Gefäßsystem und Blutkreislauf

Anatomie des Gefäßsystems:

Aufgaben des kardiovaskulären Systems:
- Transport & Verteilungssystem, dient der Homöostase
- Transport von:
  - ↳ Atemgasen, Nährstoffen, Metaboliten
  - ↳ Wasser & Elektrolyte (→ stabile Durchblutung der Niere)
  - ↳ Säure & Basen → pH-Regulation
  - ↳ Wärme zur Körperoberfläche → Temperaturregulation
  - ↳ Hormone
  - ↳ Humorale & zelluläre Komponenten des Immunsystems

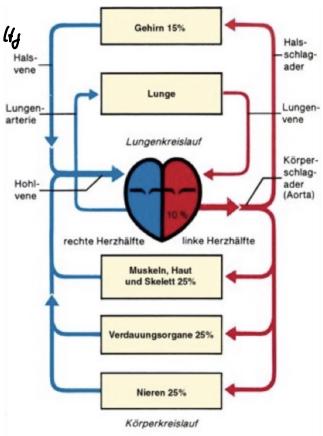
Aufbau des kardiovaskulären Systems:

Großer Kreislauf / Körperkreislauf:
- Linker Ventrikel wirft Blut aus
- Versorgung der parallel geschalteten Gefäße der Organe
- Blut fließt zurück zum rechten Herzen

Kleiner Kreislauf / Lungenkreislauf:
- Rechter Ventrikel wirft Blut aus
- Blut fließt durch Lungengefäßsystem & wird oxigeniert
- Blut fließt zum rechten Herzen zurück

Hochdrucksystem: $P_m = 60\text{–}100$ mmHg
- linker Ventrikel in Systole
- Arterien des großen Kreislaufs

Niederdrucksystem: $P_m < 20$ mmHg
- Kapillaren, Venolen, Venen
- rechtes Herz
- Lungengefäße
- linkes Herz während Diastole



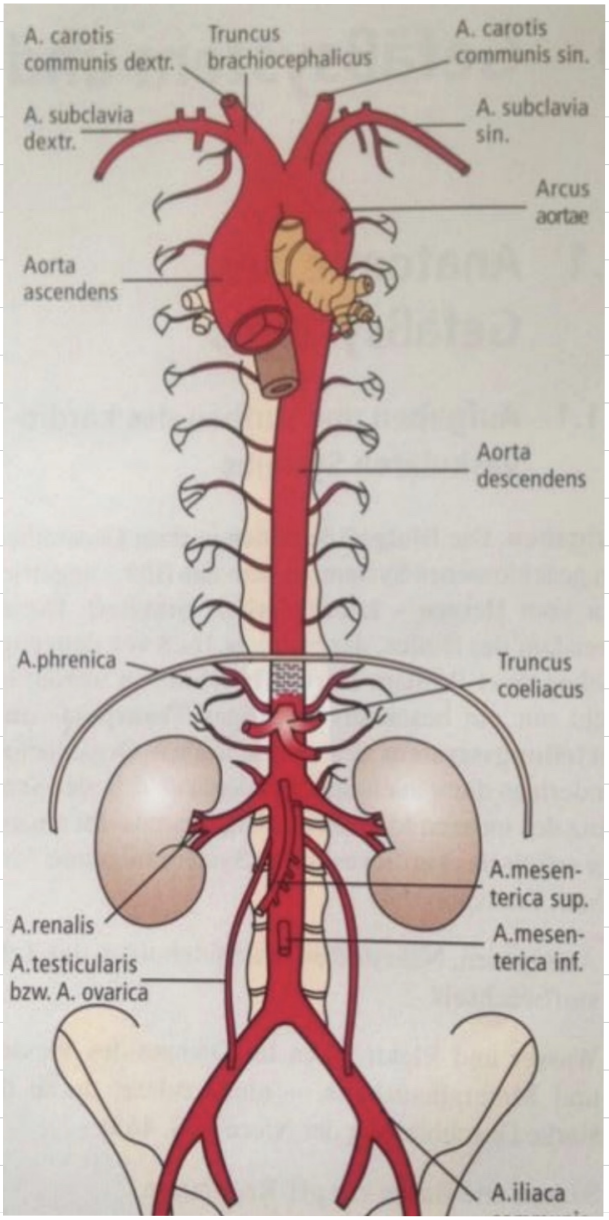
Makroskopische Anatomie des Gefäßsystems:

Aorta: nimmt Blut aus dem linken Ventrikel auf
- Aorta ascendens
- Arcus aortae
- Aorta descendens
- Aufteilung in linke & rechte A. iliaca communis

3 große Arterienstämme aus Aorten Bogen:
- Truncus brachiocephalicus
  - ↳ A. carotis communis dextra (rechter Kopf)
  - ↳ A. subclavia dextra (rechter Arm)
- A. carotis communis sinistra (linker Kopf)
- A. subclavia sinistra (linker Arm)

Paarige Arterien: jeweils links & rechts im Bauchraum:
- Zwischenrippenarterien, Zwerchfellarterien
- A. renalis (Niere)
- Keimdrüsenarterien

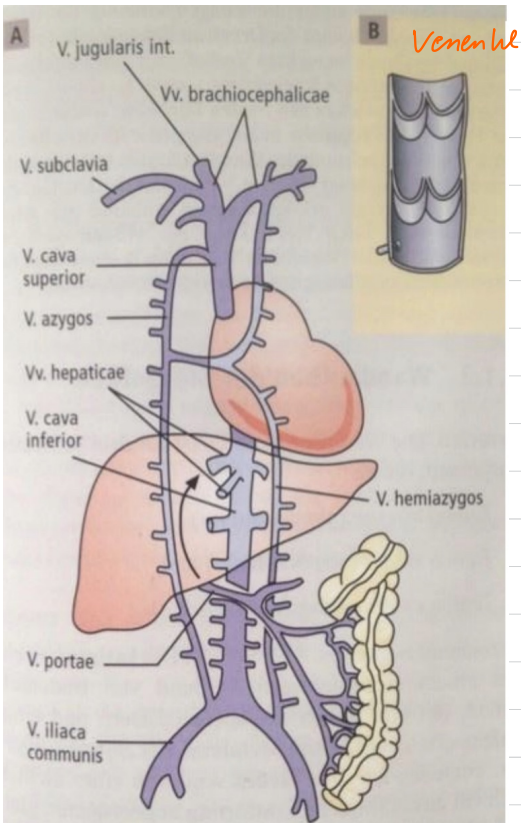
3 große unpaarige Eingeweidearterien:
- Truncus coeliacus
  - ↳ Versorgung von Magen, Leber, Milz, Bauchspeicheldrüse
- A. mesenterica superior / inferior
  - ↳ Darmversorgung



Venenstämme:

V. brachiocephalica: sammelt Blut aus:
- V. jugularis interna (Kopf & Hals)
- V. subclavia (Arm)
- rechte & linke Vene endet in V. cava superior

V. cava inferior: sammelt Blut aus
- linker & rechter V. iliaca communis
- paarigen Eingeweidearterien
- V. hepaticae (Lebervenen)
  - ↳ große Teile des Bluts aus dem Magen-Darm-Trakt, Milz & Bauchspeicheldrüse sammelt sich zunächst in V. portae (Pfortader) & strömt dann durch die Leber



Fetaler Kreislauf: Blutkreislauf des ungeborenen Kindes
- Lungenkreislauf noch nicht in Betrieb

Ablauf:
1) Sauerstoffreiches Blut gelangt über Nabelvene (V. umbilicalis), welche mit Plazenta verbunden ist, in den Fötus
   - ↳ größter Teil: über Ductus venosus direkt in V. cava inferior
   - ↳ geringer Teil: in Pfortader → versorgt die Leber
2) Blut wird in V. cava inferior gemischt (O_2-Sättigung von ca. 65-70%) und gelangt über den rechten Vorhof direkt in den linken Vorhof
   - ↳ Öffnung zwischen den Vorhöfen: Foramen ovale
   - ↳ Blut gelangt über Aorta in großen Körperkreislauf
3) Sauerstoffarmes Blut fließt über V. cava superior in rechten Vorhof und aus strömungstechnischen Gründen an Foramen ovale vorbei in rechten Ventrikel → wird dann über Lungenschlagader ausgeworfen
   - ↳ größter Teil: über Ductus arteriosus Botalli in Aorta
   - ↳ geringer Teil: fließt durch noch nicht entfaltete Lunge

Geburt:
- Lunge entfaltet sich beim ersten Schrei
- Verbindung zwischen Vorhöfen wird durch Bindegewebe geschlossen → ligamentum arteriosum (Teil der Herzscheidewand)

Wandaufbau der Blutgefäße:

Schichten:
1) Tunic interna: (Intima)
   - Endothel (einschichtiges Plattenepithel)
   - Lockeres Bindegewebe (Stoffaustausch)
   - gefensterte elastische Membran
2) Tunica medica: (Media)
   - glatte Muskelzellen
   - Bindegewebsfarem (elastische & kollagene)
3) Tunica externa: (Adventitia)
   - Bindegewebe (längslaufende, elastische & kollagene)
   - glatte Muskelzellen in Bindegewebe eingebettet
   - Nerven & kleine Muskelzellen → Versorgung der Wand

Arterien:
- Weg vom Herzen
- von Arterien → kleine Arterien → Arterioden → Kapillaren
- elastischer Typ:
  - ↳ herznahe Gefäße (Aorta, Truncus pulmonalis)
  - ↳ müssen Windkesselfunktion erfüllen (reversible dehnbare Wand, gute Anpassung an Druckunterschiede

- muskulärer Typ:
  - ↳ mittelgroße & kleine Arterien
  - ↳ wenige elastische Fasern in der Media

Venen:

- zum Herzen hin
- von postkapillären Venolen → Venolen → kleinen Venen → Venen
- meist dünnere Wände als Arterien
- besitzen Venenklappen → Blutstrom nur in Richtung des Herzens möglich

---

Mikrozirkulationsgefäße:

Mikrozirkulation:

- kleine Blutgefäße ⇒ Ø < 250 µm
- funktionelle Zusammenfassung des Stromgebietabschnittes, in dem Stoff- & Flüssigkeitsaustausch stattfindet

---

Einteilung:

1) Arteriolen:
   - Ø 40 - 100 µm
   - bestimmen zusammen mit kleinen Arterien Gefäßwiderstand → wichtig für Blutregulierung
   - nerval & hormonal regulierbar
   - glatte Muskelzellen

2) Kapillaren:
   - keine glatten Muskelzellen → keine Regulierung möglich
   - Ø 3 - 8 µm
   - Funktion: Stoffaustausch zwischen Blut & umliegendem Gewebe (möglich, da keine Muskelzellen vorhanden sind
   - Typen:

1) kontinuierlicher Typ:
   - dort wo Schranken sind (Blut-Plazenta, Blut-Hirn)
   - weit verbreitet
   - keine Lücken

2) fenestrierter Typ:
   - in Niere, Darm, (Hormon)-drüse
   - wenig Lücken („Fenster")

3) diskontinuierlicher Typ:
   - eher selten
   - kein geschlossener Verband, Lücken zwischen Zellen
   - in Leber, Milz, Knochenmark

⇒ unterschiedliche Lücken, je nach Bedarf

---

3) Postkapilläre Venolen:
   - Ø 8-30 µm
   - keine Muskulatur
   - Endothelschicht, Basalmembran, kollagene Fasern

---

4) Sammelvenolen:
   - Ø 30 - 50 µm
   - glatte Muskulatur
   - Umhüllt von Perizyten (an Gefäßneubildung beteiligt)

---

5) kleine Venen:
   - Ø 50-100 µm
   - kontinuierliche Muskelschicht

Komponente	Innendurchmesser in Mikrometer	Gewebetyp
Arteriolen	40-100	1-2 Lagen zirkulär verlaufende glatte Muskulatur
Metaarteriolen	8-20	Lückenhafte Muskelschicht
Kapillaren	3-8	Endothel und Basalmembran
Postkapilläre Venolen	8-30	Endothel, Basalmembran, Kollagenfasern, kontrahierbare Perizyten
Venolen	30-50	Zunehmend glatte Muskulatur
Kleine Venen	50-100	Muskelschicht und Basallamina

Strömung im Gefäßsystem:

Volumenstromstärke: $I = \frac{\Delta p}{R} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$

Hagen-Poiseuille-Gesetz: $R = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$

$\Rightarrow I = \frac{\pi r^4}{8 \eta l} \cdot \Delta p$

Strömungsgeschwindigkeit: $I = \bar{v} \cdot Q$

Funktionelle Organisation des Gesamtkreislaufs:

Verteilung des Blutvolumens:

Kapazitätsgefäße:

- können aufgrund von große Dehnbarkeit große Blutvolumina aufnehmen
- Venen des Körperkreislauf, Lungengefäße
- Depotfunktion: kleine Druckerhöhung → starke Volumenzunahme

---

Widerstandsverteilung & Druckverlauf:

Widerstandsgefäße:

- große Strömungswiderstände, kleine Kapazität
- kleine Arterien & Arteriolen
- 40 - 50 % des Gesamtwiderstands, 9 % des Gesamtvolumens
- Regulation durch starke Muskelschicht
  - ↳ große Variation des Lumens ermöglicht Veränderung des Strömungswiderstands → Regulierung der Durchblutung nachgeschalteter Gefäßabschnitte

---

Totaler peripherer Widerstand (TPR):

- Gesamtwiderstand des Körpers:

$$TPR = \frac{P_{m\text{-}Aorta} - P_{m\ rechter\ Vorhof}}{HZV}$$

Anteile am TPR

• Kleine Arterien & Arteriolen:	45-55%
• Kapillaren:	25%
• Venolen:	3-4%
• Lungenkreislauf:	<10%

Druckverlauf:

- größter Druckabnahme in präkapillaren Widerstandsgefäßen
- rhythmische Blutdruckschwankungen im arteriellen System → starke Dämpfung in kleinen Gefäßen → Drücke in Arteriolen & dannach konstant

---

Dehnbarkeit der Gefäßwände:

- elastische Fasern in Gefäßen → beschränkt dehnbar
- zunehmender
- je größer der Füllungsdruck, desto größer wird das Lumen

Pulswellen:

Entstehung & Ausbreitung:

1) in der Systole werden 70 - 140 ml Blut ins arterielle System ausgeworfen (Schlagvolumen)
2) Volumenzunahme am Anfang der Aorta
3) führt zu lokalem Druckanstieg, dadurch erweitert sich der Gefäßabschnitt
4) wegen des lokalen Drucks fließt das Blut in den nächsten Abschnitt

   => Vorgang findet kontinuierlich über das gesamte arterielle Gefäßsystem statt => Pulswelle

Zunahme der Pulswellengeschwindigkeit bei

1) erhöhtem Blutdruck:
   - Abnahme der Dehnbarkeit mit zunehmender Füllung der Arterien
2) zunehmendem Alter:
   - Abnahme der elastischen Fasern
3) Niedrige Compliance

Zentral venöser Druck (ZVD):

- bestimmt Vorlast & damit das Schlagvolumen des Herzens

Venöser Rückstrom zum Herzen:

- Rückfluss des Blutes zum rechten Vorhof
- Venen benötigen Hilfe beim Transport, da sie keine muskelstarken Wände haben

Hilfe durch:

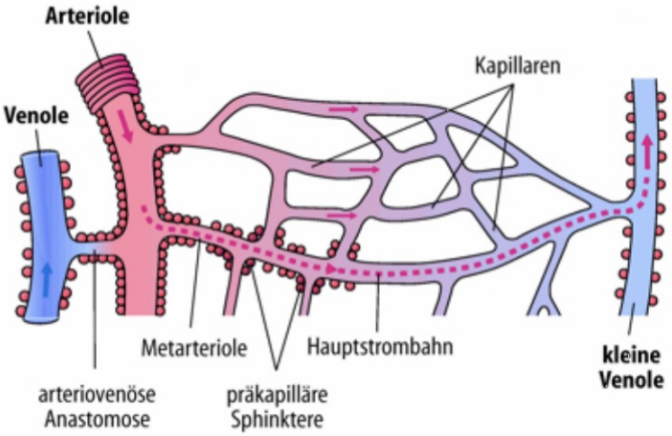
- Muskelpumpe: Venen werden durch Kontraktion von umliegender Muskulatur komprimiert, dadurch fließt das Blut Richtung Herz & können wegen der Venenklappen nicht zurück fließen (eher bei tiefen / herzfernen Venen)
- Atemtätigkeit: der durch die Ventrikelsystole des rechten Ventrikels entstandene Sog zieht das Blut aus den Venen Richtung Herz (eher bei herznahen Venen)

- Atmungspumpe: (Druck-Saug-Pumpen-Effekt der Inspiration)
  - ↳ bei der Inspiration (Einatmung) nimmt der intrathorakale Druck ab, wodurch die Venen aufgeweitet werden & mehr Blut zum Herzen fließen kann
  - ↳ durch das Senken des Zwerchfells kommt es zu einer Druckerhöhung im Bauchraum & das Blut wird in den Thoraxraum befördert

---

Mikrozirkulation:

- Arteriolen, Kapillaren, Venolen (alle kleinsten Gefäße) zählen dazu
- Arteriovenöse Anastomosen (Verbindung Vene - Arterie):
  - ↳ Körper kann verhindern, dass Blut noch durch die Kapillaren fließt, bevor es in den Venen zurückfließt
    => Verringerung des Kreislaufs durch Verschließen der Kapillaren (diese kontrahieren und es kommt kein Blut mehr durch)
  - ↳ Mechanismus gibt es nur in Skelettmuskeln & Haut, da übrige Gebiet nicht mehr durchblutet wird



Ödeme:

Ansammlung von Flüssigkeiten im interstitiellen Raum (Zwischenraum zwischen Organen, Geweben oder Zellen)

Wasserübertritt findet regulär bei Gesunden durch Diffusion statt

Krankheitsbedingt auch übermäßig

können entstehen durch:

- erhöhten hydrostatischen Druck in den Kapillaren (hydrostatisches Ödem)
- erniedrigter onkotischer Druck in den Kapillaren (kolloidosmotisches Ödem)
  - ↳ bei massivem Eiweißverlust
- erhöhter onkotischer Druck außerhalb der Kapillaren
  - ↳ verursacht durch erhöhte Permeabilität der Kapillarwand mit Austritt von Proteinen in das Interstitium
- Behinderung des Lymphabflusses

Gefäßtonus (Anspannung der Gefäße):

- Hormone regeln den Gefäßtonus
- Sympathikus innerviert (regt an) den Gefäßtonus
- Durchblutung passt sich dem Sauerstoffverbrauch an
- Pressorezeptoren (Druckrezeptoren) messen arteriellen Blutdruck
  - ↳ leiten diesen an das Gehirn weiter
  - ↳ Gehirn regt das Herz an, welches den Druck reguliert

Orthostase-Reaktion:

- Kreislaufumstellung = von Liegen -> Stehen
- wird plötzlichem Blutdruckabfall entgegen

Ablauf:

- beim Aufstehen versacken 400-600 ml Blut in die Venen der Beine -> zentrales Blutvolumen sinkt um 400-600 ml
- venöser Rückstrom zum Herzen verringert sich -> HZV um 20% reduziert

=> über den Regelkreis der Pressorezeptoren wird das Sympathikus aktiviert -> Herzfrequenz steigt, Konstriktion (Verengung) der Gefäße

Gegenreaktion:

- Steigerung von Inotropie (Kontraktionskraft des Herzens) & Chronotropie (Frequenz der Aktionspotentiale im Sinusknoten -> Geschwindigkeit der Erregungsbildung)
- Anspannung der Gefäße

Bluthochdruck (Hypertonie):

- Normalwert ist 120 (systolisch) / 80 (diastolisch)
- wird ausgelöst durch:
  - ↳ Arteriosklerose (von Diabetes)
  - ↳ Ischämie
  - ↳ Thrombose
  - ↳ Embolie

- Arterieller Blutdruck = HZV · TPR

Hyperdynamischer Hochdruck:
- HZV steigt
- Blutvolumen steigt
- kommt oft bei Schilddrüsenüberfunktion vor

Widerstandshochdruck:
- Störung bedingte Mangeldurchblutung der Niere
- TPR steigt
- entsteht durch Verengung von Blutgefäßen (Vasokonstriktion)

Kreislaufschock:
Kreislaufversagen mit Störung der Mikrozirkulation & Minderversorgung lebenswichtiger Organe
Ursachen:
- Volumenmangel (starker Flüssigkeitsverlust)
- kardiogener Schock (Massive Reduktierung des HZV (Bsp: Infarkt Herzinsuffizienz))
- Metabolisch-Toxisch (Leberzirrhose)
- Anaphylaktisch (allergisch)
- Neurogen

Medikamente:

Betablocker:
- greifen Betarezeptoren an (Andockstellen für Nor-, Adrenalin)
- Wirkung: Blutdruck & Herzfrequenz sinkt
- β_1 wirkt am Herzen, β_2 wirkt außerhalb vom Herzen

ACE:
- hemmt Angiotensin II
- Wirkung: TPR geringer → Blutdruck sinkt

Sepsis (Blutvergiftung):
- Körper hat kein gutes Immunsystem mehr
- eine einfache bakterielle / virale Infektion führt zu einer den Körper allumfassenden Entzündungsreaktion
- Folgen: Fieber, Schwellung, Röte, Hypotonie, Blutgerinsel
- 50 % Sterberisiko

HLM (Herz-Lungen-Maschine):
- ersetzt Herz (Pumpleistung) & Lunge (Oxygenierung)

ECLS (Extra Corporal Life Support): kompletter Kreislaufersatz, Einsatzzeit max. 6h

ECMO (Extra Corporal Membran Oxygination): ersetzt die Lunge, kann auch über Wochen genutzt werden