sekvens.



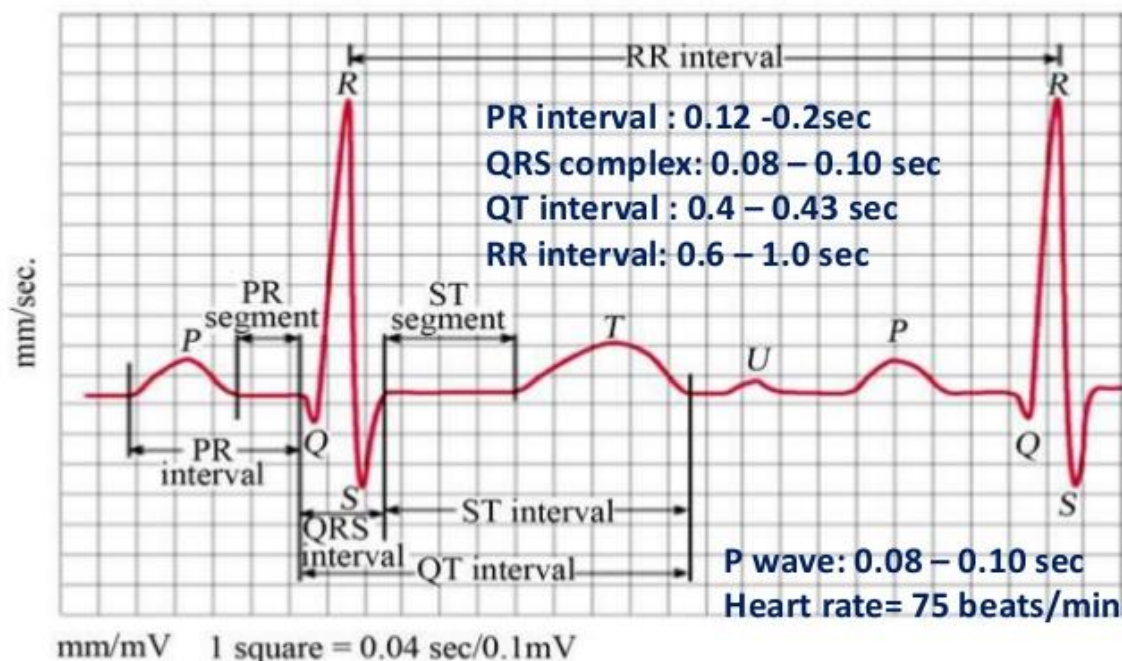
### IMPULSLEDNINGSSYSTEM

- Starter i en lille samling af specialiserede celler, sinusknuden, nodus sinuatrialis. sino-atrialknuden måler 10 x 3 mm.
  - Danner små nexus'er med hinanden.
  - Findes i vinklen mellem vena cava superior og højre atrium lige over sulcus terminalis.
  - Disse muskelceller generer impulser (aktionspotentialer), der udøver pacemakerfunktion i hjertet.
- Venstre atriums aktivering foregår via et relativt tykt muskelbunt, Bachmanns bundt, som forbinder atrierne fortil.
- Aktionspotentialer ledes videre til AV-knuden på knap 10 mm bestående også af nodale muskelceller.

- Findes i den septale væg af højre atrium lige over tilhæftningen af den septale trikuspidalklap og lige foran ostium sinus coronarii.
- Der findes et område med overgangsmuskelceller beliggende mellem AV-knuden og hjerteceller, som menes at være ansvarlige for forsinkelsen af impulsudbredning på ca. 0.1 sekund, hvorved atrierne får den fornødne tid til at pumpe blodet ind i ventriklernes inden kontraktionen.
- Tiden benævnes overledningstiden.
- Fra AV-knuden afgår det His'ske bundt, der forbinder atrier med ventriklernes, og deler sig i 2 grenbundter, crura sinistrum et dextrum, der løber fremad i randen af det membranøse septum mellem ventriklernes til hver side.
  - Begge crura afgiver talrige fine forgreninger, Purkinje-fibre, som danner et subendocardielt plexus på ventriklernes inderside.
  - Purkinje-fibre leder impulser hurtigere end almindelige hjertemuskel fibre og sikrer samtidig kontraktion af ventrikelmuskulaturen.
- Hver af disse knuder har deres egen impulsdannelsesfrekvens, men faldende fra sinus-knuden til purkinje-fibre:
  - Hvis sinusknuden (med en puls på ca. 70) kommer ude af funktionen, overtager AV-knuden impulsdannelsen, med pulsen faldende til 40-60.
  - Hvis AV-knuden kommer også ude af funktionen, vil purkinje-fibre sørge for en puls på 15-40.

### **EKG – ELEKTROKARDIOGRAM**

## **Example of ECG recording of a healthy heartbeat**

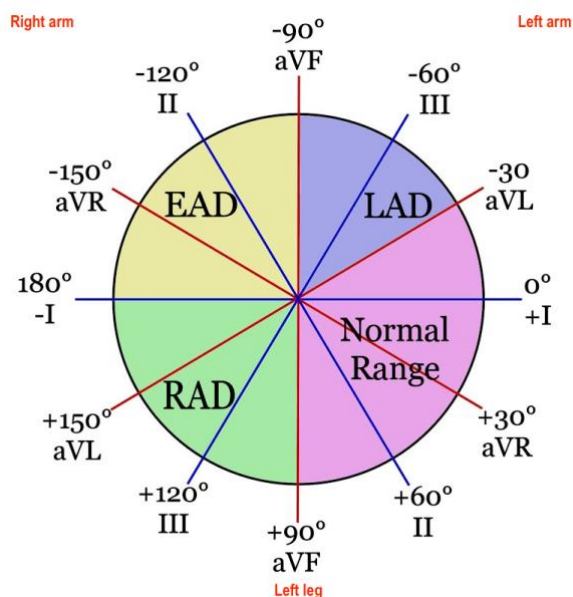


<http://prajent.hubpages.com/hub/How-to-read-a-normal-ECG>Electrocardiogram

- En måling af hjertets elektriske aktivitet.
- Kan vise afvigelser i hjertets rytme, hastighed og impulsudbredelse.
- Depolariserede områder vil blive negative på overfladen i forhold til resten af hjertet.
- Polariserede områder (endnu ikke depolariserede eller repolariserede) vil blive positive.
- Strømme der er involveret i myocardiets depolarisering, opfattes som vektorer, der adderes til en fælles vektor – den tilkendegiver hjertets elektriske akse.
- Oplysninger fra EKG'et kan bruges til at diagnosticere forskellige hjertesygdomme og vurdere effekten af en given behandling.

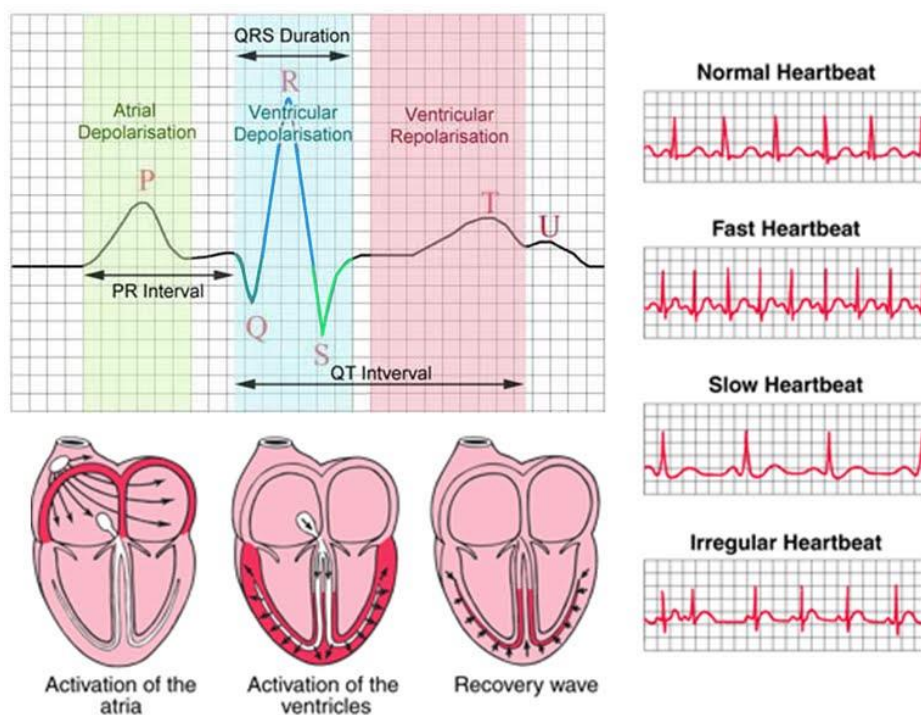
Forskellige afledninger – 2 hovedtyper:

- Bipolære afledninger
  - Her registreres potentialforskelle mellem 2 elektroder, der er forskellige, forårsaget af hjertetsaktivitet.
  - De potentialdrejninger er afhængige af de depolariseringer i de forskellige områder af hjertet.
  - Man bruger ekstremitetsafledninger (Einthovens klassiske standardafledninger):
    - I. Afledning mellem venstre hånd og højre hånd – udgør en 0-akse i frontalplanet.
    - II. Afledning mellem venstre fod og højre hånd – udgør en 60 akse i frontalplanet.
    - III. Afledning mellem venstre fod og venstre hånd – udgør en 120 akse i frontalplanet.
  - Einhovens trekant bruges til måling af hjertets elektriske akse under depolarisering.
  - Hjertets elektriske akse kan findes ved hjælp af en geometrisk metode, hvor man samler de 3 bipolære afledninger, hvor de skærer hinanden i et punkt (hjertets midte) i midten af Einthovens trekant.
  - Hjertets akse bruges til at bedømme mulig hjerteinsufficiens f.eks. hypertrofi i den ene eller begge ventrikler.
  - Den normale elektriske akse for hjertet blandt raske voksne ligger mellem  $-30$  og  $+90$ .



- Unipolære afledninger
  - Her registreres potentialsvingninger ved den ene elektrode, der er different i forhold til en indifferent elektrode.
  - Dette opnås ved at de 3 indifferente elektroder etableres (bipolære) ved at forbinde ledningerne fra højre arm, venstre arm, og venstre ben til en central terminal, der udgør den negative forbindelse for unipolære afledninger (different).
  - De mest anvendte unipolære afledninger:
    - aV-afledninger – her anbringer man den different elektrode på en af ekstremiteterne, medens den indifferente elektrode opnås ved at elektroderne fra de øvrige 2 ekstremiteter forenes til en central terminal.
      - ✓ aVR – eksplorerende elektrode på højre arm, fra frontalplanet udgør den en akse på -150 grader.
      - ✓ aVL – eksplorerende elektrode på venstre arm, fra frontalplanet udgør den en akse på -30 grader.
      - ✓ aVF – eksplorerende elektrode på venstre fod, fra frontalplanet udgør den en akse på +90 grader.
    - Her måler man små potentialsvingninger ved den indifferente elektrode, men i princippet ser udslagene i de forskellige afledninger ud som i VR, VL og VF.
    - Præcordiale afledninger – her anbringes den differente elektrode på brystkassen over hjertet, og de nummereres V1-V6 afhængig af placering på thorax. De foregår i horisontal plan.

## EKG-KURVEN



- Hjertecellerne har i hvile en negativ ladning i væsken indenfor cellemembranen og en positiv ladning i væsken udenfor cellemembranen.
- Ved depolariseringen af cellerne bliver ladningen indenfor cellemembranen positiv og negativ udenfor. Det vil sige, at ladningerne ved depolarisering er fordelt modsat i forhold til cellernes hviletilstand.
- Depolariseringen kan frembringe takker i EKG'et med positivt eller negativt udslaget, afhængig af om strømmen afledes hhv. fra minus- til pluspol eller omvendt.

En EKG-kurve fra en II-afledning er den hyppig brugte afledning og har følgende takker:

- P-takken
  - Depolariseringen (kontraktion) af højre og venstre atrium.
  - Starter i pacemakercellerne i sinusknuden og når tærskelværdien for deres aktionspotentiale er nået, begynder de at depolarisere sig simultant.
  - Dette skaber en ionbevægelse mellem sinus-knudecellerne og de omkringliggende atriecellerne, der også exciteres og når tærskelværdi.
  - Depolariseringen forløber skråt caudalt mod apex.
  - Udslaget er positivt.
- PQ-intervallet
  - Iso-elektriske linje, og der foregår en depolarisering af AV-knuden.
  - Ansvarlige for forsinkelse af impulsudbredningen, hvorefter atrierne får den fornødne tid (overledningstiden) til at pumpe blodet ind i ventriklerne inden kontraktionen.
  - Repolariseringen af atrierne er ikke synlig, da den tidsmæssigt falder sammen med depolariseringen af ventriklerne og bliver skjult af QRS-komplekset.
  - Patologi – et atrio-ventrikulært blok, AV-blok af 1. grad erkendes som et forlænget interval mellem P- og Q-tak. Ved et 2. grad ses at enkelte hjerteslag falder ud, og ved komplet 3. grad arbejder atrier og ventrikler overhovedet ikke sammen men kører i hver deres rytme – arterierne med en frekvens på ca. 70 og ventriklerne med ca. 40.
- QRS-komplekset
  - Depolariseringen af ventriklerne, når signalet gives videre fra AV-knuden gennem Hiss'ke bundt over i Purkinje-systemet.
  - Septum interventrikularis depolariseres først, hvor depolariseringen bevæger sig ind i septum, delvist bort fra apex, hvilket giver et negativt udslag ved Q-takken.
  - Ventrikelkontraktionen foregår indefra endokardiet ud mod epikardiet og dermed sikrer en synkroniseret muskelkontraktion. Depolariseringen bevæger sig caudalt mod apex, og ses som et positivt udslag på R-takken.
  - På grund af muskelmasse er QRS-takken større end P-takken.
  - Aorta og pulmonalarterierne depolariseres sidst, og da de er længst borte fra apex, giver det et negativt udslag på S-takken.
- ST-intervallet
  - Isoelektriske linie – svarer til plateaufasen.



- 
- T-takken repræsenterer repolariseringen af ventriklerne.
  - T-takken er mindre end QRS-komplekset da repolarisering af ventriklerne sker langsommere end depolarisering og er modsat retning dvs. fra epicardiet til endokardiet.
  - U-takken
    - Sjældent
    - Reflekterer repolariseringen af papillærmusklerne.

---

### **Respiratorisk sinusarytmi**

Respiratorisk sinusarytmi, RSA, er en rytmeforstyrrelse af hjerterefrekvensen, der starter i sinusknuden. Ved RSA ses en stigning i pulsen ved inspiration og et fald i pulsen ved eksspiration. På EKG'et kan man se P-takken før QRS-komplekset og hvilket indikerer at udslagene starter i sinusknuden.

---

### **EKKOKARDIOGRAFI**

- En undersøgelse, der anvender uskadelige ultralydsbølger til at kortlægge hjertets indre opbygning.
- Foregår uden på huden.
- Undersøgelsen varer ca. 30 minutter og bliver optaget på video.
- Kan bestemme hjertets størrelse.
- Kan bruges til at diagnosticere sygdomme i hjertet og hjerteklapperne.
- Den kan skabe et bevægeligt billede på skærmen af det slående hjerte og af hjerteklapperne, der åbner og lukker sig.
- Kan samtidig anvendes Dopplerteknik, der måler den forsinkelse, hvormed ultralydsbølger returneres i det strømmende blod – dvs. hvordan blodet løber igennem hjertet. Kan vise
  - Om hjertet pumper effektivt nok?
  - Om der er sygdom i hjertets klapper i form af utætheder eller forsnævring?
  - Medfødte misdannelser?
- Kan vurdere omfanget af skaderne efter en blodprop i hjertet.
- Kan måle trykket i lungernes blodkar – et udtryk for graden af lungesygdom.

## DE FYSISKE LOVE

### HJERTETS PUMPEFUNKTION

- Hjertets opgave er at skabe trykforskelle, der får blodet til at flyde gennem kredsløbet.
  - Væsken strømmer fra områder med højere tryk til områder med lavere tryk.
  - I slutningen af systolen falder trykket i venstre ventrikel, PV, og når trykket bliver lavere end trykket i atrier, åbner AV-klapper og blodet strømmer ind i ventriklen.
  - Under diastolen (afslapningsfasen) udfører blodet et arbejde på ventriklen (ventrikelvæggen er ret eftergivelig under diastolen). Det er lig med ventriklens tilvækst i elastisk potentiel energi.
  - Ventrikelvæggen strækkes i takt med blodfyldningen, og der opstår en spænding i væggen, vægspænding T. der foregår en isometrisk kontraktion.
  - Når vægspændingen er højt nok, overstiger trykket i aorta, pao, og aortaklapperne åbnes, og blodet strømmer ud i aorta.
  - Den isometrisk spænding omdannes til den elastiske potential energi, der er oplagret i aortavæggen:
$$\Delta E_{\text{pot, aorta}} = (p_{\text{ao}} - p_{\text{v}}) \times SV$$
  - Efter uddrivningsfasen sker der en afslapning af ventrikelmuskulaturen. Begge klapper er lukkede, og spændingen i ventrikelmuskulaturen aftagende, og når trykket i ventriklen er blevet lavere end i atriet, åbnes AV-klapperne, og den diastoliske fyldningsfase for næste cyklus begynder.

### DE FORSKELLIGE FORMER FOR TRYK

Trykket måles ud fra en højde af en cylinder, og ligningen kan skrives sådan:

$$P = p \times g \times h$$

hvor p er densitet af væsken, g er gravitations konstant og h er højden af cylinderen. Man kigger bort fra variationer af g. Trykket angives i mmHg.

- Det transmurale tryk:
  - Trykforskel mellem trykket på indersiden af et blodkar (det intravaskulære tryk) og trykket på ydersiden af et blodkar (vævstrykket).
    - F.eks. giver trykket i højre atrium kun mening, hvis det måles i forhold til trykket uden på højre atriums væg, da det er dette tryk, som er bestemmende for udspilingen af atriet. Når man ikke ændrer trykket i lungerne og ånder normalt, får man hermed tilnærmelsesvis rigtige målinger af trykket i højre atrium
    - Ved f.eks. en Valsalvamanøvre, hvor der udåndes kraftigt mod en lukket glottis, vil lunger mekanisk trykke på hjertet og højre atrium. Når lungerne trykker på atriet, falder det transmurale tryk i hjertets kamre, og det venøse tilbageløb nedsættes. En korrekt

---

måde at måle trykket i højre atrium på at trække det øgede lungetryk fra det målte atrielt tryk. På den måde vil man kunne registrere et centralt venetryk på en korrekt måde.

- Ved f.eks. kraftig indånding sker det modsatte, nemlig at trykket i lungerne falder og det transmurale tryk stiger. Det medfører et stræk på hjertets kamre og en øget fyldning af hjertet med venøst blod.
- Når det drivende tryk og transmurale tryk stiger, vil karrets radius også stige, men modstanden vil falde. I *Poiseuilles* tilfælde vil modstanden være det samme, da hans lov gælder kun for rigide kar.

---

### Valsalvas manøvre

Valsalvas manøvre kan bruges til flere lejligheder f.eks. udligning af tryk i det eustachiske rør (ved f.eks. dykning eller flyvning), som en enkel teknik til at modvirke et anfald af løbsk hjerterytme (paroxystisk supraventrikulær takykardi) eller til at diagnosticere hjerterytme anomaliteter (sammen med EKG).

Øvelsen går ud på at man trækker alt den luft ind man kan presse mod lungerne ved at spænde i maven (oprettet bugpresse) uden at lukke luften ud igen. Det tryk man skaber her, skal man så holde så længe som muligt f.eks. ca. 30 sekunder eller længere, hvorefter man ånder ud igen.

Kroppens reaktion kan opdeles i 4 faser:

1. Inspiration skaber et tryk i thorax der presser blodet fra lungerne ind i venstre atrium og skaber en lille stigning i blodtrykket. Kroppen kompenserer det med at baroreceptorerne i sinus caroticus reagerer ved stræk af karvæggen på med en øget fyringsrate af impulser til MCVC, der hæmmer den sympatiske aktivitet og aktiverer den parasympatiske aktivitet, der via acetylkolin nedsætter hjertefrekvensen.
  2. Det venøse tilbageløb er forhindret pga. det høje intrathoracale tryk. Det betyder at det venøse tilbageløb falder og det er ensbetydende med at den EDV falder ligeledes. Da SV er differencen af EDV og ESV, falder den også. Hjertefrekvensen (HR) er konstant, medfører det samtidigt, at cardiac output falder. Det hele medvirker til et faldende blodtryk. Dette registreres af baroreceptorerne i aorta og sinus caroticus, hvorved HR øges ved et øget sympatikus aktivitet.
  3. Luften expireres fra lungerne og trykket i thorax falder. Her øges hjertefrekvensen yderligere, fordi sinus caroticus registrerer trykfaldet i thorax og via baroreceptorerne hæmmes det parasympatisk nervesystem og øger det sympatisk nervesystem.
  4. Der sker en voldsom stigning i det venøse tilbageløb pga. faldende intrathoracale tryk. Det betyder at EDV stiger pga. blodtilstrømningen i det højre atrium over længere tid, der medfører SV stiger. Det er igen ensbetydende med at cardiac output stiger, og dermed resulterer et stigende blodtryk. Dette fremkalder endnu engang en stigning i parasympatikus aktivitet, hvilket betyder at sympatikus aktivitet falder og pulsen falder lidt længere ned den normale rate før den vender tilbage til normaltilstand.
-

### DET HYDROSTATISKE TRYK

Ligningen for det hydrostatiske tryk kan skrives som følgende:

$$P_h = P_o + \rho \times g \times h$$

Denne ligning er udledt af 3 ligninger. F.eks. vi ser et glas med væske, der er påvirket af 3 kræfter i lodret retning: luftens tryk på væsken, tyngdekraften og en opadrettet påvirkning fra bunden af glasset, der fører til udtrykket for det hydrostatiske tryk i en væske som funktion af højden.  $P_h$  står for det hydrostatiske tryk og angives altid som trykket i forhold til atmosfæretrykket,  $P_{atm}$ :  $P = P_h - P_{atm}$ .

### GNIDNINGSFRI STRØMNING

- Den lineære gennemsnitshastighed,  $v$ , i kredsløbet afhænger af det totale tværsnitsareal de forskellige steder i kredsløbet.
- Hver gang et blodkar deler sig i flere, det totale tværsnitsareal stiger efter delingspunktet medførende fald i gennemsnitshastighed.
- Et system kan forøge sin energi når der udføres et arbejde på det og kan få væsken til at bevæge sig fra det ene sted til det andet i karret. Væsken vil få både højere potential og kinetisk energi. Dette er udledt af Bernoulli, som beskriver en sammenhæng mellem trykkræfternes arbejde og ændringen i kinetisk og potentiel energi i en gnidningsfri væskestrømning:

$$p_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho gh_A = p_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho gh_B \text{ eller}$$

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstant}$$

- Summen af disse 3 energiformer benævnes totaltrykket:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = p_{tot}$$

### VISKØS STRØMNING

- Den lineære hastighed ved viskøs væskestrømning i rør stiger med afstanden fra karrets sider. Man skelner mellem 2 slags strømninger:
  - Laminar strømning – her strømmer væsken i tynde lag (koncentriske rør), som ikke blandes. Det betyder at strømningsretningen for alle væskedele til enhver tid er parallel med rørets sider. Man skriver her gnidningskraften som funktion af væskens viskositet og karrets dimensioner og dermed udlede et udtryk for sammenhæng mellem strømningens volumen hastighed  $V$ ,  $\Delta P_{tot}$ , væskens viskositet,  $n$ , og rørets  $r$  og længde  $l$ . sammenhæng kaldes Poiseuilles lov:

$$V (F) = \Delta P_{tot} \times (\pi \times r^4) / 8 \times n \times l$$

Bestemmende faktor for væskestrømmen gennem et kar er modstanden  $R$ , som bestemmes af 3 faktorer:

- Blodkarrets længde
- Blodkarrets radius –  $R$  er omvendt proportional med radius i 4 potens
- Blodets viskositet – jo mere tykflydende en væske er, desto større gnidningsmodstand. Afhænger af hæmatokritværdien og arten af proteiner.

Formlen skrives sådan:  $R = \frac{8 \times \eta \times l}{\pi \times r^4}$

Formlens siger dog intet om egenskaber af karvægge.

- Turbulens strømning – her sker en væskebevægelse på tværs af hovedstrømningsretningen, således at der opstår hvirvler og opblanding af væskelagene. Den beskrives ved hjælp af Reynold's tal for væskestrømning i kar:  $Re = \frac{r \times v \times \rho}{\eta}$ .

Hvis  $Re$  er mindre end 2000, er strømmingen laminar, medens for  $Re$  større end 3000, er strømmingen turbulent. Turbulent strømmingen giver som regel en såkaldt mislyd ved forsnævninger i karret f.eks. ved carotiderne.

## HJERTETS FYSIOLOGI

### SLAGVOLUMEN

- Den mængde blod som pumpes per slag kaldes slagvolumen (SV).
- Formlen på SV er difference mellem slut-diastolisk volumen (EDV) og ende-systolisk volumen (ESV).
- EDV er typisk 120 ml og ESV er ca. 50 ml. SV bliver så

$$\begin{aligned}SV &= EDV - ESV \\ &= 120 \text{ ml} - 50 \text{ ml} \\ &= 70 \text{ ml}\end{aligned}$$

- Når hjertets ventrikler strækkes under diastolen, øges SV – benævnes Starlings hjertelov.
- Starling – et øget tryk i højre atrium (øget pre-load) medfører øget udpumpning af blod fra begge ventrikler, hvis blodtrykket legemspulsåren, aorta, holdes nogenlunde konstant (uændret after-load).

### HJERTECYKLUS

- Hjertecyklus – gentagen af mekaniske og elektriske begivenheder under hver hjertebebanen.
- Delt i 4 faser, hvor 1 og 4 repræsenterer diastolen (afslapningsfase, diastolen) og 2 og 3 repræsenterer systolen (kontraktionsfase, systolen):

- 1. Inflow
  - P-takten opstår.
  - Kontraktion af atrium medfører strømmingen af ca. 70 ml blod i ventriklen.
  - Trykket i ventriklen er lav i starten, men stiger efterhånden i takt med denne fyldes med blodet.
  - Ventriklen går over i systolen og får AV-klapperne til at lukke
- 2. Isovolumetrisk kontraktion
  - Ventriklen depolariserer, og man ser QRS-komplekset på EKG'et.
  - Trykket begynder at stige i ventriklen, mens begge klapper, AV-klapper og aortaklappen, er lukkede (ingen volumenændring)
  - Ventriklen begynder at kontrahere sig efter fyldningen, og da blodet ikke kan strømme nogen steder, resulterer isometrisk kontraktion (op til 80 mmHg og 120 ml i volumen).
  - Den isometrisk kontraktion medfører så højt tryk i ventriklen (helt op til 130 mmHg), at den overstiger trykket i aorta og får aortaklappen til at åbne sig, så blodet kan strømme ud.
  - Perioden af isometrisk kontraktion er kortere for højre ventriklen, da der ikke er behov for at øge trykket for at åbne pulmonalklappen. Repræsenterer EDV og trykket.
- 3. Outflow
  - Tømningsfase, hvor både ventrikel- og aortatrykket er fortsat høje under tømnningen.
  - Slutningen af fase begynder trykket at falde og ventrikelvolumen falder.
  - SV er på ca. 70 ml og efterlader ca. 50 ml i venstre ventrikel (repræsenterer ESV).



- På EKG ses T-takken, som symboliserer repolariseringen af ventriklerne.
- 4. Isovolumetrisk relaksation
  - Lukningen af aortaklappen.
  - Trykket er på 7 mmHg og volumen på ca. 50 ml i ventriklen.
  - Isovolumetrisk relaksation er kortere i det højre atrium, da pulmonalklappen lukker sig efter aortaklappen, og trikuspidalklappen åbner sig før mitralklappen.

### **HJERTELYDE OG FONOKARDIOGRAFI**

- Hjertelyde – lukningen af hjerteklapperne giver lyd fra sig pga. vibrationerne.
  - S1 – 1. hjertelyd, skyldes lukning af AV-klapper.
    - Mitralklappen høres ved apex i venstre 5. intercostalrum (IC-rum) indenfor medioclaviculærlinien og trikuspidalklappen.
  - S2 – 2. hjertelyd, skyldes lukning af semilunærklapper. Kan være delt, da aortaklappen lukker lige før pulmonalklappen (fysiologisk splitting, A2 og P2).
    - Pulmonalklappen høres i venstre 2. IC-rum.
    - Aortaklappen høres i højre 2. IC-rum.
- Fonografi – her kan man registrere/optage ved hjælp af et elektronisk stetoskop eller en mikrofon (anbragt på brystkassen) fra 2 og op til flere hjertelyde samt evt. patologiske lyde.

### **Klinik**

Den almindeligste årsag til unormale hjertelyde er stenoserede eller insufficiante hjerteklapper. Blodet har normalt en laminær strømning, der er lydløs, men når blodet strømmer gennem sådanne defekte klapper med så høj hastighed, opstår der turbulens. Dette er årsagen til de suselyde, mislyd, som kan høres i et stetoskop.

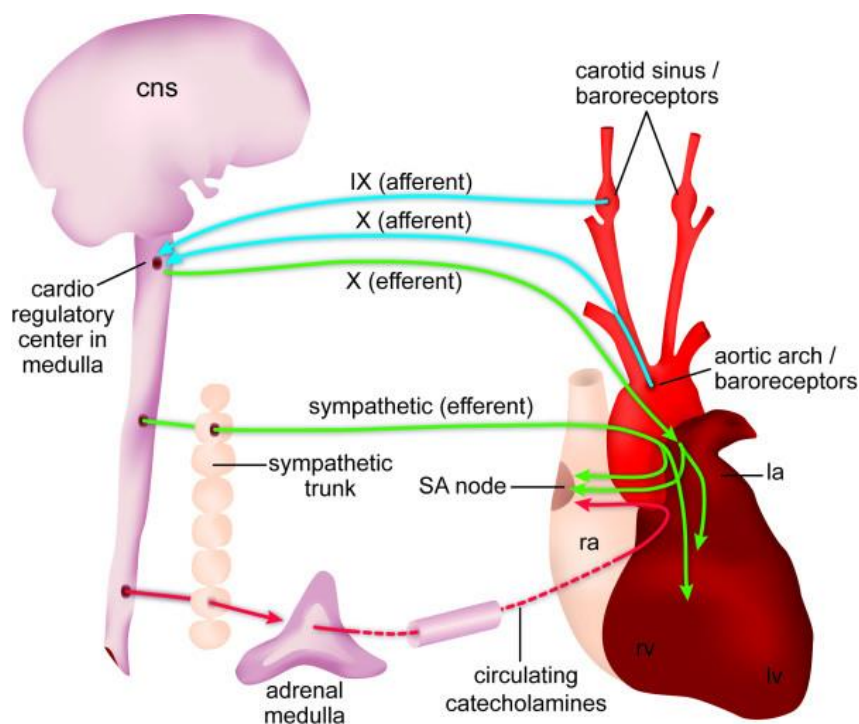
### **REGULERING AF HJERTEFREKVENSEN**

- Frekvensen af impulser fra sinusknuden uden påvirkning fra nerver og hormoner – ca. 100 slag pr. minut.
- Frekvensen kan blive påvirket af følgende delsystemer:
  - Det autonome nervesystem – stimulation af de sympatiske nerver til hjertet og øget frigørelse af adrenalin og noradrenalin fra binyremarven bevirker, at membranpotentialet i sinusknuden hurtigere når tærskelværdien, således at hjertefrekvensen stiger.
  - N. vagus – øget parasympatisk stimulering af hjertet via n. vagus har en modsat virkning, og derfor er pulsen i hvile sædvanligvis lavere med ca. 70 slag pr. minut. Vagal stimulation mindsker hjertefrekvensen via sin effekt på pacemakers aktivitet og nogle gange reducerer den også kontraktilitet af hjertet.
- Et hjerteslag er = en systole + diastole, og antallet af hjerteslag pr. minut kaldes for puls.

- Den indre regulering af hjertets SV – øget blodmængde i ventriklerne før kontraktion (øget EDV) fører automatisk til øget slagvolumen, uafhængigt af ydre faktorer – kaldes også Starlings hjertelov.

### REGULERING AF DET ARTERIELLE BLODTRYK

- MCVC modtager nerveimpulser med oplysninger om blodtrykket fra specielle trykfølsomme sanseceller, baroreceptorer. Disse findes 2 steder:
  - Arcus aortae – der giver besked om trykket i organismens hovedarterie.
  - Sinus caroticus – der giver information om trykket i arterien, som fører blod i hjernen.
- MCVC modtager også impulser fra celler der er følsomme for blodets indhold af  $H^+$ ,  $O_2$ , og  $CO_2$ , de såkaldte baroreceptorer i glomus caroticum, der har funktionen at regulere ventilation. Ved lave ilttension udløses en reflektorisk en ventilationsforøgelse.
- Fra arcus aortae afgår a. carotis og benævnes det første stykke, a. carotis communis.
- På cervikal niveau deler den sig i en ydre og indre gren:
  - A. carotis interna – afgiver ingen grene på halsen.
  - A. carotis externa – afgiver grene på halsen.
- Kort efter delingsstedet findes en lille udvidelse på a. carotis interna kaldet sinus caroticus, der er forsynet med talrige nerveender fra en gren af n. glossopharyngeus. Denne fungerer som en baroreceptor.
- Lignende strukturer er også påvist ved aortabuen, glomus supracardiale og i truncus pulmonalis-bifurkaturen.
- Selve MCVC er også under kontrol af et højere hjernecenter f.eks. hypothalamus og forlapper.



#### Ved blodtryksfald

- De arterielle baroreceptorer i aorta og i sinus caroticus registrerer det lave blodtryk.
- På grund af lave blodvolumen vil deres affyringsrate af impulser via afferente nervebaner til MCVC i medulla oblongata være lav.
- Det vil føre til en nedsat parasympatiske aktivitet og øget sympatisk aktivitet.
- Ved de postganglionære sympatiske efferente fibre frigives noradrenalin til beta1-receptorer i pacemaker-cellerne i sinusknuden.
- Øget adrenalinfrigivelse fra binyrerne kontraheres karrenes glatte muskulatur.
- Kontraktionen af arteriolerne øger den totale perifere modstand, mens kontraktionen af venerne medfører tilbagestrømning af blodet til hjertet.
- Ovenstående bidrager til øget hjertefrekvensen og øget SV → øget minutvolumen.

#### **REGULERING AF DET ARTERIELLE BLODTRYK F.EKS. VED ORTOSTATISK HYPOTENSION**

- Definition – et fald i blodtrykket på mindst 20 mmHg systolisk og 10 mmHg diastolisk efter skift fra liggende til stående stilling.
- Der sker en del kredsløbsmæssige ændringer når personen rejser sig, hvor trykker ændres i karrene i de forskellige dele af kroppen over og under hjertet.
- Tyngdekraften bevirker, at der opstår et hydrostatisk tryk mellem 2 punkter, adskilt af en højde.
- Ved liggende stilling vil hele kroppen være i samme højde (her bruger vi højden som reference til hjertet) og dermed ingen hydrostatiske trykkomponenter der virker på kredsløbet udover det intravaskulære tryk.
- Fysiologi:
  - Når personen rejser sig, vil blodet ophobe sig i de store eftergivelige vener i benene, da disse har en høj compliance.
    - Den reducerede venøse tilbagetilstrømning til hjertet medfører, at trykket i højre atrium falder.
    - Ovenstående leder til at slagvolumen (SV) falder.
    - Ovenstående fører til at cardio output (CO) falder.
    - Ovenstående medfører aftagende mean arterial pressure (MAP).
  - Det vil sige at trykket i karrene over hjerteniveau falder, mens der sker en trykstigning op til ca. 100 mmHg i karrene under hjerteniveau.
- Den passive ophobning af blod i venesystemet medfører en trykstigning i benene, hvorved venerne udvides og volumen øges. Det gør at filtrationen øges og dermed udsivning af væske til interstitielrummet.
- Faldet i blodtryk over hjerteniveau ved denne stillingsændring kaldes ortostatisk hypotension.
- Symptomer – svimmelhed, ørhed, forvirring, smerter i nakke/skuldre (coat-hangers ache).
- Nedsat cardio output medfører insufficient hjernegennemblødning og til sidst besvimelse, ortostatisk hypotension.

- Baroreceptorerne registrerer det lave blodtryk, og pga. lav affyringsrate af impulser til MCVC vil den sympatiske aktivitet stige. *Resten af kaskaden er beskrevet ovenpå.*

---

### Den ortostatisk prøve

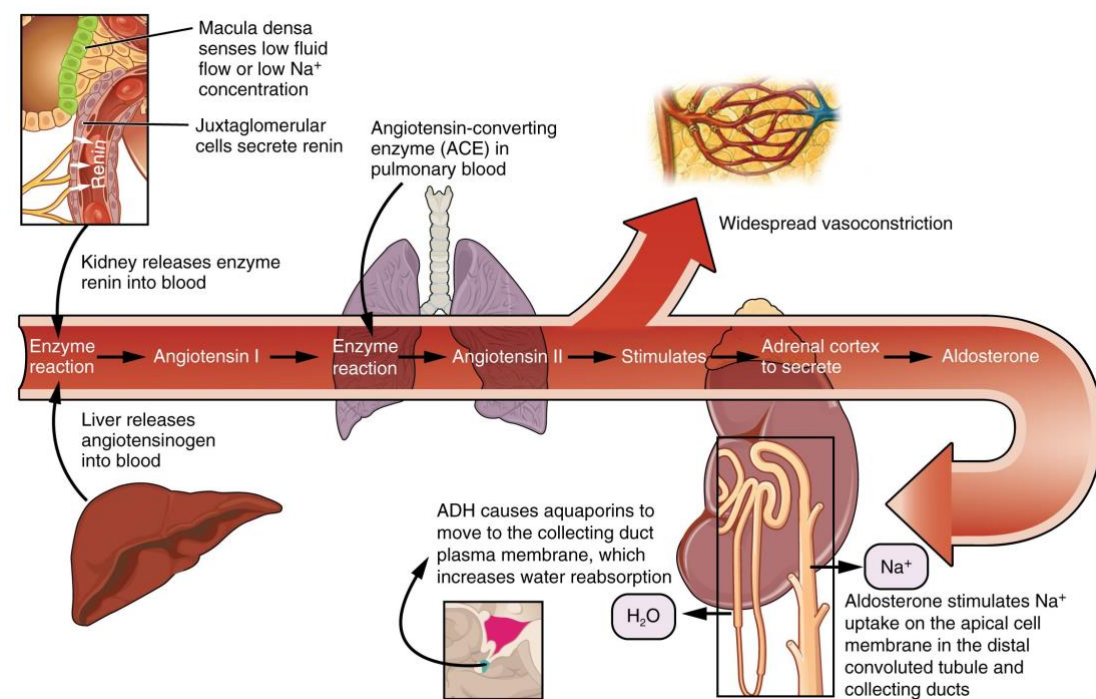
- Indikation – patienter med svimmelhed forårsaget af langsom blodtryksregulering (pga. alder) eller patienter der generelt oplever svimmelhed i dagligdagen.
- Prøven består af EKG-registrering og blodtryks- og pulsmåling.
- Patienten ligger ned i 5 minutter, og der tages blodtryk og puls hvert minut og 2 blodprøver lige efter hinanden efter 3 minutter.
- Efter 5 minutter er gået, rejses patienten op – med så lidt egen muskelkraft som muligt.
- Patienten står nu oprejst med lidt støtte i 10 minutter. Der måles stadigvæk puls og blodtryk hvert minut, blodprøver tages igen efter 8 minutter.
- Efter 10 minutter som oprejst, skal patienten igen ligge ned i 10 minutter.
- Blodprøver tages efter 8 minutter, blodtryk og puls tages hvert minut.
- EKG registreres igennem hele forløbet.
- Hvis personen dør med ortostatisk hypotension, vil hendes/hans blodtryk falde i stående stilling, hvorimod en "rask" personen kun får en pulsforhøjelse.
- Undersøgelsen handler om at se om kredsløbet tilpasser sig forandringer i legemsstillingen.

---

### REGULERING AF DET ARTERIELLE BLODTRYK F.EKS. EFTER BLØDNING

- Et mere langsigtet mål efter blødning er at genoprette et normalt blodvolumen med en normal sammensætning. I grove træk er der 4 mekanismer:
  1. Påvirkning af højtryks baroreceptorer i sinus caroticus og aortabuen og dermed øget sympatisk aktivitet.
    - Når det arterielle blodtryk falder, bliver strækket af arterievæggen mindre.
    - Fald i blodtrykket vil reducere produktion af nerveimpulser i højtryks baroreceptorerne i sinus caroticus og aortabuen medførende nedsat affyringsrate af impulser via afferente nervebaner til medullær kardiovaskulære center.
    - Det fører til en nedsat parasympatisk aktivitet og en øget sympatisk aktivitet.
    - De postganglionære sympatiske efferente fibre afgiver noradrenalin til
      - Alfa-receptorerne i karrene, således den glatte muskulatur i venerne kontraherer sig, som medfører øget tilbagestrømning og dermed øget slagvolumen og minutvolumen.
      - Beta1-receptorer i pacemaker-cellerne i sinusknuden, hvorved hjertet stimuleres og det slår hurtigere og kraftigere.
    - Dette medfører en normalisering af det arterielle blodtryk.
  2. Påvirkning af lavtryksreceptorer, som aktiverer det sympatiske nervesystem:
    - Forårsager vasokonstriktion i karrene.
    - Reducerer den glomerulære filtrationsrate og urinproduktion

- Sender signal til hypothalamus, der stimulerer frigørelse af arginine vasopressin (AVP), også kaldet antidiuretisk hormon (ADH), der reducerer væskeudskillelse gennem nyrerne.
- I atrieerne forekommer granula indeholdende forstadiet til et hormon betegnet atrialt natriuretisk peptid (ANP), der normalt øger udskillelse af natrium og vand og dermed sænker blodblodet. Pga. det reducerende stræk i myokardiet mindskes niveauet af denne cirkulerende ANP og dermed udskillelse af salt og vand gennem nyrerne.



3. En anden mekanisme til at reducere udskillelse af salt og dermed vand gennem nyrerne foregår gennem renin-angiotensin-aldosteronsystemet (RAAS):
- Renin udskilles fra nyrerne ved mindsket blodflow og ved sympatikus stimulering.
  - Renin er et proteolytisk enzym der har ingen en fysiologisk virkning alene.
  - Renins substrat er det cirkulerende protein, angiotensinogen, som produceres i leveren.
  - Når angiotensinogen kløes af renin, bliver det til angiotensin I (har heller ikke nogen fysiologisk virkning).
  - Angiotensin converting enzyme (ACE) på overfladen af endothelcellerne i lungerne og nyrenes kar kløver angiotensin I til angiotensin II.
  - Angiotensin II stimulerer aldosteron sekretion fra ninyrebarken.
  - Aldosteron fremmer Na<sup>+</sup>-reabsorptionen i nyrerne.
  - Angiotensin II stimulerer ligeledes til sekretion af ADH fra hypothalamus som nyrerne udskiller mindre vand.

- 
- Angiotensin II inducerer også vasokonstriktion og medfører øget arterielle blodtryk.
4. De centrale og perifere kemoreceptorer har også en regulerende effekt på blodtrykket:
- Faldende  $pO_2$  og pH og stigende  $pCO_2$  stimulerer det sympatiske nervesystem, og dermed øger hjertefrekvensen og normaliserer cirkulationen.

### **VENEPUMPEN**

- Blodets tilbageløb til hjertet gennem venerne er sikret af venepumpen.
- Sammentrækning af benmuskler klemmer venerne sammen og presser blodet op i systemet.
- Ensretter blodstrømningen.
- Ved manglende venepumpen opstår der pooling dvs. blodet samles i benene, og blodtrykket falder.
- I tilfælde af langvarig oprejst stilling uden brug af muskelvenepumpe, vil det hydrostatiske tryk i kapillærene blive så stort, at det overstiger det kolloidosmotiske tryk som på grund af den høje koncentration af impermeable proteiner i plasma virker absorberende. Herved ses en øget filtration til interstitielrummet.
- Bainbridge refleks – takykardi (høj puls) er forårsaget af den venøse tilbagestrømning. Den venøse tilbagestrømning vil ifølge bainbridge refleksen opfanges af lavtryksreceptorer. Disse receptorer stimulerer sinus-knuden, således at der skabes et øget HR.