**DIERENFYSIOLOGIE HOOFDSTUK 5: Circulatie**

1. Lichaamsvloeistoffen

* Multicellulaire organismen
  + Lichaamsvloeistoffen verdeeld in 2 compartimenten:
    - Intracellulaire & extracellulaire compartimenten
  + Wel 3 compartimenten onderscheiden
    - Intracellulaire omgeving
    - Extracellulaire omgeving
    - Externe omgeving
* ‘La fixeté du milieu intérieur est la condition de la vie libre’
  + Milieu intérier = interstitiële vloeistof
* 1) Intracellulaire compartiment
  + = het grootste compartiment
  + = intracellulaire vloeistof
  + = de optelsom van vloeistof aanwezig in alle lichaamscellen
  + Grootste volume vh lichaam
* 2) Intern extracellulair compartiment
  + = het kleinste compartiment
  + = tussencompariment tssn het intracellulaire comp & externe omgeving
  + = extracellulaire vloeistof
  + = alle vloeistof die zich buiten de cellen bevindt
  + In dieren met gesloten circulatiesystemen extracellulaire vloeistof subverdeeld in:
    - 1) Bloedplasma
      * => de bloedvaten v/e gesloten bloedsomloop bevatten plasma
    - 2) Interstitiële vloeistof
      * = Weefselvocht = intercellulaire vloeistof
      * => omgeeft de lichaamscellen
      * => voedingsstoffen en gassen die tssn plasma en cellen bewegen => moeten deze smalle vloeistofscheiding doorkruisen
      * => w voortdurend gevormd uit plasma door de beweging van vloeistof naar en uit microscopische vaatjes die zich in de nabijheid van elke cel bevinden
    - Vb: vertebraten, annelida & sommige invertebraten
  + Extracellulaire milieu
    - = essentieel voor cellen
    - Functie: de extracellulaire vloeistof beschermt/buffert cellen tegen fysische en chemische veranderingen buiten het lichaam (osmoregulatie)
    - Functie: uitwisseling met de externe omgeving (\*)
      * Aanvoer van zuurstofgas, mineralen & andere nutrienten, hormonen
      * Afvoer van afbraakproducten en schadelijke stoffen
* Uitwisseling met de externe omgeving gebeurt via het bloedplasma (\*)
  + Bloedplasma = dient als de pathway voor uitwisseling tssn de cellen & externe omgeving (buitenwereld)
  + De uitwisseling van gassen, nutrienten, afbraakproducten,… w volbracht door gespecialiseerde organen:
    - Nieren, lever; Longen/kieuwen; Huid; Darmkanaal

2. Lichaamsvloeistoffen samenstelling

* Lichaamsvloeistoffen samenstelling
  + Lichaamsvloeistoffen: plasma, interstitieel, intracellulaire vloeistof
    - Verschillen van elkaar in samenstelling: zie elektrolyten, proteinen
    - Gemeenschappelijk hoofdbestanddeel = water
  + 1) Hoofbestanddeel: water
    - * Dieren bestaan voor 70-90% uit water
      * Mens: +- 70% water (gewichtspercentage)
        + 50% water in intracellulair compartiment = celwater
        + 15% water in interstitiële vloeistof
        + 5% water in bloedplasma
  + 2) Anorganische elektrolyten & proteinen
    - Voornaamste (!!) **extracellulaire** elektrolyten:
      * Voornaamste: Natrium, chloride, bicarbonaat ionen
      * Klein beetje: proteinen, Mg, K
    - Voornaamste (!!) **intracellulaire** elektrolyten:
      * Voornaamste: Kalium, magnesium, fosfaat en veel (!) proteinen
      * klein beetje: HCO3-
      * geen Cl & Na (super lage conc aanwezig)
  + Conclusie:
    - Drastisch verschil tssn intracellulaire vloeistof & extracellulaire vloeistof
      * Verschil in stand gehouden door actief transport ionenpompen
      * vb Na+/K+ ATPasen
    - Beide netto lading neutraal (evenveel kationen als anionen)
  + Extracellulaire vloeistof: plasma & interstitiele vloeist wel gelijkaardige samenstelling
    - Maar plasma meer proteinen => zijn meestal te groot om te bewegen vd capillairen naar de interstitiële vloeistof

3. Open en gesloten circulatiesystemen

* Unicellulaire eukaryoot: Paramecium (pantoffeldiertje)
  + Cel is rechtstreeks in contact met externe omgeving => diffusie
  + Geen circulatieysteem nodig
* Eenvoudigste multicellulaire dieren: Porifera (sponzen)
  + Systeem van poriën en kanalen voorziet stroom van water doorheen organisme
    - Water stroomt door cilia, flagel of lichaambeweging
  + Water = het medium van transport
    - Kan voedsel, gassen en afvalstoffen transporteren
  + Geen circulatiesysteem
* Platwormen (Platyhelminthes)
  + Geen circulatiesysteem
  + De afstand tssn lichaamsdelen & oppervlak is kort want ze zijn plat
    - => gassen & afvalstoffen kunnen door simpele diffusie getransporteerd w
* Algemeen: Open en gesloten circulatiesystemen
  + Grote, actieve dieren: circulatiesysteem nodig
    - Reden: diffusie alleen kan hun niet voorzien van hun O2 behoefte
  + Gesloten circulatiesysteem = bloed stroomt doorheen een gesloten stelsel van vaten
  + Open circulatiesysteem = het bloed kan in delen vh lichaam vrij door het lichaamsweefsel vloeien
  + Verschillende diergroepen: open of gesloten circulatie
  + Grondslag vorm circulatiesysteem vroeg in de ontwikkeling
  + Tripoblast
    - 3 kiemlagen (ectoderm, endoderm, mesoderm)
      * Endoderm = binnenste kiemblad vh embyro, groeit uit tot spijsverteringskanaal, ademhalingsstelsel, urinewegstelsel
      * Ectoderm = buitenste kiemblad vh embryo, groeit uit tot zenuwstelsel &huid
      * Mesoderm = middenste kiemblad vh embryo, groeit uit tot skelet, spieren, voortplantinssysteem, ….
    - Initieel 2 lichaamsholten (blastocoel, coeloom)
      * Coeloom = holte afgelijnd door epitheel vd mesoderm
      * Blastocoel = centraal gelegen holte gevormd in de blastula
* Algemeen: Open circulatiesysteem
  + Vb: Arthropoden (insecten,…) & meeste weekdieren
  + Hemocoel
    - = lichaamsholte die bloed bevat
    - = fusie van blastocoel en coeloom
      * tijdens ontwikkeling vd lichaamsholte w de blastocoel niet volledig gevuld door mesoderm => blastocoel versmelt met coeloom holtes
    - = bestaat dus uit primaire lichaamsholte (blastocoel) en de secundaire coeloom holtes
  + Hemolymfe = het bloed = de lichaamsvloeistof in de hemocoel
  + Geen venen
  + Geen capillairen
  + Bloed volume groter dan bij gesloten circulatie
    - Reden: geen scheiding v extracellulaire vloeistof in bloed(plasma)&interstitieel vocht
* Open circulatiesystemen in insecten (arthropoda)
  + Hart en organen liggen in hemocoel badend in hemolymfe
  + Insecten: gebruiken hun circulatiesysteem niet voor zuurstoftransport
    - Ze hebben voor O2transport een apart ademhalingssysteem
      * = tracheaal systeem ⬄ boeklonge bij spinnen,…
  + Circulatie bloed:
    - 1) Hemolymfe komt het hart binnen via ostia (klepopeningen)
    - 2) Hartcontracties => lijkt op peristaltische beweging vh hart => stuwt hemolymfe in een beperkt systeem van arterien
    - 4) Ook bloedtoestroming vanuit hulpharten
      * Reden: door de lage bloeddruk in open systemen
    - 5) Hemolymfe vloeit naar het hoofd & andere organen & dan in de hemocoel
    - 6) Hemolymfe vloeit doorheen hemocoel (door het lichaam) begeleid door septa => dan terug naar hart
* Algemeen: Gesloten circulatiesysteem
  + Meeste annelida (ringwormen), cephalopoden, alle chordaten
  + Coeloom w groter tijdens de embryonale ontwikkeling => enkel coeloom!
    - Gevolg: De blastocoel verdwijnt
  + Bloedvatensysteem ontwikkelt zich als nieuwe holte omgeven door mesoderm
  + Algemene bouw:
    - Hart: pompt bloed in de arterien die vertakken
    - Vertakkende arterien: vernauwen in arteriolen
    - Arteriolen: vernauwen in capillair netwerk
    - Capillairen: dunne wand (1 cellaag), maakt contact met cellen & weefsels
      * Bloed stroomt uit capillairen de venulen binnen
    - Venulen: bloed stroomt naar de venen
    - Venen: zorgen dat bloed terugkeert naar het hart
  + Gesloten circulatiesysteem is beter geschikt voor grote actieve dieren
    - Reden: bloed stroomt snel naar de meest actieve weefsels & regulatie bloedtoevoer naar organen mogelijk door de diameter vd vaten te regelen
  + Hogere bloeddruk in gesloten systemen => gevolg:
    - Voortdurende vorming interstitieel vocht
      * Dwz vloeistof stroomt door de capillaire wanden in ruimten
    - Deel w rechtstreeks terug opgenomen in capillairen door osmose
    - Overige vloeit terug via lymfevaten (recovered door lymfevatenstelsel)
* Gesloten circulatie in regenworm
  + Circulatiesysteem met alle componenten aanwezig
    - (pomp, arterieel distributie systeem, capillairen, venous reservoir & terugkeersysteem)
    - Capillairen: interactie met cellen
    - 2 hoofd bloedvaten: dorsaal & ventraal bloedvat
    - Dorsaal bloedvat
      * Stuwt/vervoert het bloed in anterior richting dmv peristaltiek
        + Gevolg: het functioneert als hart (peristaltische beweging)
    - Ventraal bloedvat
      * Stuwt/vervoert het bloed in posterior richting doorheen het lichaam
    - Aortabogen
      * Verbinden het dorsale en ventrale bloedvat lateraal
      * Zijn contractiel => functioneren als hulpharten => zo onderhouden ze een stabiele bloedstroom naar het ventrale bloedvat & hoofdregio
    - Er is geen lokale pomp die het bloed duwt => de contractiecapaciteit is verspreid over bloedvatenstelsel
* Samenvatting: Open en gesloten circulatiesystemen
  + Invertebraten zonder circulatiesysteem
    - Vb: platworm
    - Geen bloed
    - Helder waterig weefselvocht: cellen, proteinen, zouten
  + Invertebraten met open circulatiesysteem
    - Vb: insecten
    - Hemolymfe
  + Invertebraten (vb Annelida) en vertebraten met gesloten circulatiesysteem
    - Bloed
    - Interstitieel vocht
* Samenvatting: Circulatiesystemen per phylum
  + Dipoblasten (Cnidaria) en sponzen: geen circulatieysteem
  + Tripoblasten
    - Platyhelminthes, Nematoda: geen circulatiesysteem
    - Coelomaten
      * Arthropoda, Mollusca: open circulatiesysteem
        + Uitz: Cephalopoda: gesloten circulatiesysteem
      * Annelida, Chordata: gesloten circulatiesysteem

4. Samenstelling vh bloed

* Invertebraten zonder circulatorisch systeem
  + Vb: platwormen, cnidaria
  + => hebben geen echt ‘bloed’
* Invertebraten met open circulatorisch systeem
  + => bloed wordt hemolymfe genoemd
    - = ‘waterig bloed’
    - = lichaamsvloeistof die zowel bestaat uit extracellulaire vloeistof en bloed
* Invertebraten met gesloten circulatorisch systeem
  + Hebben een scheiding tssn bloed in de bloedvaten en extracellulaire vloeistof/interstitieel vocht rondom de bloedvaten en cellen
* Vertebraten
  + Bloed bestaat uit plasma & cellulaire componenten gesuspendeerd in plasma
* Samenstelling vh bloed in vertebraten (zoogdieren)
  + 55% vh bloed: plasma
    - 90% water
    - Opgeloste stoffen
      * Plasmaproteinen = diverse groep van kleine & grote proteinen
        + 1) albumines: meest abundante groep

helpt om het plasma in osmotisch evenwicht te houden met de cellen vh lichaam

* + - * + 2) globulines: diverse groep met hoge-moleculaire-gewicht proteinen

Bevatten immunoglobulines: antilichamen geproduceerd als reactie op antigenen

Bevatten metaalbindende proteinen

* + - * + 3) fibrinogeen: groot eiwit dat rol heeft in bloedstolling
      * Glucose, Aminozuren, Elektrolyten, Enzymen, Hormonen, Metabole afvalstoffen
    - Opgeloste gassen: O2, CO2, N2
  + 45% vh bloed: bloedcellen (cellulaire componenten)
    - Rode bloedcellen = erytrocyten
      * Functie: transport van O2 naar organen & weefsels
      * Bevat hemoglobine = bloed-transporting pigment
        + Functie: transport van O2 & CO2
    - Witte bloedcellen = leukocyten
      * Vormen een deel vh immuunsysteem vh lichaam
      * Functie:
        + Als scavengers: opruimen van debris (overblijfselen)
        + Als defensieve cellen: rol in de immuunafweer

Vb: verdedigen tegen infecties

* + - Bloedplaatjes: celfragmenten of cellen
      * Functie: rol in bloedstolling
        + Celfragmenten: bloedplaatjes in zoogdieren
        + Cellen: trombocyten (bloedplaatje) in andere vertebraten
      * Bloedplaatjes = de kleinste cellen in het bloed die rol hebben in bloedstolling
* Rode bloedcellen (erytrocyten)
  + Ongeveer 5 miljoen RBC/mL bloed -
  + Continue turnover van erytrocyten
    - Vorming/productie erytrocyten
      * Tijdens vorming erytrocyten: synthese hemoglobine
      * Zoogdieren & vogels
        + Erytrocyten continu geproduceerd uit grote gekernde erytroblasten in het rode beenmerg
        + Erytroblast = rode beenmergcel waaruit een rode bloedcel ontstaat, bevat een kern
      * Andere vertebraten
        + Erytrocyten geproduceerd in nier & milt
      * Zoogdieren erytrocyt: geen celkern & geen mitochondrien, biconcaaf
        + Celkern krimpt tijdens de ontwikkeling vd erytrocyten => w onfunctioneel => gaat verloren uit de cel dmv exocytose
        + Geen mitochondrien => gaan ook verloren
        + Wat overblijft: biconcave schijf bestaande uit een zakvormig membraan vol met hemoglobine moleculen

Biconcaaf = naar binnen gebogen langs 2 kanten

* + - * + Voordeel biconvave schijf: groter oppervlak voor gas diffusie
      * Niet zoogdier vertebraten erytrocyt: wel celkern, convex
    - Opgeruimd door microfagen in lever, beenmerg en milt
      * Macrofagen = cellen die stoffen opruimen via fagocytose
      * Ijzer vd heme van hemoglobine: w opnieuw geïncorporeerd in hemoglobine (herbruikt)
      * De rest vd heemgroep: w geconverteerd naar bilirubine
        + Bilirubine = een galpigment => geeft gal gele kleur
        + Via gal in spijsvertering => geeft kleur aan uitwerpselen => opstapelen in bloed (niet goed afgevoerd) => bloed een gele kleur =geel zucht
* Witte bloedcellen (leukocyten)
  + Granulocyten
    - => bevatten gelobde, variërende celkern bestaande uit 3 segmenten
    - = type witte bloedcel dat granulen in het cytoplasma bevat:
    - Eosinofiele granulocyt
      * Functie: rol in immuunsysteem
        + Vernietiging van parasieten

Binden aan de parasiet => beschadigen dan de celwand dmv oxidatieve reacties

* + - * + Opruimen antigen-antilichaamcomplexen
    - Neutrofiele granulocyt
      * Functie: rol in immuunsysteem
        + Vormen de primaire immuunrespons => infecties kunnen snel gecontroleerd w
        + Fagocyteren bacterien en schimmels, maw ze zorgen dat ze vernietigd worden
      * Tekort: leidt tot gevoeligheid voor bacteriele infecties
    - Basofiele granulocyt
      * Rol: Allergische reactie => basofielen laten inhoud vd granulen/korrels vrijkomen => hierdoor verwijden veel bloedvaten & gaan lekken => bloedvolume w kleiner
        + Gevolg: persoon in circulatoire shock
  + Agranulocyten
    - = type witte bloedcel
    - Monocyten
      * Functie: rol in immuunsysteem
        + Differentiatie tot macrofagen

=> door fagocytose (vertering) lichaamsvreemde stoffen opnemen

* + - Lymfocyten
      * Gevormd in het rode beenmerg
      * Functie: rol in immuunsysteem
      * T-lymfocyten
        + = afweercellen
        + Functie: vernietigen veranderde lichaamseigen cellen
      * B-lymfocyten:
        + Functie: produceren antilichaam => herkennen niet-lichaamseigen antigenen
* Bloedplaatjes
  + => Geen celkern, het zijn celfragmentjes
  + Functie bloedplaatjes: Bloedstolling bij vertebraten
  + Reden: voorkomen van bloedverliezen na schade, verwonding
    - Hemostase = het mechanisme om bloedverlies te voorkomen
    - Dit gebeurt onder andere door vier belangrijke regelmechanismen:
      * Vasoconstrictie
      * Bloedcoagulatie
  + 1) Vasoconstrictie
    - Alle invertebraten en vertebraten
    - Indien bloedvat beschadigd => contractie gladde spieren in de bloedvatwand => hierdoor vernauwt het vaatlumen = vasoconstrictie
      * Soms zo’n sterke contractie => dat bloedstroom stopt
  + 2) Propvorming
    - 1) Indien het binnenopp. v/e bloedvat is onderbroken, door een breuk of door afzettingen van cholesterol-lipide materiaal => bloedplaatjes hechten zich snel aan het oppervlak
      * Hechten bloedplaatjes aan bloedvatoppervlak komt doordat ze contact maken met de collageenvezels vd vaatwand die door beschadiging bloot komen te liggen
    - 2) bloedplaatjes aan collageen gehecht => thromboxaan (hormoon: stolling) activeert de bloedplaatjes => trekt andere bloedplaatjes aan => propvorming (nog geen stolsel)
  + 2) Bloedcoagulatie
    - Vertebraten en grote, actieve invertebraten met hoge bloeddruk
      * Hebben in het bloed cellulaire componenten (**bloedplaatjes**) en **eiwitten** die stolsels kunnen vormen op een verwondingsplaats
    - Bloedstolling/coagulatie
      * = treedt op als een cascade van chemische reacties
      * => amplificatie treedt op bij elke stap in de cascade => signaal w vergroot => dus zelfs bij kleine verwondingen => snelle & grote response
    - Bloedstolling in vertebraten
      * 4) aan het opp laten bloedplaatjes & de beschadigde cellen & plasma (factors include Ca+ en K) stollingsfactoren vrij
      * 5) Stollingsfactoren worden geactiveerd in een cascade reactie
      * 6) Cascade stollingsfactoren activeert prothrombine tot thrombine
      * 3) Thrombine enzyme katalyseert de transformatie van fibrinogeen (plasmaproteine) in fibrine => fibrine kan een netwerk vormen tussen de bloedcellen => vorming van een gelachtig stolsel
    - Hormoon: thromboxaan + => activeert bloedstolling
    - Hormoon: prostacycline - => Inhibitie activatie bloedplaatjes & bloedstolling
      * Zie H4
  + Hemofilie
    - = bloederziekte
    - = een erfelijke stoornis in de bloedstolling
    - => minder goede bloedstolling doordat bepaalde stollingsfactor ontbreekt
  + Factor V Leiden
    - = een afwijkende vorm van een vd eiwitten die de bloedstolling regelen
    - => leidt tot een snellere/ verhoogde neiging van bloedstolling door mutatie in het gen voor stollingsfactor V
* Serum vs plasma
  + Centrifugatie van bloed na toevoegen van antistollingsfactor (vb heparine)
    - Plasma (inclusief fibrinogeen want nog niet gestold) (bovenaan)
    - Witte bloedcellen en bloedplaatjes (midden)
    - Rode bloedcellen (onderaan)
      * Hematocriet: volume van RBC tov totaal bloedvolume
        + Bepaald door centrifugatie buisje bloed
        + Lage hematocriet: anemie (bloedarmoede) = te weinig RBC
        + Hematocriet verhogen door injectie v. EPO /erythropoietine

= Hormoon geproduceerd door nier

Functie: stimuleert productie RBC => verhoging hematocriet

* + Centrifugatie van bloed zonder stollingsfactor
    - Serum = plasma zonder proteinen die betrokken zijn in bloedstolling!!!
    - Bloedprop: WBC, RBC, fibrine

5. Vertebrate circulatiesystemen

* Vertebraten: Kieuwenademhaling (aquatisch) => longen (terrestrisch)
  + Gevolg: **graduele** scheiding van hart in 2 aparte pompen v aquatisch => terrestrisch
* Hart van een vis
  + Bevat 2 hoofdkamers in serie: atrium en ventrikel in serie
  + Sinus venosus
    - = de vergrote kamer voor het atrium (gaat het atrium vooraf)
    - Functie: verzamelt bloed van het venen systeem en verzekerd een vlotte overgang vh bloed naar het hart
  + Teleosten (beenvissen)
    - Hebben een bulbus arteriosus
    - Functie: dempt de bloeddrukoscillaties vooraleer het bloed in de fijne bloedvaten/ capillairen stroomt => bescherming capillaire netwerken
  + Elasmobranchii (haaien en roggen maw kraakbeenvissen)
    - Hebben een 4de hartkamer: de conus arteriosus
    - Functie: zelfde functie als bulbus
  + Bloed maakt 1 circuit (passeert 1x het hart)
    - Zuurstofarm (?) bloed w gepompd vh hart (vh atrium naar ventrikel) naar de kieuwen => bloed wordt zuurstofrijk => stroomt in de dorsale aorta (grootste slagader) => verdeeld over de organen => zuurstofarm bloed (?) keert uiteindelijk terug via venen naar het hart
      * Hart moet voldoende druk uitoefenen om het bloed doorheen 2 opeenvolgende capillaire netwerken te duwen: dat vd kieuwen & dat van derest vh lichaam
    - Nadeel: **kieuw** capillairen oefenen veel weerstand uit op de bloedstroom => hierdoor **lage bloeddruk in weefsels**
* Hart van een amfibie: 3 kamers (salamander)
  + Atrium is volledig verdeeld in 2 atria
    - Rechteratrium ontvangt veneus/zuurstofarm bloed van weefsels (lichaam) (via de sinus venosus)
    - Linkeratrium ontvangt zuurstofrijk bloed van longen en huid
  + 1 ventrikel
    - Ventrikel is niet verdeeld, maar het zuurstofarm & zuurstofrijk bloed blijven meestal wel wat gescheiden door een spiraalvormige plooi in conus arteriosus
  + Sinus venosus & conus arteriosus (zie ppt)
  + Dubbele circulatie bloed
    - Oorzaak: door de evolutie van longen tssn aorta & hart ipv kieuwen
    - Gevolg: hogere bloeddruk
    - 1) Systematische circulatie: voorziet zuurstofrijk bloed naar weefsels
    - 2) Longcirculatie: voorziet zuurstofarm bloed naar longen
    - OPM: nog geen volledige scheiding tssn de circuits
      * Dus gemengd bloed gaat naar longen & weefsels!!!!!!
* Hart van reptielen
  + Atrium volledig verdeeld in 2 atria
  + Partieel septum in ventrikel => partiële scheiding ventrikel
  + Ook dubbele circulatie bloed
    - OPM: nog geen volledige scheiding tssn de circuits
      * Dus gemengd bloed gaat naar longen & weefsels!!!!
  + ⬄ Krokodillen, vogels, zoogdieren
    - volledige septum in ventrikel => onderscheidt 2 ventrikels
    - Resultaat: 2 atria, 2 ventrikels = 4 kamers
    - Dubbele circulatie bloed: Systematische en pulmonary circuits zijn volledig gescheiden circuits, elk bediend door 1 helft vh dubbel hart
* Hart van zoogdieren
  + = musculair orgaan gelegen in de borstholte
  + Bevat 4 kamers: 2 atria, 2 ventrikels
  + Pericardium = hartzakje
    - = taai vliesachtig zakje
    - = bevat het hart & is gelegen in de borstholte (thorax)
  + Structuur: superior vena cava, inferior vena cava, rechter & linkeratrium, rechter & linkerventrikel, aorta, longslagaders, longaders, kleppen (zie ppt foto)
  + Dubbele circulatie bloed
    - Bloed dat terugkeert vd longen (pulmonary circuit) => via longaders => verzamelt in linker atrium => gaat naar linker ventrikel => via aorta gepompt naar derest vh lichaam (systematisch circuit)
    - Bloed dat terugkeert vh lichaam => via inferior (posterior) en superior (anterior) vena cava => naar het rechteratrium => naar rechterventrikel => pompt het bloed via longslagaders => naar longen
    - Systematische en pulmonary (long) circuits zijn volledig gescheiden circuits, elk bediend door 1 helft vh dubbel hart
  + Preventie terugstroom vh bloed in hart => door hartkleppen
    - Kleppen gevormd als verlengingen vd binnenwand vh hart
      * Kunnen passief openen & sluiten in respons op de drukverschillen tussen de hartkamers
    - Kleppen die de holtes vh atrium & ventrikel in elke helft vh hart scheiden
      * Bicuspidalis (mitralis) = linker atrio-ventriculaire klep
      * Tricuspidalis = rechter atrio-ventriculaire klep
    - Kleppen die terugstroom v bloed in arterien terug in ventrikels voorkomen
      * Semilunaire aortaklep
      * Semilunaire longklep
      * = op plaats waar de longslagader (RV) & aorta (LV) het hart verlaten
  + 2 pompen
  + Debiet afhankelijk van hartslag & hartvolume
  + Coronaire circulatie (hartinfarct)
    - Hart heeft eigen vasculair systeem nodig
      * Reden: het is groot & heeft dikke spierlaag
      * Reden: Het bloed dat w rondgepompt geeft te weinig O2 aan hart
    - Hart heeft dus eigen netwerk van bloedvaten
      * => ligt aan de buitenkant op het hart
      * = de kransslagaders = de coronaire circulatie
    - Kransslagaders
      * Komen uit de grote slagader/ aorta
      * 1) Rechterkransslagader loopt naar rechterkant vh hart& Linkerkransslagader loopt naar linkerkant vh hart
      * 2) Ze splitsen in aantal vertakkingen die het hart omsluiten => voorzien een capillair netwerk rond spiervezels zo van O2 & nutrienten
    - Hartattack = indien er een gedeeltelijke of volledige blokkage optreedt => reductie in coronaire circulatie => hartcellen sterven door gebrek aan O2
* Contractie vh menselijk hart: systole/diastole **(= hartcyclus)**
  + Systole = contractie vh hart
  + Diastole = relaxatie vh hart
  + 1) Passieve vullingsfase
    - = rustfase van het hele hart
    - De atria & ventrikels zijn ontspannen
    - Bloeddruk over het hele hart is laag
    - De atria en ventrikels worden gevuld met bloed tijdens deze fase
  + 2) Actieve vullingsfase
    - Oiv impulsen uit sinusknoop => beide atria contraheren (atriale systole) & ventrikels relaxeren (ventriculaire diastole)
    - Atria contractie => vena cava (holle aders) & longaders w dicht geknepen => bloed wordt naar ventrikel geduwd via AV kleppen
    - AV kleppen openen
      * Er stroomt O2arm bloed van rechteratrium naar rechterventrikel
      * Er stroomt O2rijk bloed van linkeratrium naar linkerventrikel
      * => ventrikel w gevuld met bloed
  + 3) Ventrikel systolische fase
    - Beide atria ontspannen zich eerst (atriale diastole) => de sinusprikkels w via de AV knoop, bundel van His, bundeltakken & purkinjevezels over de kamerwand verspreid => ventrikel contraheert (ventriculaire systole)
    - AV kleppen zijn dicht & semilunaire kleppen open
      * Er stroomt O2arm en O2 rijk bloed door aorta & longslagader weg
* Grafiek
  + Kleine dieren: hogere hartslag

6. Prikkelgeleiding over het menselijk hart

* Prikkelgeleiding over het menselijk hart
  + Hartspier is onafhankelijk van zenuwactiviteit om een contractie te initiëren
    - ⬄ skeletspieren
    - in plaats daarvan: stimulatiecentrum zit in het hart zelf
  + Prikkelgeleiding door gespecialiseerde hartspiercellen: de Pacemakercellen
    - Zorgen voor een regelmatige contractie vd hartspier
      * => hartslag gebeurt spontaan en onwillekeurig
  + In reptielen, vogels, zoogdieren
    - 1) De eerste pacemaker zit in de sinoatriale knoop
      * Sinoatriale knoop (SA)
        + = een overblijfsel vd voorouderlijke sinus venosus die gevonden wordt in vissen en amfibien
        + = hierin zit de 1ste pacemaker (pacemakercellen)
        + Zit in de wand vd rechteratria
      * => Zorgt voor een regelmatige contractie vd hartspier => initieert elektrische activiteit (= een spontane periodieke impuls)
    - 2) Elektrische impuls, geïnitieerd in pacemaker => verspreid over de spieren van 2 atria => systole van atria (contractie vd atria)
      * Tijdens contractie atria => ventrikels in rust => atria vullen zo de ventrikels met bloed
    - 3) Elektrische impuls bereikt de secundaire pacemaker: de atrioventriculaire knoop
      * Atrioventriculaire knoop AV
        + = gelegen in het niet geleidende tussenschot, tssn linker & rechteratria en tssn atria en ventrikels (kamers)
        + => tussenschot kan geen impuls geleiden => de spiercontractie loopt hier dood

maar de AV in het tussenschot kan wel de impuls geleiden, maar met lichte vertraging

* + - * + => AV vangt de prikkel op & prikkel w even vastgehouden => lichte vertraging vooraleer prikkel naar ventrikels gaat
      * Tijdens de vertraging: atria kan nog steeds bloed naar de ventrikels pompen
    - 4) De prikkel/ elektrische impuls gaat vanaf de AV **snel** eerst door de bundels van His => dan door de linker en rechtderbundeltakken => dan via het netwerk van de purkinjevezels naar ventrikels => systole vd ventrikels (contractie)
      * Bundels van His & Purkinjevezels
        + = gemodificieerde spiervezels gespecialiseerd in doorgeven van elektrische signalen uit AV knoop naar ventrikels
        + = gelegen in tussenschot tssn linker & rechterventrikel
        + Bundels His & bundeltakken => brengen de impuls naar onderste punt vh hart => Purkinjevezels => vanaf daar gaat de impuls omhoog

Dwz contractie ventrikels begint onderin & gaat naar boven => meest efficiente manier opstuwen bloed

* + - *5) Systole ventrikels => druk in ventrikels hoger dan druk in longslagader & in aorta => openen pulmonalis & aortaklep => bloed stroom slagaders in => contractiegolf hartspier loopt dood => hart ontspant (diastole) => atria (& ventrikels) vullen zich weer met bloed => atria contraheert => ventrikel vult zich volledig =>… cyclus*
    - Contractie / systole: de elektrische impuls zorgt er telkens voor dat de wand vd spiercellen in de hartspier hun elektrische lading verliezen => dit zorgt voor contractie = contractiesignaal
* Regulatie hartslag: feedbacksystemen
  + Essentie: de hersenstam zorgt voor externe regulatie van het hart
  + Hersenstam is verbonden via 2 sets van zenuwen met het hart (de SA knoop)
    - De parasympaticus & de sympaticus
      * Parasympaticus: zorgt voor verlaging hartslag bij activatie
      * Sympaticus: zorgt voor verhoging hartslag bij activatie
    - Beide zenuwen eindigen in de SA knoop van het hart
      * SA knoop = dus onder controle van autonoom zenuwstelsel vanuit hersenstam
  + Hersenstam (in de medulla) ontvangt info over bloeddruk en chemie (pH, CO2)
    - => kan dan een aanpassing hartslag en slagvolume regelen in respons op de informatie
    - Vb: pH meten => pH te laag => activatie sympaticus => hartslag omhoog
* Elektrocardiogram (EKG)
  + = een registratie vd elektrische activiteit vd hartspier
  + P top: de depolarisatie vd atria => contractie atria (systole)
    - Hierbij w bloed vd atria naar ventrikels gepompt
  + QRS complex: de depolarisatie vd ventrikels => contractie ventrikels (systole)
    - Ventrikel pompt bloed uit het hart
    - Grotere piek dan P want ventrikels zijn groter & meer spiervezels => dus grotere contractie
  + Na de T top: de repolarisatie (diastole)
    - Atria & kamers vullen zich weer

7. Arteriën, venen, capillairen, lymfevatenstelsel

* Arteriën en venen opbouw
  + Aan buitenkant: bindweefsellaag
  + Circulaire gladde spieren & elastische vezels
    - Veel dikkere spierlaag in arterien dan in venen
      * Meer elastische vezels in elastische arterien
      * Meer gladde spieren in musculaire arterien
  + Enkel arterien: elastisch membraan rond endotheliale cellaag
  + Endotheliale cellaag
* Arteriën
  + = alle vaten die het hart verlaten, of ze nu zuurstofrijk of arm bloed dragen
  + Elastische arteriën = de grootste arteriën, het dichtste bij het hart
    - Omringd met dikke lagen elastische vezels & ook beetje gladde spieren &….
      * Gevolg: kunnen uitrekken als het bloed het hart verlaat tijdens de systole & terug slaan tijdens de diastole
    - Arteriele druk
      * Tijdens systole: 120mmHg
      * Tijdens diastole: 80mmHg
  + Musculaire arteriën = arterien verder weg van het hart
    - Wanden bestaan meer uit gladde spieren & minder uit elastische vezels
    - Kunnen hun diameter laten toenamen of afnemen
      * Gevolg: dempen de drukoscillaties vooraleer het bloed de organen bereikt
  + Arteriolen = kleine slagaders
    - Arterien vertakken en vernauwen in arteriolen
    - Wanden bestaan enkel uit 1 of 2 lagen gladde spieren rond epitheellaag
    - Gevolg:
      * contractie => vernauwd de arteriolen => reduceert bloodstroom naar sommige organen
      * ontspannen => stijging bloedstroom naar organen
      * algemeen: contractie mogelijk om bloedtoevoer te reguleren
* Capillairen
  + = links tussen het slagader & venen systeem
  + Extreem smal, wanden gevormd uit 1 laag endotheelcellen
  + => bloeddruk in de capillairen heeft de neiging vloeistoffen te duwen door of tussen de capillaire endotheelcellen, naar de omliggende interstitiele ruimte
    - Water kan langs de endotheelcellen via watergevulde spleten of doorheen de endotheelcellen via pinocytose
      * Pinocytotische blaasjes = ku materiaal vd ene kant v/e epitheelcel naar de andere kant verplaatsen
    - Vetoplosbare stoffen kunnen doorheen endotheelcellen via diffusie
  + => osmotische druk
    - Plasmaproteinen kunnen niet doorheen endotheelcellen
      * Ze dragen bij aan de osmotische druk in het bloed
      * Reden: zijn te groot => kunnen niet langs de endotheelcellen via de watergevulde spleten
      * Gevolg: een bijna proteinevrij filtraat naar buiten gedwongen
  + Vochtbalans
    - = geregeld door 2 tegengestelde krachten: de hydrostatische (bloed) druk & de osmotische druk
      * Hydrostatische druk = bloeddruk
      * Osmotische druk = veroorzaakt door de proteinen
    - Aan arterieel einde: bloeddruk > osmotische druk
      * Netto beweging uit het capillair
    - Aan venen einde: osmotische druk > bloeddruk
      * Netto beweging in het capillair
    - Resultaat: water en opgeloste stoffen worden aan arterieel einde uit de capillairen gefilterd naar de interstitiele ruimte & komt er terug in aan het venen einde na filtratie
    - Uitflow > inflow
      * => de overige interstitiele vloeistof in de interst. Ruimte w gedraineerd door het lymfevatenstelsel => terug in het circulatorisch systeem gebracht
* Venen (aderen)
  + = Dunnere wand, minder elastisch en grotere diameter dan de slagaders
  + Hebben een lage bloeddruk
    - Gevolg: terugkeer van het bloed moet geassisteerd w door kleppen
  + Terugkeer van bloed
    - Door venen stroomt het bloed dat vd ledematen terugkeert (omhoog wordt gepompt) naar het hart
    - Door de lage bloeddruk moet de terugkeer vh bloed ondersteund worden door:
      * Veneuze kleppen = kleppen in de aderen
        + Kleppen verdelen de kolom van bloed in segmenten
        + Kleppen gevormd als invouwingen
      * Omgevende skeletspieren = skeletspieren rond de aderen
        + Conractie spier => venen samengeknepen => bloed stroomt richting hart (want kleppen houden terugstroom tegen)
      * Aanzuigeffect van diastole = zuigeffect gecreëerd tijdens diastole
      * Ritmische beweging vd longen tijdens het ademen => inademen => negatieve druk => bloed naar hart
    - Zonder deze mechanismen: bloed zou zich verzamelen in onderste ledematen van staand dier
* Lymfevatenstelsel
  + = een uitgebreid netwerk van vaten met dunne wand
    - => Dit netwerk ontstaat als blinde eindigende **lymfecapillairen** in meeste weefsels vh lichaam
    - => deze lymfecapillairen verenigen zich tot een boomachtige structuur van **steeds grotere lymfevaten**
    - => deze grote lymfevaten vloeien uiteindelijk in aderen in de onderkant vd nek
  + = afvoerend systeem
  + = transporteert lymfe of lymfevocht vd weefsels
    - Ontstaat in de weefsels & neemt afvalstoffen uit het lichaam op
  + Functies
    - 1) Het overige interstitiële vloeistof, dat over de capillaire endotheelcellen naar interstitiele ruimtes werd gefilterd, terug naar het bloed te transporteren
    - 2) Transport lipiden uit de darm naar het bloed
      * Lipiden die uit de darm worden geabsorbeerd => bereiken via het lymfevatenstelsel het bloed, wanneer ze in de lacteals in de darmvili vd dunne darm terechtkomen
      * Lacteal = een lymfatisch capillair dat vetten absorbeert, gelegen in de darmvili vd dunne darm
    - 3) Centrale rol in immuunsysteem
      * Lymfeknopen / lymfeklieren
        + = gelokaliseerd in intervallen langs de lymfevaten
        + = op plaatsen waar meerdere lymfevaten kruisen
      * Functie: immuunfunctie (defensie gerelateerde functie)
        + 1) Macrofagen = cellen in de lymfeklieren die vreemde deeltjes (vooral bacterien) of afvalstoffen uit lymfevocht verwijderen die anders in de algemene circulatie zouden terecht komen
        + 2) Lymfeknopen zijn ook centra voor de productie, onderhoud & distributie van lymfocyten

Lymfocyten = essentieel voor immuunsysteem vh lichaam = witte bloedcellen die bacterien & virussen kunnen vernietigen

* + - Algemeen: het verwijderen van afvalstoffen uit het lichaam (afvalstoffen uit het lymfevocht) & afweer tegen infecties door de witte bloedcellen (lymfocyten)