

Hemodynamika/ Cirkulace (3/ 4)

(1) parametry

(2) popis (kvasi)-lineárními
rovnícemi

(3) srdce jako pumpa,
cévní soustava

Toto je v jakékoliv formě
(PPT, PDF, atd.)
neoficiální výukový materiál

Fyziologie člověka

Petr Maršálek

1.LF UK Praha, Ústav patologické fyziologie

přednáška, verze: CZ

PDF a PPT soubor je možno najít na webu na adrese:
<http://nemo.lf1.cuni.cz/mlab/ftp/PHYSIOL/>

Animace:

Circulation-SimpleUncontrolledSimulation-MaTri-CZ-2006.swf

Animaci je možno spustit na webu na adresách:

<http://nemo.lf1.cuni.cz/mlab/ftp/PATHOPH/VAR/A-SWF/>

<http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/~tribula/cirkulace/>

Cíle, osnova,

Po přednáškách Cirkulace budeme umět:

1. Vysvětlit, proč bez krevního oběhu je lidský život nemožný, vyjmenovat krevní funkce
2. Vysvětlit principy oběhu krve a lymfy
3. ~~Vysvětlit vznik a šíření srdečních impulzů~~
4. ~~(Vysvětlit princip elektrokardiografie)~~
5. ~~Definovat srdeční cyklus a jeho fáze~~
6. ~~Definovat srdeční minutový objem (srdeční výdej) a způsoby jeho měření~~
7. ~~Definovat srdeční práci a výkon~~
8. Def. cévní průtok, q tlak, p a odpor, r , zákon Hagen-Poiseuilleův (vyslov Puasoej-ův)
9. Definovat laminární a turbulentní proudění
10. Definovat arteriální tlak, způsoby jeho měření a normální hodnoty
11. Demonstrovat, že krevní tlak závisí na geometrii cévního řečiště
12. Definovat krevní viskozitu a faktory, které ji ovlivňují
13. Popsat žilní návrat a mechanismy jeho zvýšení/ snížení
14. Nakreslit a popsat kapilární řečiště
15. Popsat rovnováhu mezi filtrací a reabsorbcí, vysvětlit úlohu lymfy
16. ~~Popsat rozdělení srdečního průtoku do hlavních orgánů~~
17. ~~(Vysvětlit principy regulace zpětnou vazbou)~~
18. ~~(Popsat regulaci, jak se organismus brání hyper- a hypotenzi)~~
19. ~~(Vyjmenovat optimální parametry pro srdeční pacemaker)~~
20. Popsat metody/ možnosti/ vlastnosti cévní rekanalizace

Proč/ k čemu je vůbec cirkulace?

Je to výměna O_2 / CO_2 , živin/ zplodin metabolismu.

Nestačila by difúze?

Než by se vše vyměnilo difúzí, to bychom dávno zemřeli na hypoxii (= nedostatek O_2).

U členovců, speciálně hmyzu/ například u octomilky obecné o celkové délce těla samečka 1 mm, je srdce a krevní oběh (otevřený, bez cév), i když metabolické plyny O_2 / CO_2 jsou u hmyzu rozváděny ke svalům vzdušnicemi.

U savců/ člověka jsou kapiláry (vlásečnice) tenkostěnné a jemné cévy, které propojují tepny (artérie) a žíly (vény). Jejich průměr se pohybuje mezi 5 a 20 μm a délka kolem 0,5 mm. Vzdálenost mezi nimi ve tkáni je 8 až 10 μm . Krev v nich proudí rychlostí asi 0,5 mm/s.

(část 1) parametry

Cirkulace udržuje dodávku kyslíku do tkání, krevní proud je udržován tlakovými rozdíly a pulsací, pulsace může být přítomná i bez proudu, ale ne naopak, viz jednotky tlaku.

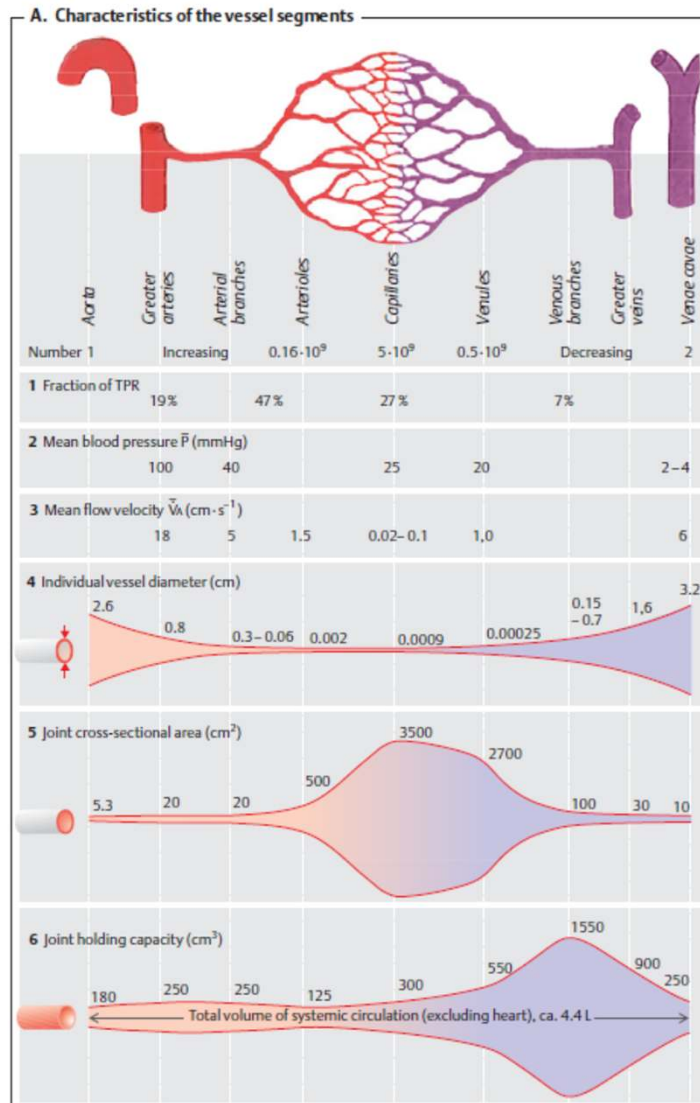
Připomenutí jednotek tlaku:

Fyzikální vlastnosti krve srovnáváme s vodou.

Tradičně se tlak krevní měřil rtuťovým tonometrem (nepřímou metodou).

$$\mathbf{760\ mmHg = 1\ atm = 1000\ cmH_2O = 101\ kPa \approx 100\ \%}$$

Úseky cévního řečiště



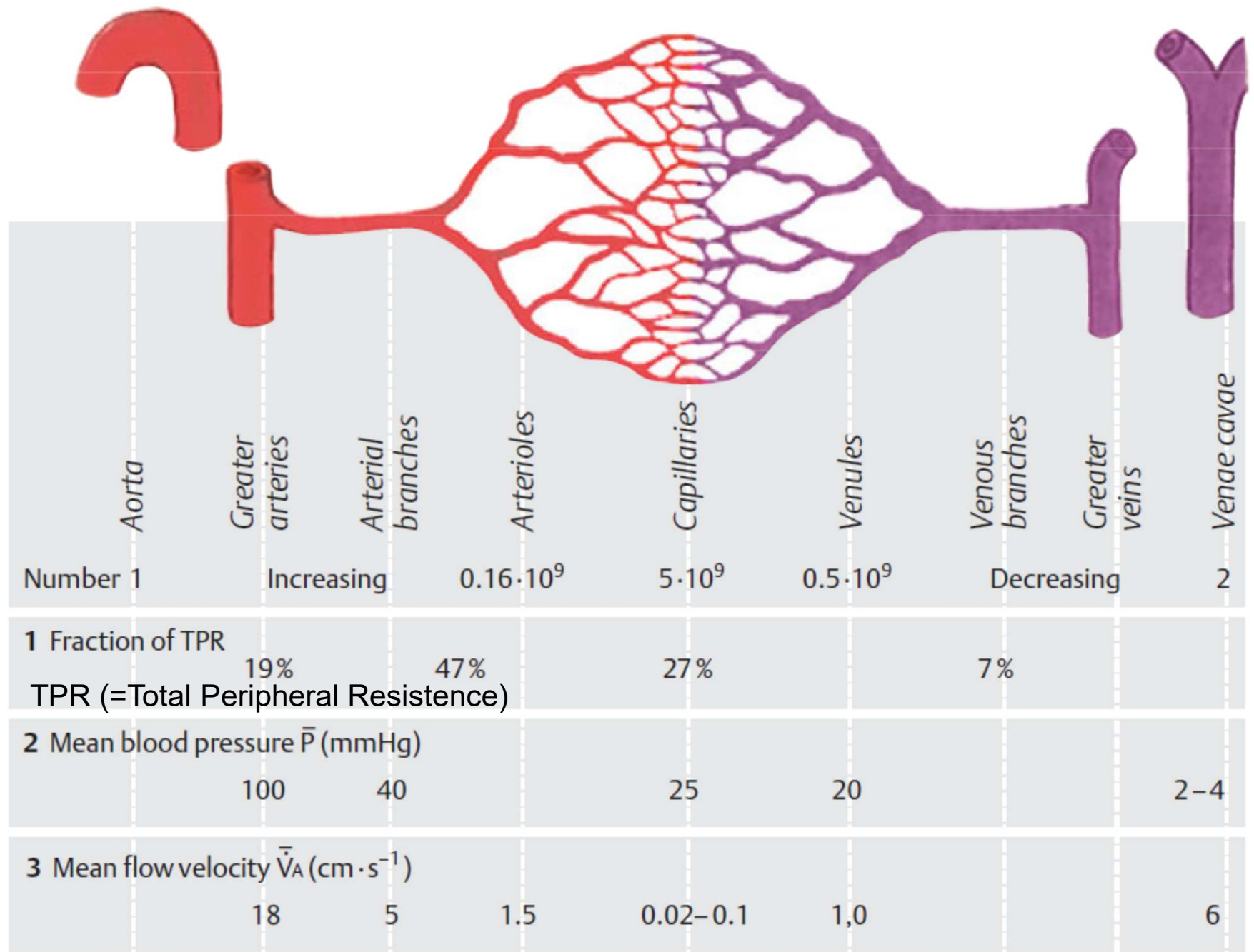
$$\Delta P = Q \cdot R$$

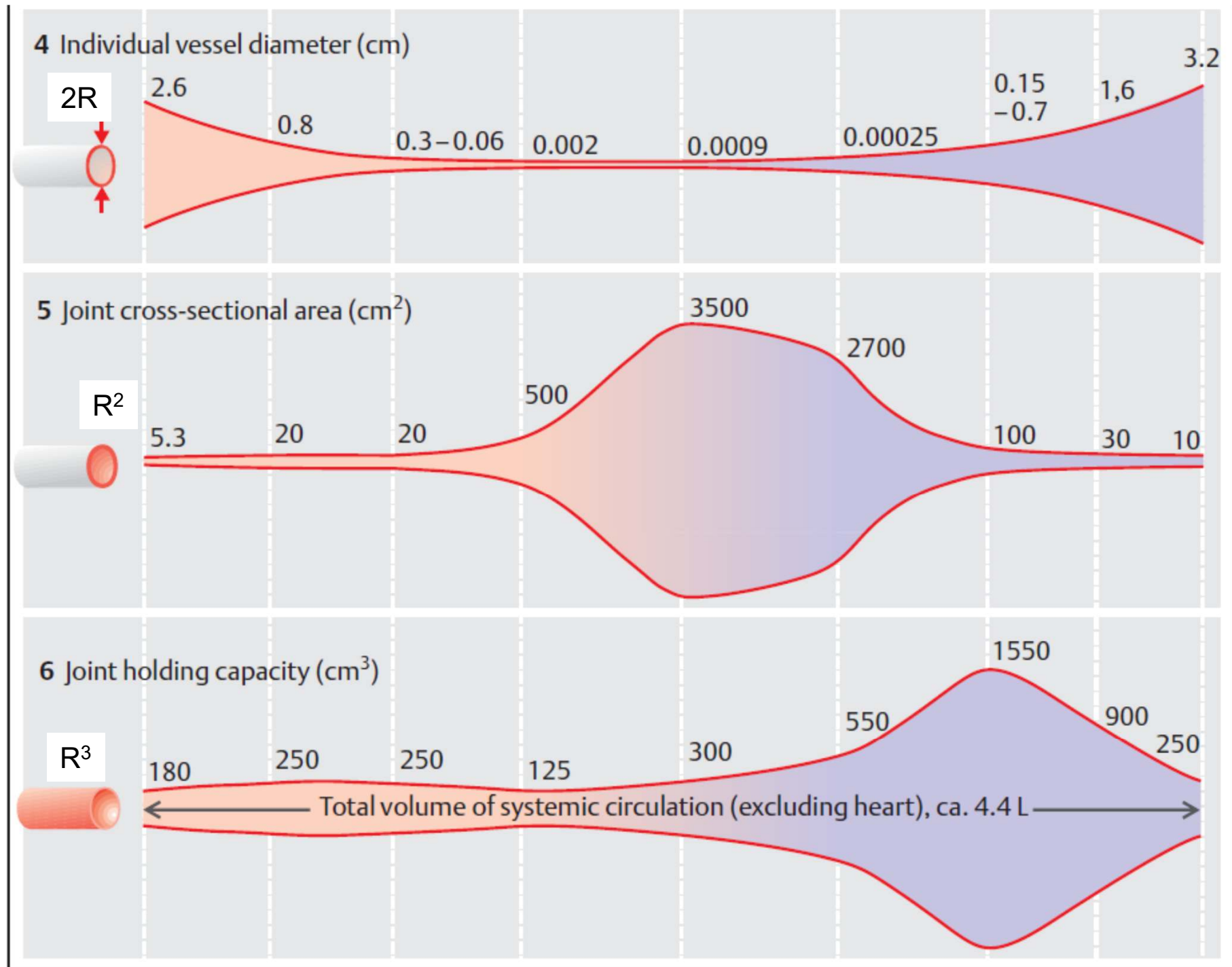
Hydraulická verze
Ohmova zákona

Toto je systémové řečiště.
(Máme též plicní řečiště.)

$$P_0 > P_1 > P_2 > P_3, \text{ atd.}$$

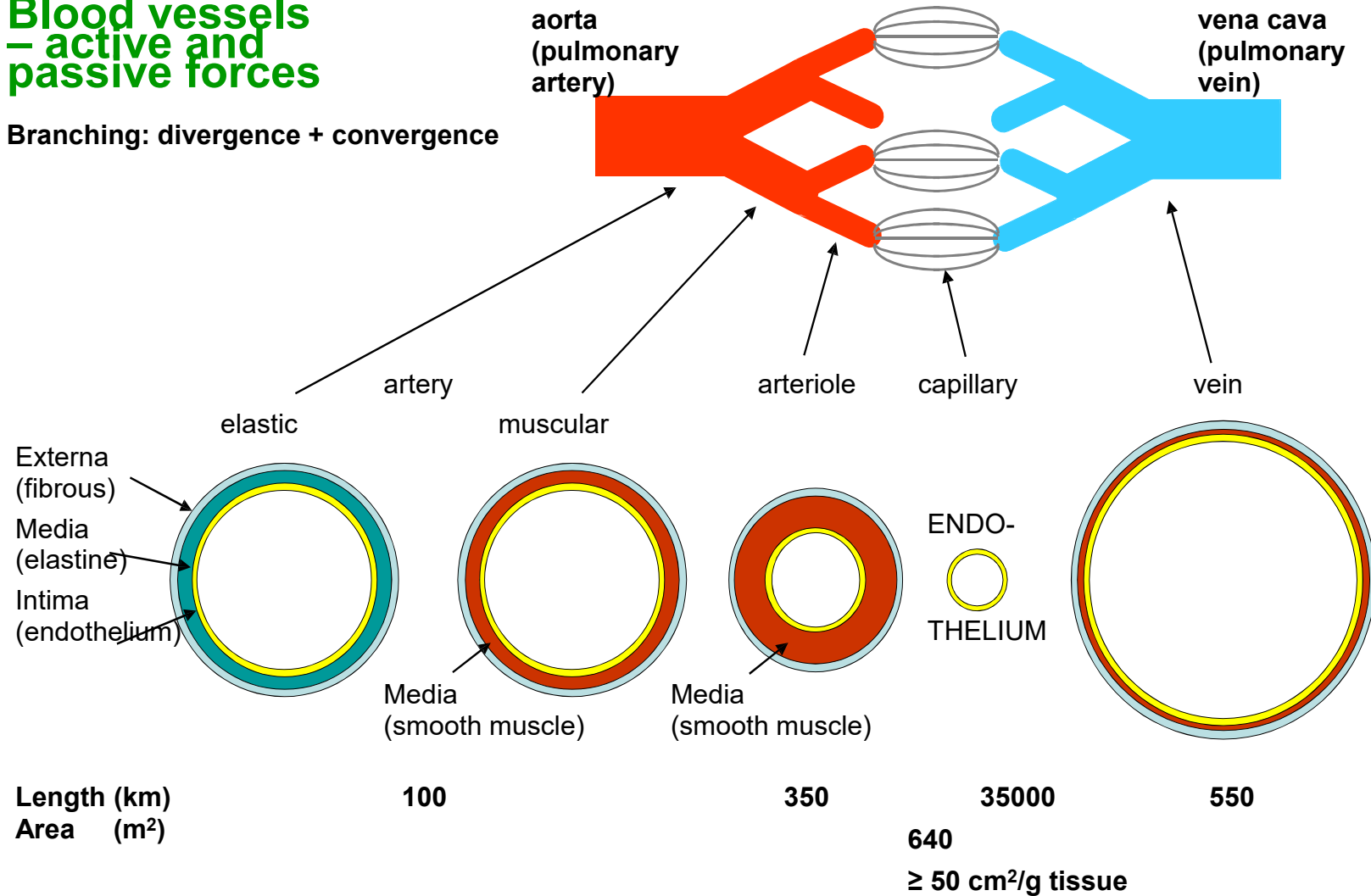
A. Characteristics of the vessel segments





Blood vessels – active and passive forces

Branching: divergence + convergence



Starlingova rovnováha (také Starlingova hypotéza)

(Fyzikálně/ chemický popis (10))

Látky rozpuštěné v krvi:

nízkomolekulární (= minerály, krystaloidy)

vysokomolekulární (= koloidy)

Pojem osmotického/ onkotického tlaku

Horror vacui

$760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm} = 1000 \text{ cmH}_2\text{O} = 101 \text{ kPa} \approx 100 \% = 40 \text{ mOsmol/L}$,

Starlingova rovnováha v normě - přesuny mezi intracelulárním kompartmentem a plasmou

- Hydrostatický tlak v kapiláře

Na arteriolárním konci je tlak cca **35 mm Hg**, na konci venuly je tlak cca **15 mm Hg**.

Přepočty osmolarity a osmotického tlaku: $P = CRT$,

C je koncentrace, 0,001 osmol/ L,

R je plynová konstanta, 62,364 L mmHg/(K mol),

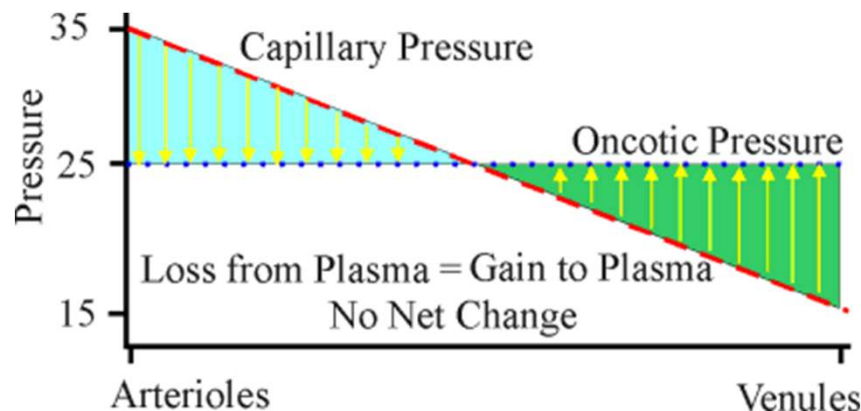
T je teplota, 310 K (= 37 st.C), potom P je 19,33 mmHg.

- Osmotické/ onkotické síly v kapiláře

Kapilární stěna je propustná pro vodu, ale nepropustná pro plazmatické proteiny.

Tyto makro-molekuly mají osmotický tlak/ koloidní/ onkotický tlak.

Celkový onkotický tlak krve je 25 mm Hg.

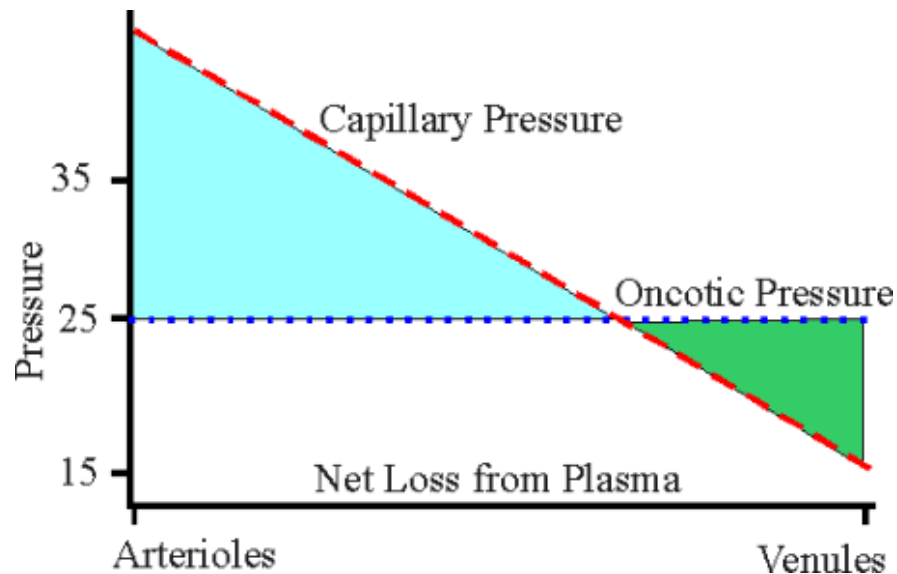


Starlingova hypotéza

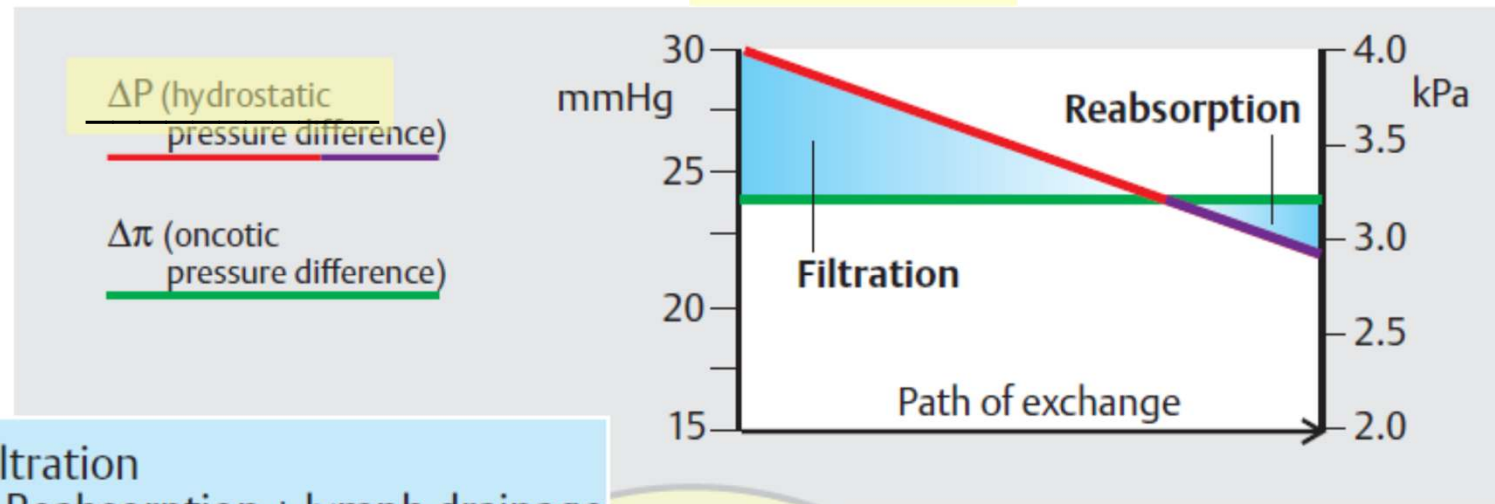
Tlak filtruje plasmu skrz stěnu cévní do intersticia, a onkotický tlak ji nasává zpět. Přesuny tekutin jsou v rovnováze.

Starlingova hypotéza u patologických stavů - vazodilatace

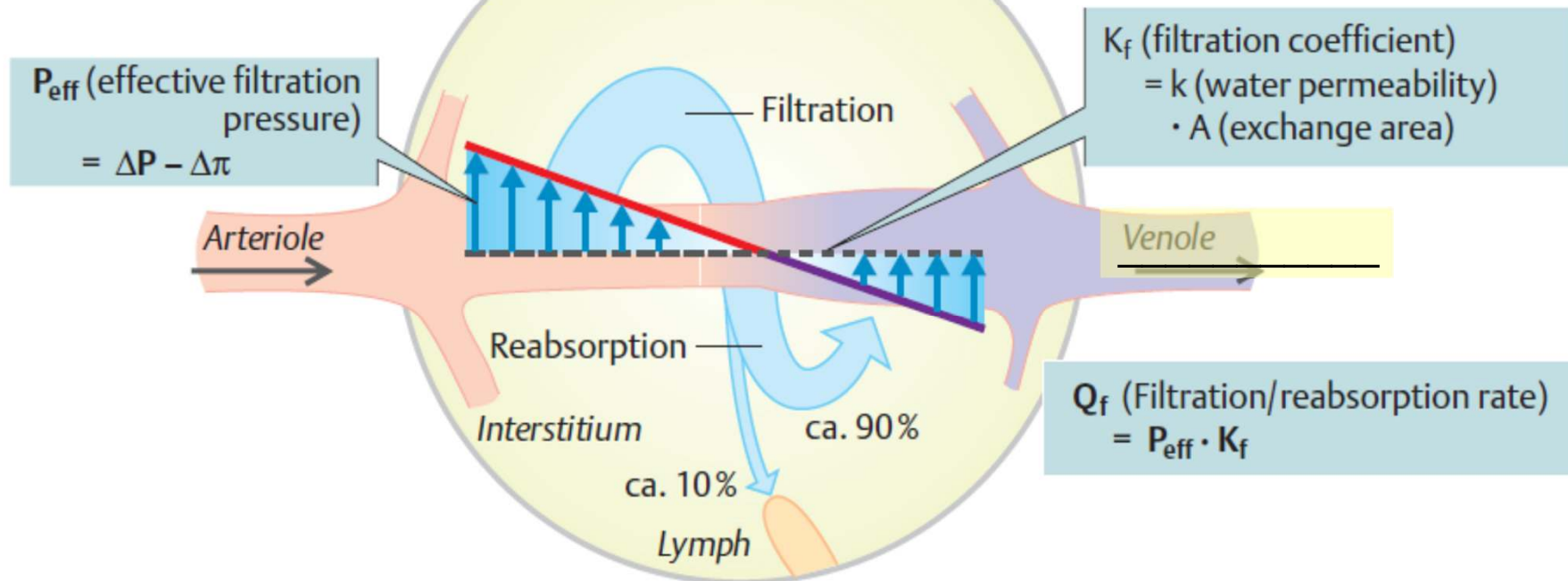
- Příklad posunu v rovnováze: vazodilatace, vede k otoku a přesunu intra-vasální tekutiny do intersticia



A. Exchange of fluids via capillaries and venules



Filtration
= Reabsorption + lymph drainage



(Fyzikální popis (14))

1) Hydraulická verze Ohmova zákona

$$\Delta P = Q \cdot R$$

2) Energie ustáleného proudu

$$E/V = \rho gh + \Delta P + (1/2)\rho V^2$$

3) Pulsující proud

$$\dot{Q} = V_{\text{stroke}} f_{\text{HR}}$$

(Fyzikální popis (15))

Střední tlak, $P_{\text{sys}} > P_{\text{mean}} > P_{\text{dia}}$

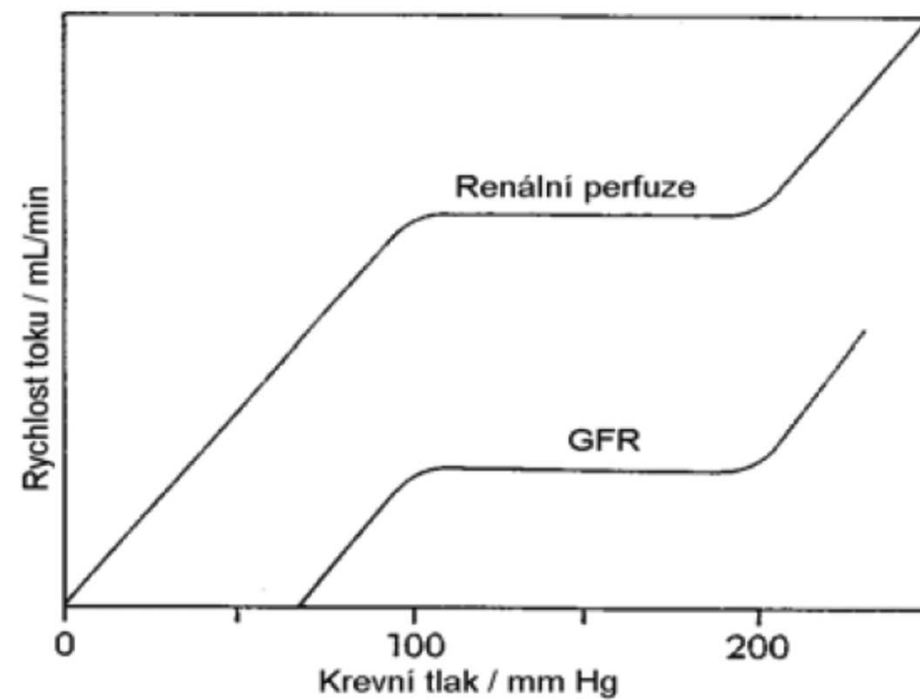
$$P_{\text{mean}} = (1/3) P_{\text{sys}} + (2/3) P_{\text{dia}}$$

(Ale např. pro energetické výpočty

$$P_{\text{mean}} = (4/5) P_{\text{sys}} + (1/5) P_{\text{dia}})$$

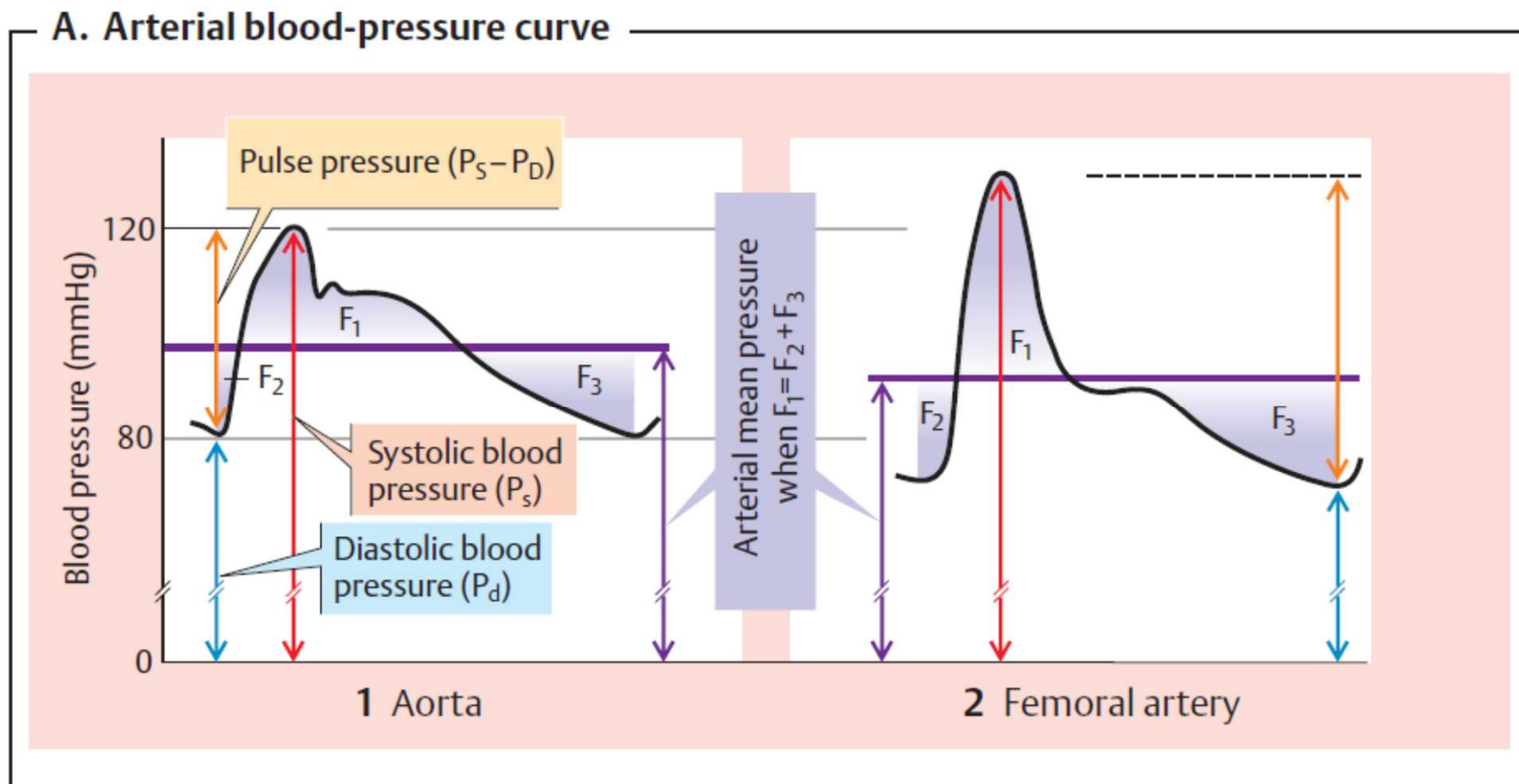
Tabulka: Starlingova hypotéza v jednotlivých tkáních

Tlaky v [kPa]	arteriola	venula	systémové tlaky	patologické hodnoty
tkáň	p_a	p_v	p_{SYS}/p_{DIA}	—
ostatní tkáně	3,9	1,9	13,3 – 18,6/8 – 12	$p_{SYS} > 20/p_{DIA} > 12$
pľíce (funkční oběh)	1,6	1,07	2 – 4/0,67 – 1,73	$p_{SYS} > 4, \bar{p} > 2,7$
játra (vena portae)	—	1,9	16/10	portální: $\bar{p}_{pv} > 2,4$
ledviny (glomerulus)	v.aff.: 6	v.eff.: 5,7	16/10	(a)

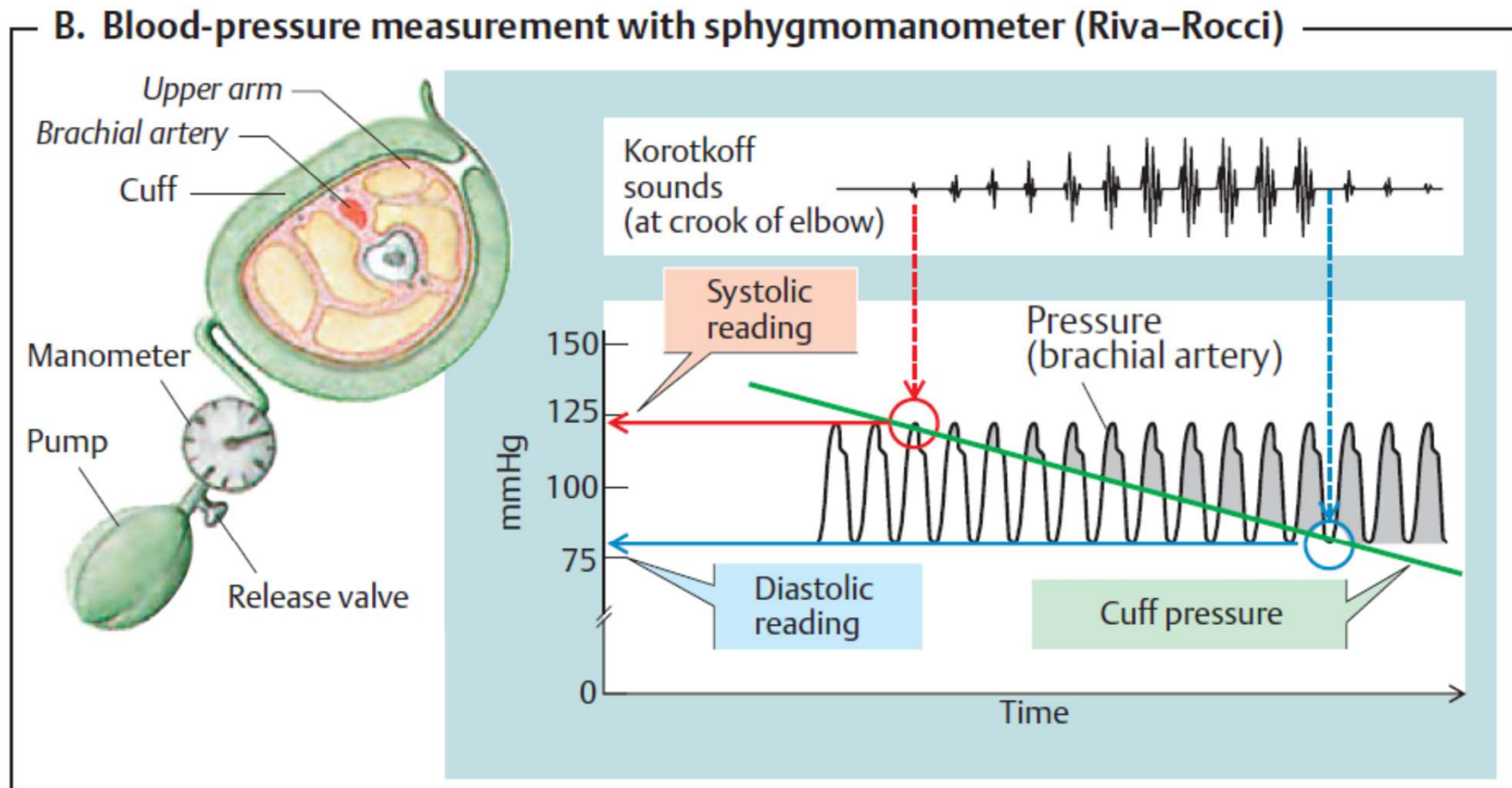


Graf: auto-regulace průtoku krve ledvinou

Pojem středního tlaku je idealizace



Měření krevního tlaku nepřímou metodou



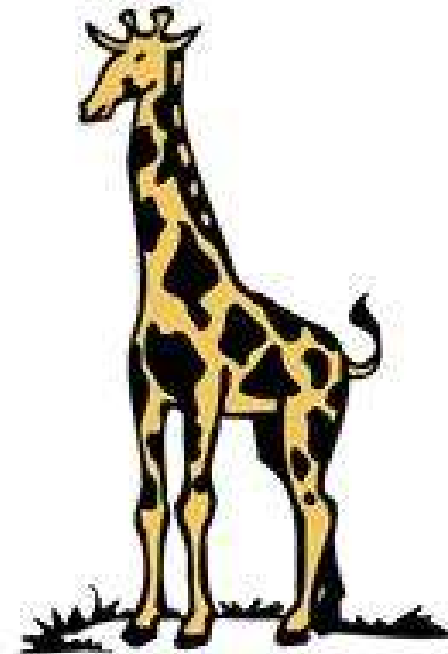
(Fyzikální popis (20))

Problém s hydrostatickým tlakem a žirafa.

Je to nejvyšší ze všech suchozemských živočichů.

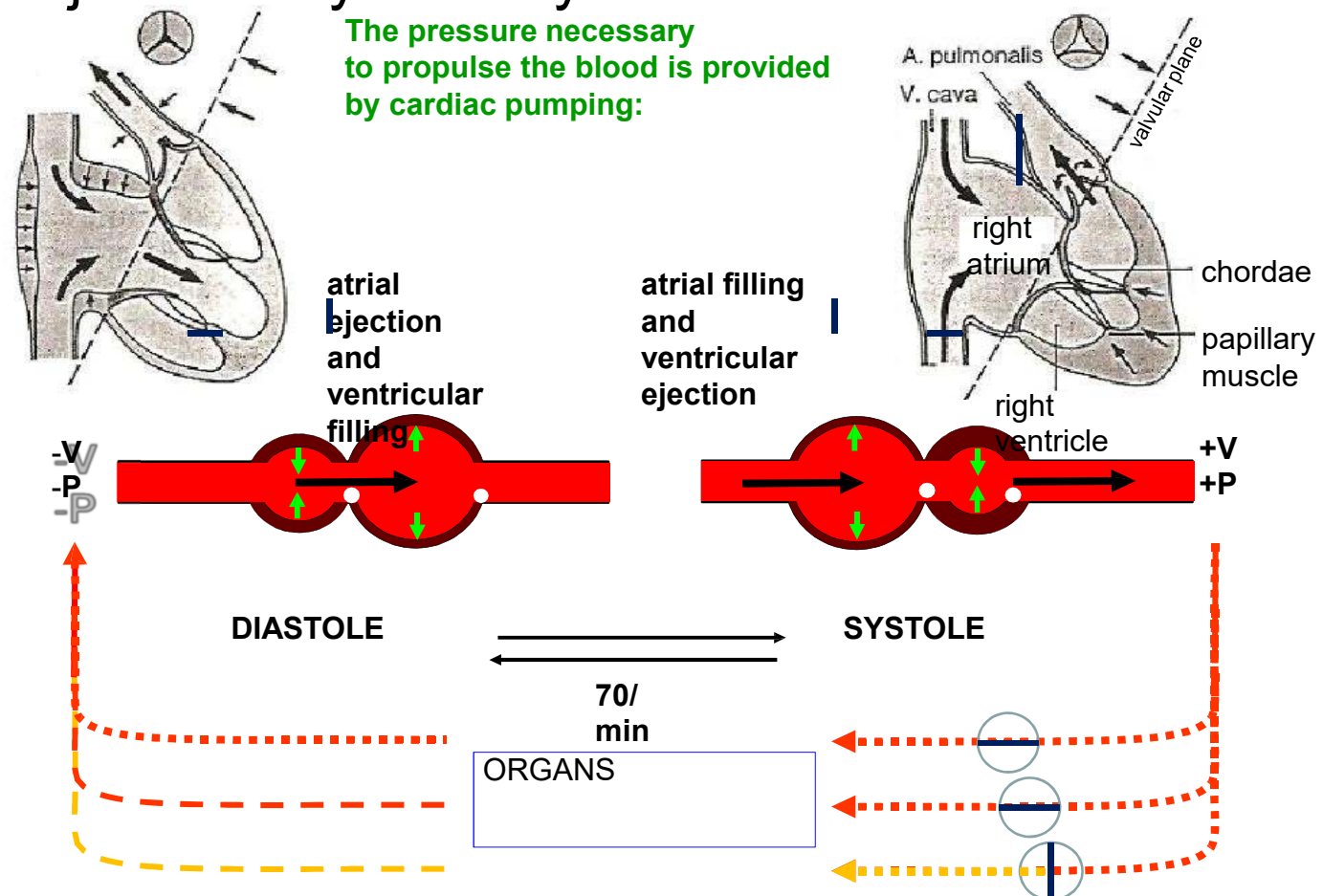
Samci měří od 4,8 do 5,5 m (váží až 900 kg).

Jak je zajištěno, že v hlavě je aspoň 80 cmH₂O (= 60 mmHg)?

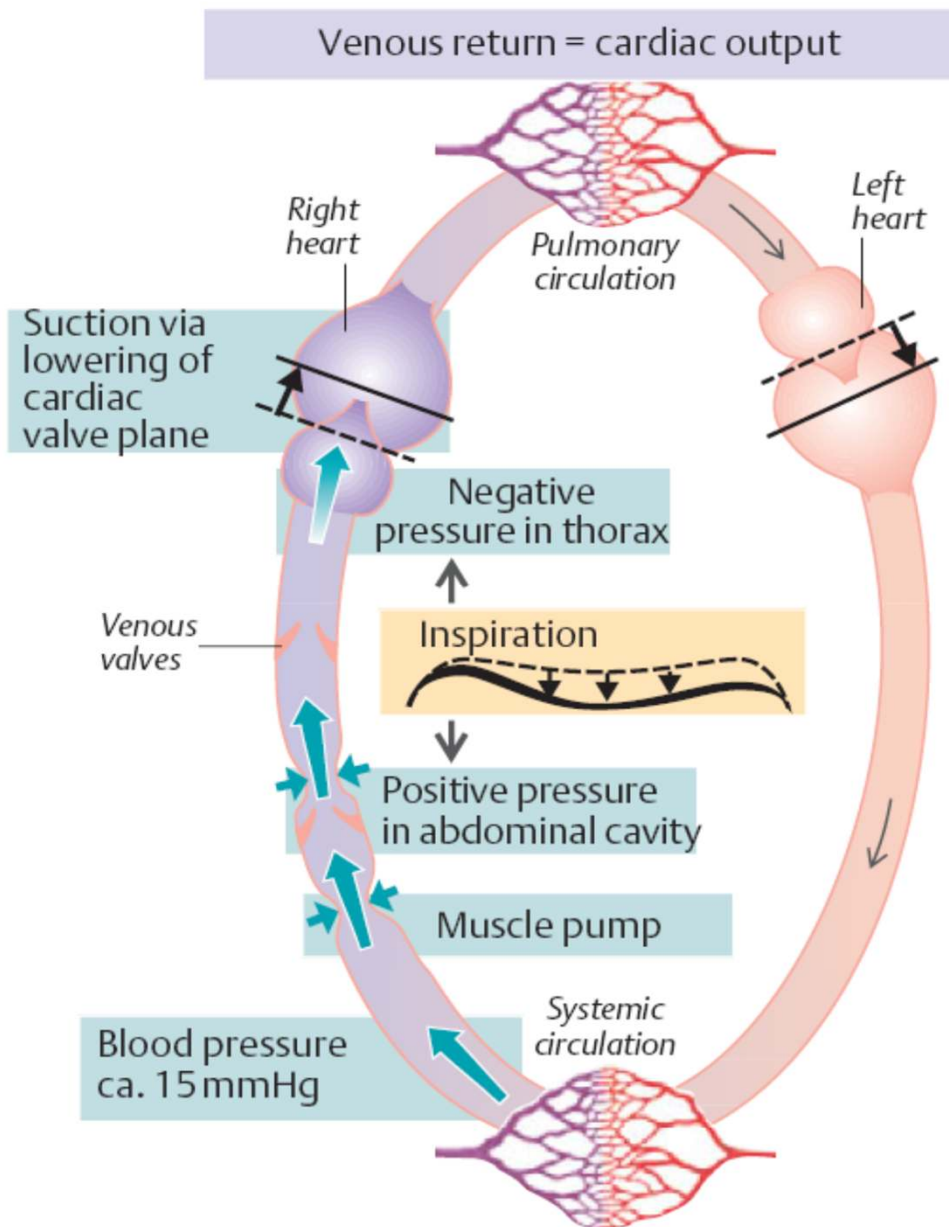


Problém s cirkulací u žirafy řeší chlopně na karotidách
U člověka jsou důležité žilní chlopně na dolních končetinách

Chlopně jsou i na lymfatických cévách



B. Venous return

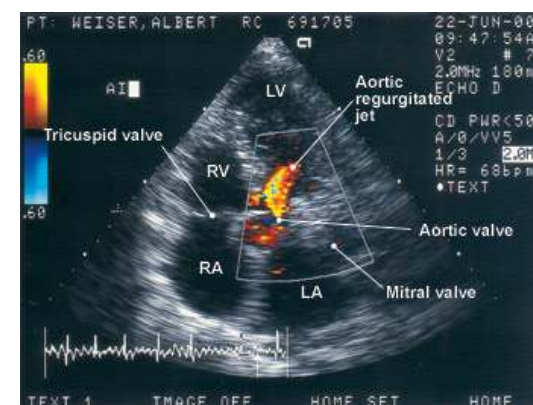
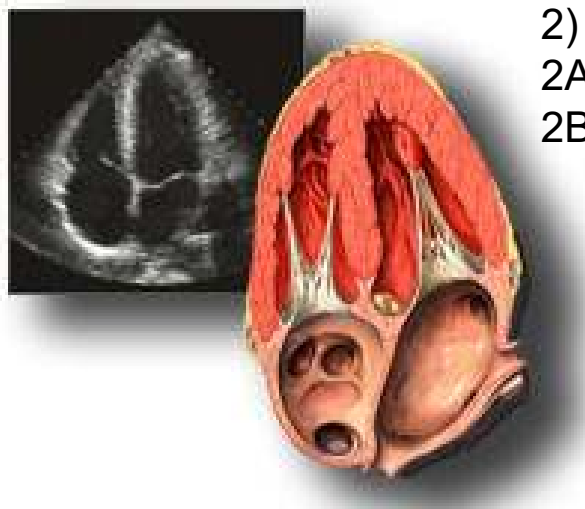


Chlopně:
Žilní návrat a
dýchání

Jak lze měřit rychlost krevního proudu

Jak lze měřit rychlost krevního proudu?

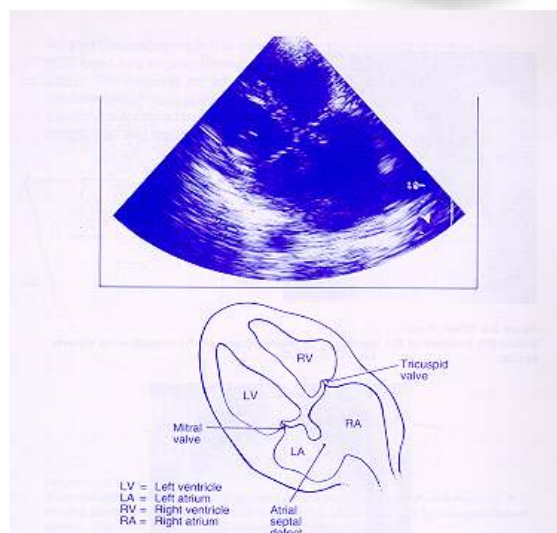
- 1) Ultrazvukové zobrazení + Dopplerův efekt
- 2) Fickův princip
 - 2A) Krvavou metodou
 - 2B) Nepřímou metodou



Aortální insuficience (regurgitace)



Mitrální insuficience (regurgitace)



Fickův princip

K měření spotřeby kyslíku či srdečního výdeje

celkové vychytání nebo uvolnění určité látky je funkcí krevního průtoku orgánem a A-V difference této látky. V případě plic je takovou látkou kyslík:

$$\text{spotřeba O}_2 = \frac{\text{průtok krve plicemi}}{\text{arteriální O}_2 - \text{venózní O}_2}$$

$$\text{SV} = \frac{\text{spotřeba O}_2}{\text{AV difference}}$$

Příklad:

1 litr arter. krve obsahuje cca 200 ml kyslíku, 1 litr smíšené ven. krve 150 ml.

AV difference je tudíž 50 ml/ litr krve. Tyto hodnoty lze získat katetrizací a měřením obsahu kyslíku.

Spotřeba kyslíku za 1 min je 250 ml (sledovat měřením nebo odhadnout, např. 3 ml O₂/ min/ kg či 125 ml/ min/ m²).

SV je v tomto případě 250/ 50, tj. 5 litrů za minutu.

Srdeční výdej (Stanovený pomocí Fickova principu)

Cardiac output

$$\dot{Q}_c = V_s \cdot f_c$$

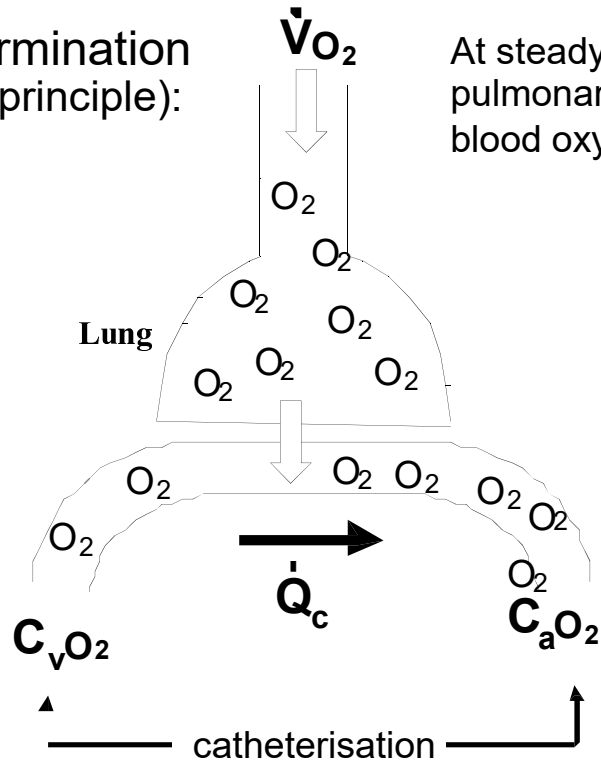
resting 5-6 l/min

maximal 25-30 l/min (top athlete)

Cardiac index: 4 l/min/m²

(decreases with age to 2 l/min/m²)

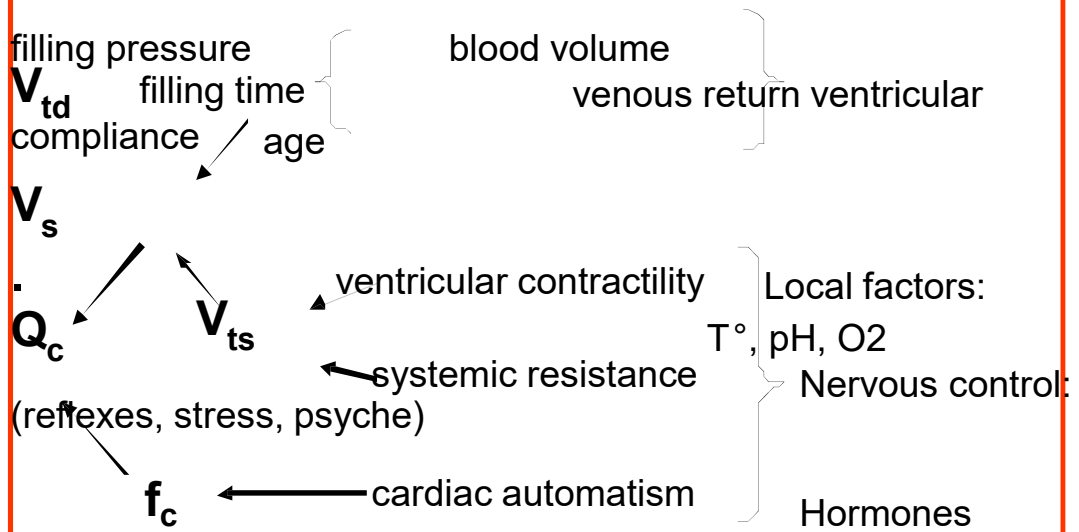
Determination (Fick principle):

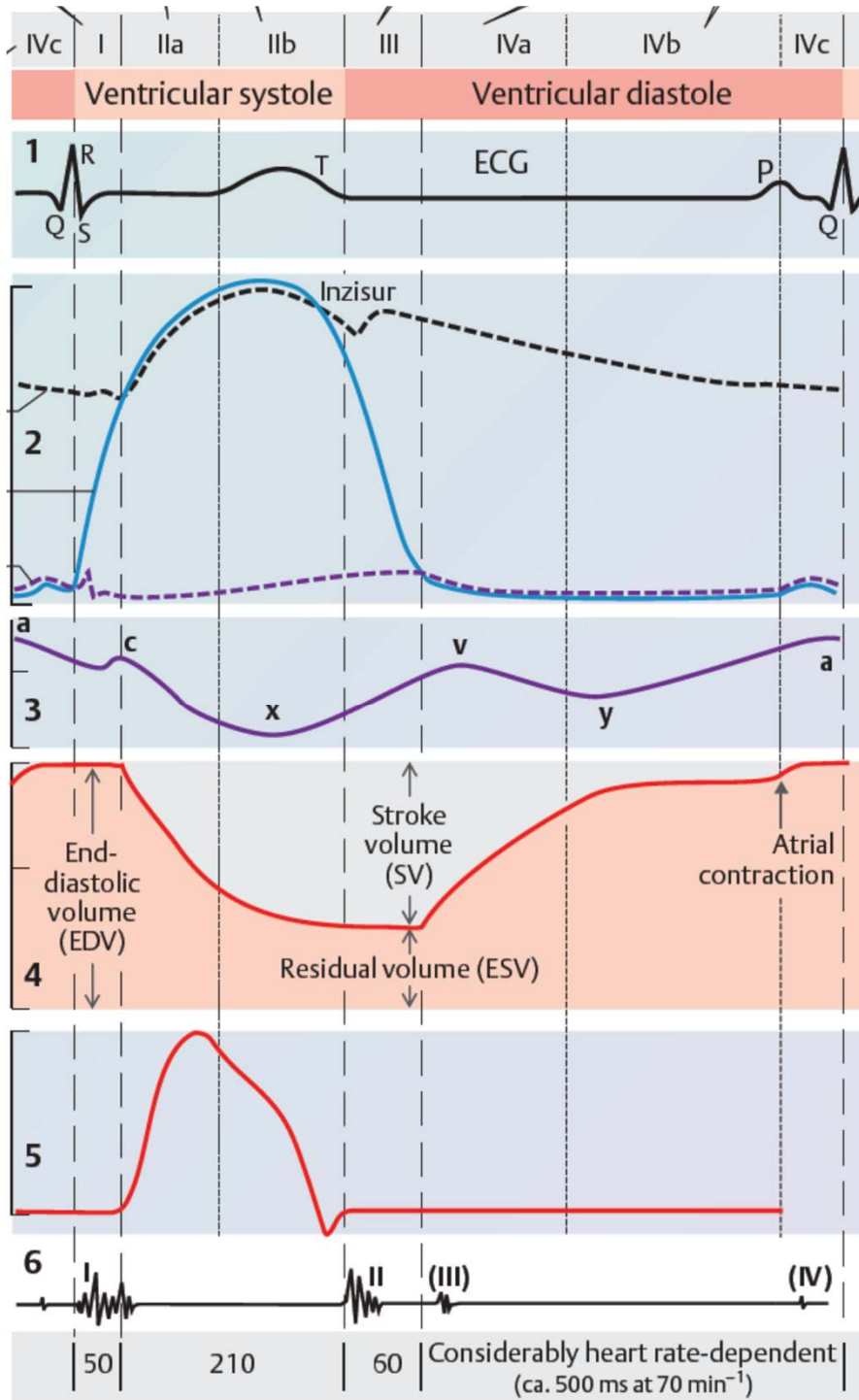


At steady state,
pulmonary oxygen uptake =
blood oxygen transport, hence:

$$\dot{Q}_c = \frac{\dot{V}_{O_2}}{C_{aO_2} - C_{vO_2}}$$

Parameters determining the cardiac output:





Shrnutí ze všech přednášek kardio:

Srdeční cyklus (revoluce)

Wiggersův diagram

Odvození na tabuli...

Laplaceův zákon:

Pro sféru $\Delta P = 2T/r$,

Pro válec $\Delta P = T/r$,

P tlak, T tenze, r poloměr.

(část 2) popis cirkulace (kvasi)-lineárními rovnicemi

$$760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm} = 1000 \text{ cmH}_2\text{O} = 101 \text{ kPa} \approx 100 \text{ kPa/ \%}$$

(Makro)-cirkulace ve 4 lineárních rovnicích,
„linearizovaný fyzikální model“,
..., ☺, (v různých verzích), jednotlivé rovnice:

V ...[litr] objem krve

$\dot{Q}$...[litr/sec] minutový objem

R_P ...[torr.sec/litr] plicní resistance

R_S ...[torr.sec/litr] systémová resistance

p_{AS} ...[torr] tlak arteriální systémový

...atd.

1. Frank-Starlingův zákon

2. Ohmův zákon (zjednodušení

Poiseullova zákona)

3. Poddajnost cév (kompliance)

4. Rovnice kontinuity (zachování
objemů)

$$\dot{Q} = k_{LH} \bar{p}_{SV} = k_{RH} \bar{p}_{PV}$$

$$I = \frac{U}{R}, \dot{Q} = \frac{(\bar{p}_{IN} - \bar{p}_{OUT})}{R}$$

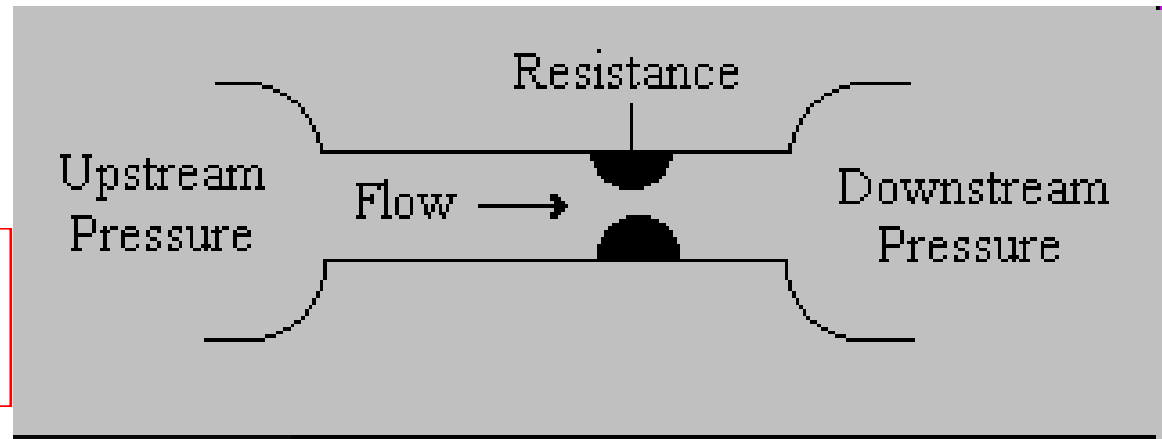
$$V_{VS} = c_{VS} \bar{p}_{VS}$$

$$\sum V_i = V_{TTL}$$

Rovnice (1), vztah tlak/ průtok Ohmův (Poiseullův) zákon

$$\Delta p = Q \cdot R$$

$$I = \frac{U}{R}, \dot{Q} = \frac{(\bar{p}_{\text{IN}} - \bar{p}_{\text{OUT}})}{R}$$



Pressure-Flow-Resistance Relationship in a Blood Vessel

Blood flow in a blood vessel is equal to the pressure difference along the vessel divided by the vascular resistance.

$$\text{Flow} = (\text{Upstream Pressure} - \text{Downstream Pressure}) / \text{Resistance}$$

Vascular *conductance* is the reciprocal of vascular resistance. The pressure-flow relationship becomes

$$\text{Flow} = (\text{Upstream Pressure} - \text{Downstream Pressure}) * \text{Conductance}$$

Typical units for vascular conductance are (ml/min) / mmHg.

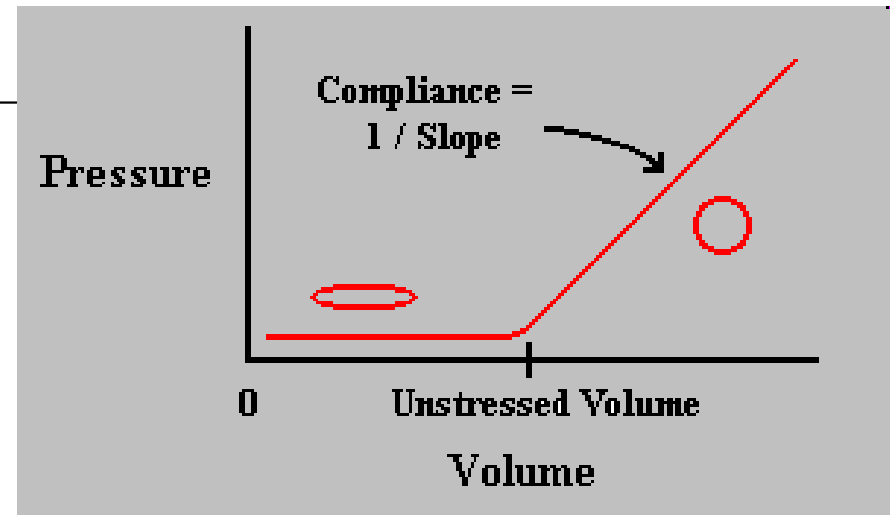
Rovnice (2), compliance, vztah tlak/ objem

Blood vessels tend to collapse at low volumes. Internal pressure is equal to external pressure, which is often at or close to zero relative to atmospheric pressure.

As additional volume is added, a critical volume is reached where any added volume causes the internal pressure of the vessel to increase. This critical volume is called the *unstressed* volume. Unstressed volume is usually denoted by V_0 or V_0 . *Vascular compliance* is the reciprocal of the slope of the pressure-volume relationship at volumes greater than unstressed volume. The physical units for compliance are typically ml/mmHg.

Approximate compliance values (ml/mmHg) for an adult male are

$$V_{VS} = c_{VS} \bar{p}_{VS}$$



Pressure-Volume Relationship in a Blood Vessel

Arteries 1.5

Veins 80

Whole-Body 140

P Pressure (mmHg)

V Volume (ml)

V₀ Unstressed Volume (ml)

C Vascular Compliance (ml/mmHg)

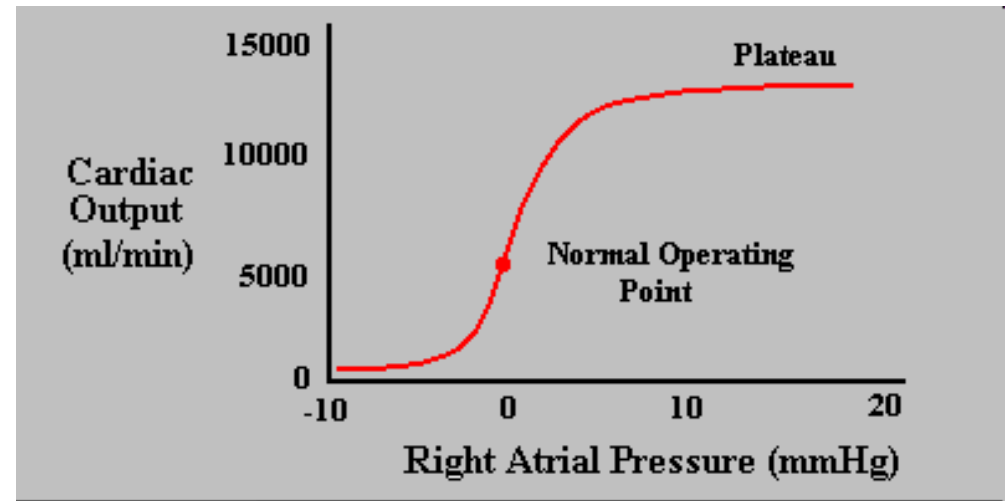
Equations describing the pressure-volume relationship:

$$P = 0 \text{ when } V \leq V_0$$

$$P = (1/C) * (V - V_0) \text{ when } V > V_0$$

Rovnice (3), Frank-Starlingův zákon

$$\dot{Q} = k_{\text{LH}} \bar{p}_{\text{SV}} = k_{\text{RH}} \bar{p}_{\text{PV}}$$



The Frank-Starling relationship may describe the right heart alone, the left heart alone, or the right heart, pulmonary circulation, and left heart combined. This last case is described here.

The Frank-Starling relationship describes the blood pumped by the heart-lung compartment, cardiac output, in terms of the filling pressure, right atrial pressure.

Rovnice (4), rovnice kontinuity

$$\sum V_i = V_{\text{TTL}}$$

$$VB = V0 + VAS + VVS + VAP + VVP$$

..., ☺,

průtok levým srdcem =

= průtok pravým srdcem =

Celkový objem krve,

průtok jednotlivými oddíly oběhu,

a podobně

(Makro)-cirkulace ve 4 lineárních rovnicích, „linearizovaný fyzikální model“,

....., ☺

$\dot{V}$...[litr] objem krve

$\dot{Q}$...[litr/sec] minutový objem

R_P ...[torr.sec/litr] plicní resistence

R_S ...[torr.sec/litr] systémová resistence

p_{AS} ...[torr] tlak arteriální systémový

...atd.

1. Frank-Starlingův zákon

2. Ohmův zákon (zjednodušení

Poiseullova zákona)

3. Poddajnost cév (compliance)

4. Rovnice kontinuity (zachování
objemů)

$$\dot{Q} = k_{LH} \bar{p}_{SV} = k_{RH} \bar{p}_{PV}$$

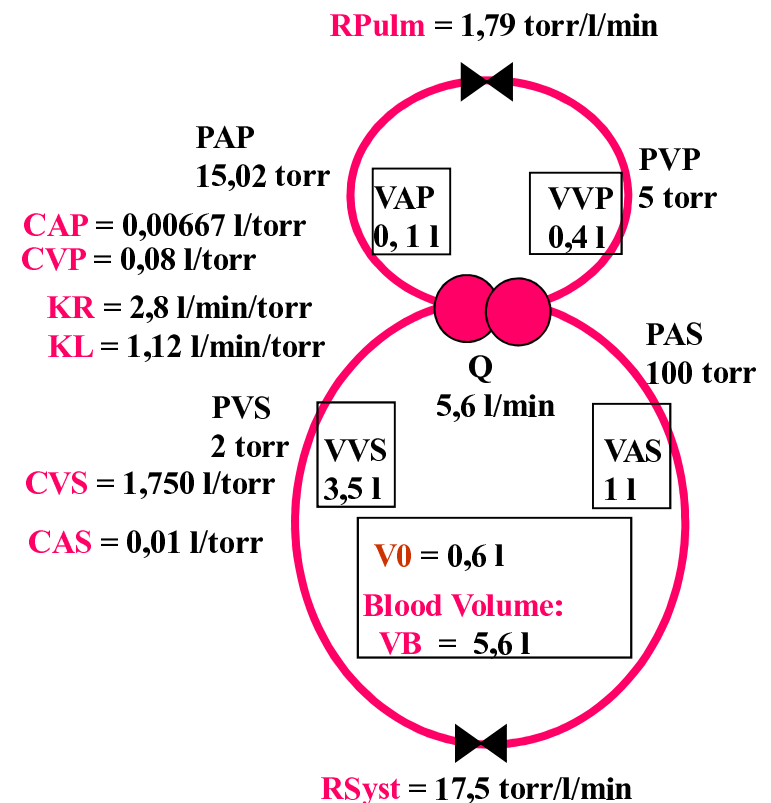
$$I = \frac{U}{R}, \dot{Q} = \frac{(\bar{p}_{IN} - \bar{p}_{OUT})}{R}$$

$$V_{VS} = c_{VS} \bar{p}_{VS}$$

$$\sum V_i = V_{TTL}$$

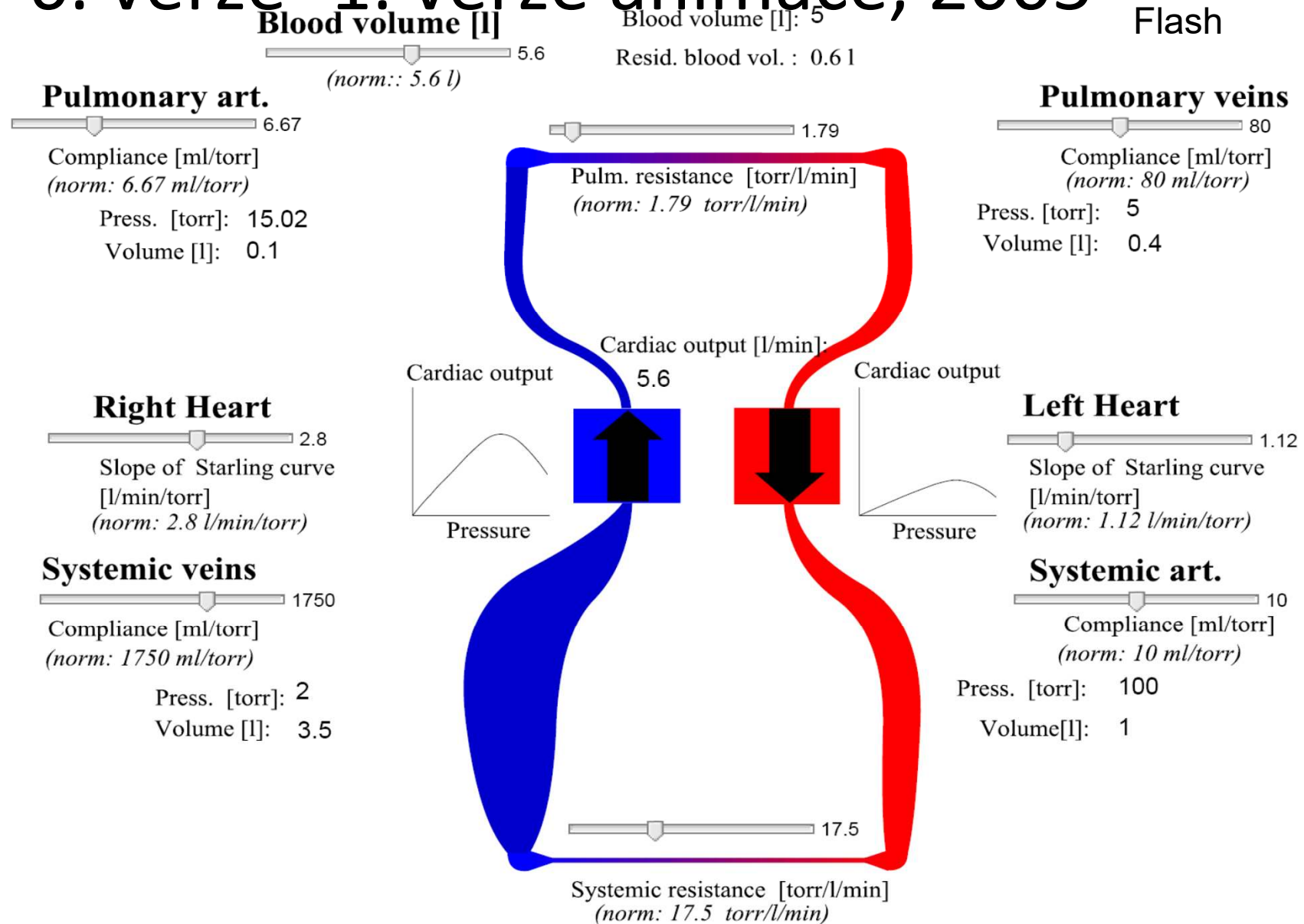
verze č.5, „model s hodnotami“ – rovnice rozepsané pro jednotlivé oddíly cirkulace, nedatováno

- Frank-Starlingova křivka
(srdce je řízeno přítokem)
 $Q = KL * PVP$
 $Q = KR * PVS$
- Ohmův zákon
 $Q = (PAS - PVS) / RSyst$
 $Q = (PAP - PVP) / RPulm$
- Poddajnost cév vzhledem k náplni
 $VAS = CAS * PAS$
 $VVS = CVS * PVS$
 $VVP = CAP * PVP$
 $VAP = CVP * PAP$
- Rovnice kontinuity
 $VB = V0 + VAS + VVS + VAP + VVP$

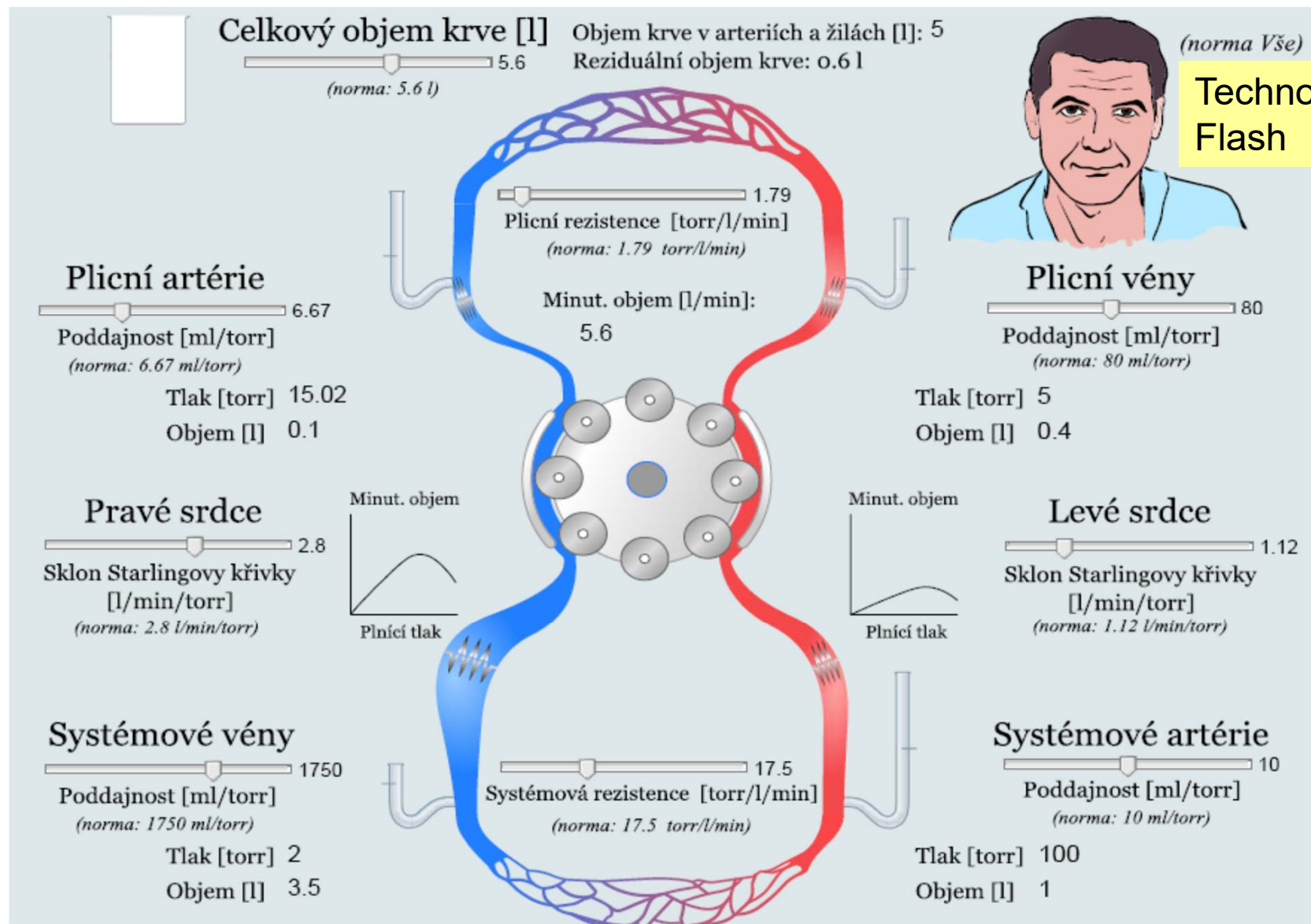


6. verze -1. verze animace, 2005

Technologie:
Flash



7. verze - 2. verze animace, nedatováno



<http://nemo.lf1.cuni.cz/mlab/marsalek-DPF/A-SWF/>

<http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/~tribula/cirkulace/>

Je potřeba regulacím porozumět...

Je třeba umět je zapsat jazykem rovnic

Animace:

Circulation-SimpleUncontrolledSimulation-MaTri-CZ-2006.swf

Animaci je možno spustit na webu na adresách:

<http://nemo.lf1.cuni.cz/mlab/ftp/PATHOPH/VAR/A-SWF/>

<http://patf-biokyb.lf1.cuni.cz/~tribula/cirkulace/>

Následuje:

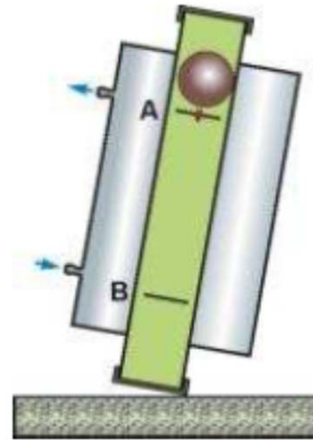
Cévní soustava,

stavba a funkce cévního cévního řečiště

(část 3) ~~srdce jako pumpa~~, a cévní soustava

760 mmHg = 1 atm = 1000 cmH₂O = 101 kPa = ~100 kPa/ %

Viskozita



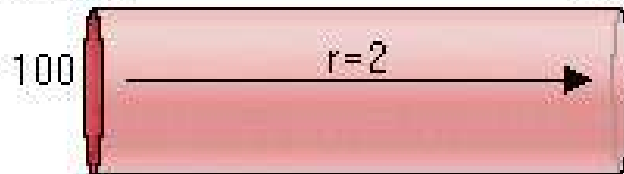
Pojem viskozity (η , éta)/ měření viskozity

$$\eta/\eta_{\text{ref}} = (t/t_{\text{ref}})(\rho/\rho_{\text{ref}}),$$

kde poměr viskozity k referenční viskozitě se spočte jako součin trvání pádu kuličky a poměru hustoty kapaliny k referenčné kapalině (například poměr k vodě).

Hemo-dynamika v cévě, geometrie cévy

Pressure



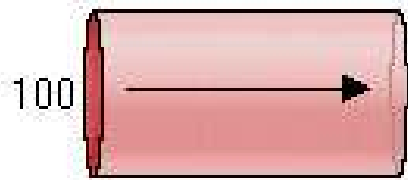
Pressure

Flow

Hagen-Poiseuillův zákon

(vyslov Puasoej-ův)

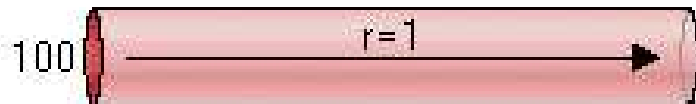
$$Q = \Delta p \pi r^4 / 8 \eta l \text{ [L/s]}$$



0 → 2X

protože

$$R = 8 \eta l / \pi r^4 \text{ [Pa.s/L]}$$



0 → 1/16X

r – poloměr průsvitu cévy

l – délka cévy

η – viskozita krve

Průtok Q je úměrný čtvrté
mocnině poloměru r cévy

R rezistence, $R=p/Q$, $Q=p/R$

Funkční důsledky: nastavení průtokového odporu průsvitem cév

- zásadní význam arteriol, (= tepének) které nejvíc dokáží měnit průměr (stonásobné změny průtoku)
- viskozita: plazma 1.5, krev 3, polycytémie 10 [m²/s]
- průtok nezávisí na tlaku lineárně, protože vzestup tlaku zároveň dilatuje cévy (= compliance)
(z 50 na 100 mm Hg stoupne Q 6x)

760 mmHg = 1 atm = 1000 cmH₂O = 101 kPa = ~100 kPa/ %

Kompliance ~ Roztažnost ~= Distenzibilita cév

$$c = D = \frac{\Delta V}{\Delta P \cdot V}$$

$$V_{VS} = c_{VS} \bar{p}_{VS}$$

- vény 8x roztažnější než arterie (síla stěny)
- plicní arterie 6x distenzibilnější než systémové

Proudění laminární
a turbulentní
Reynoldsovo číslo
Re

$Re = \rho v r / \eta$,
hustota poloměr rychlost (setrvačné síly)
děleno viskozitou (viskózní síly)

proudění laminární, pod 2300
nad 2900, proudění turbulentní

Hemodynamické důsledky

- srdeční/ dýchací šelesty
- vznik trombu, ateroskleróza
- plus

Vaskulární compliance

- množství krve, které přibude v určitém oddílu po zvýšení o jednotku tlaku

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P} \qquad C = D.V$$

- žíly 8x vyšší D a 3x větší V, a proto mají 24x větší compliance než systémové arterie

Žilní systém, žilní tlak

- centrální žilní tlak: (PSV), kolem 0 mm Hg, je regulován stejně jako srdeční výdej
 - selhání srdce, infuze: až 30 mm Hg
 - krevní ztráty: -5 mm Hg
- velké žíly 4-6 mm Hg (útlak okolí)
- těhotenství,
ascites
- Nádory, zablokované lymfatické cesty na dolních končetinách, až 37,5 mm Hg (50 cm H₂O)
- hydrostatický tlak (podtlak na krku)

Rezervoárová funkce žilního systému (objemový rezervoár)

- žilní systém vyrovná ztráty do 1 l krve
- velké břišní vény, síť podkožních žil, slezina, játra
- 50 ml slezinné krve zvýší hematokrit
(= obsah buněčných elementů v krvi) až o 2 %

Arteriální tlak

- kdyby nebyly cévy roztažné, krev by skrz periferní tkáň tekla jen v systole
- u zdravého člověka je však průtok kapilárami téměř konstantní
- systola, diastola, střední tlak, tlaková amplituda

Na čem závisí arteriální tlak? závisí na:

1. na srdečním výdeji

frekvence * tepový objem

ejekční frakce:

$\text{Tepový_Objem} / \text{End_Diastolický_Objem}$

(norma: circa 65 %)

2. na periferním odporu

Funkce pružníku (= aortální mechanický rezervoár)

- **Systola** = přeměna kinetické energie krve na elastickou energii stěny aorty
- **Diastola** = přeměna elastické energie stěny aorty na kinetickou energii krve

Průtok krve orgány (systém/ plíce: 100 %)

	%	ml/min	ml/min/100g
• mozek	14%	700 ml	50
• srdce	4%	200 ml	70
• bronchy	2%	100 ml	25
• ledviny	22%	1100 ml	360
• játra	27%	1350 ml	95
• svaly	15%	750 ml	4
• kůže	6%	300 ml	3
nadledviny	0.5%	25 ml	300

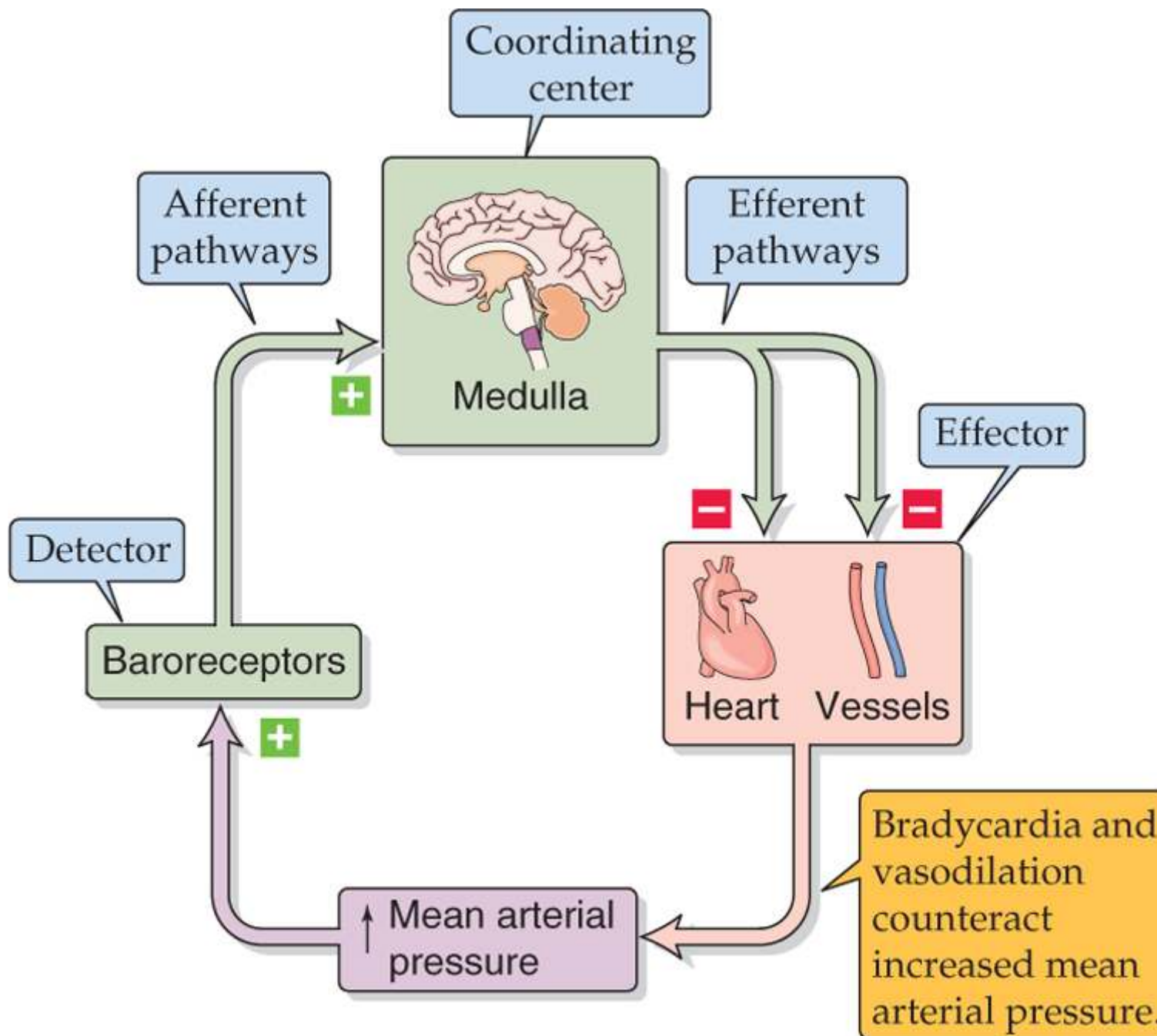
Regulace krevního oběhu

- humorální x nervová
- lokální x generalizovaná
- rychlá x pomalá
- srdeční výdej

(frekvence, síla stahu) x periferní odpor

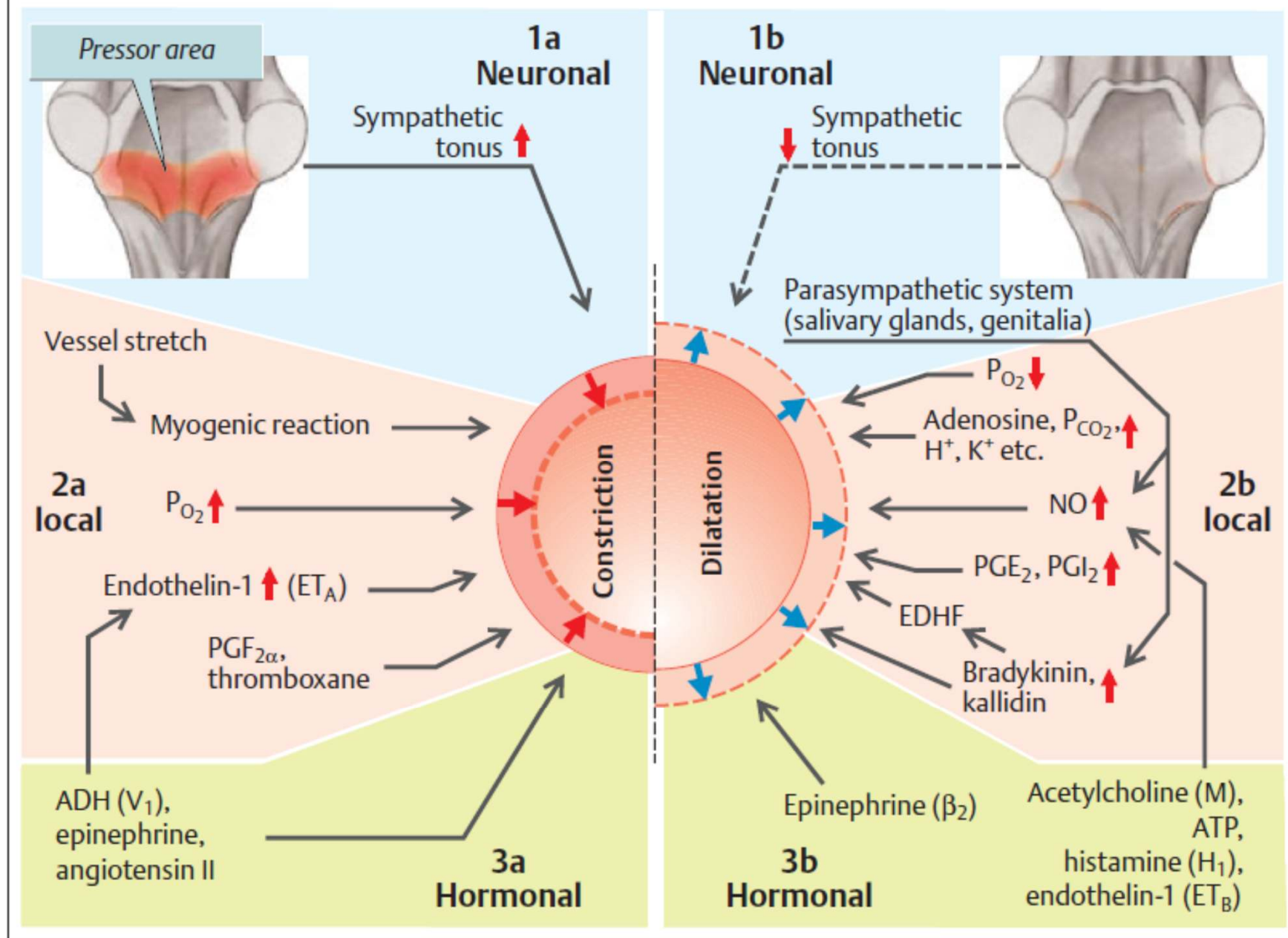
Neuro- (= nervově) humorální (= hormonální) regulace

- řídící centrum
- hormony a ionty
- látky vznikající ve speciálních žlázách a působící celkově
- látky vznikající a působící lokálně



Přehled neurohumorálního řízení

B. Vasoconstriction and vasodilatation



Nervová regulace/ sympatikus

- reguluje především globální funkce (redistribuce do různých orgánů, činnost srdce)
- autonomní nervový systém
- hrudní a bederní sympatikus
- parasympatikus v regulaci cirkulace méně významný (?)

Parasympatikus

- *nervus vagus* vede přímo k srdci
- jediný významný mechanismus ovlivnění cirkulace je vagová inervace srdce
- pokles frekvence i síly srdeční kontrakce

Rychlost nervové regulace

- velmi rychlá
- lokálně zdvojnásobí tlak za 5 - 10 s
- inhibice vazomotorického centra sníží za 10 - 40 s arteriální tlak na polovinu
- suverénně nejrychlejší mechanismus regulace tlaku
- viz ortho-statický reflex

Zde demonstrace/ experiment

Cévní přestavba, rekanalizace

- 1) Hypoxie způsobuje vasodilataci.
- 2) Růst a regenerace tkání nemůže postupovat bez růstu cév, totéž je u nádorů.
- 3) V řečištích, která nemají kolaterální cirkulaci může docházet k infarktům tkáně (mozek, srdce)
- 4) Neovaskularizace je základem reparace (= hojení vazivovou tkání).
- 5) Určité tkáně se odlišují: například v sítnici je neovaskularizace při diabetické retinopatii podkladem sítnicové degenerace.
- 6) Čerstvý trombus v koronárních, mozkových a dalších arteriích je možno rozpouštět katetrizací s urokinázou či streptokinázou.
- 7) Pro udržení průsvitu arterií se implantují stenty.

Přednáška 4/ 4: regulace cirkulace

Je potřeba regulacím porozumět...

Jsou nervové i hormonální, říkáme neuro- humorální

Neexistuje snadná cesta ☹

Následuje:

odškrtání souhrnu

Cíle, osnova, souhrn, po přednáškách Cirkulace umíme:

1. Vysvětlit, proč bez krevního oběhu je lidský život nemožný, vyjmenovat krevní funkce
2. Vysvětlit principy oběhu krve a lymfy
3. Vysvětlit vznik a šíření srdečních impulzů
4. Vysvětlit princip elektrokardiografie
5. Definovat srdeční cyklus a jeho fáze
6. Definovat srdeční minutový objem (srdeční výdej) a způsoby jeho měření
7. Definovat srdeční práci a výkon
8. Def. cévní průtok, q tlak, p a odpor, r , zákon Hagen-Poiseuilleův (vyslov Puasoej-ův)
9. Definovat laminární a turbulentní proudění
10. Definovat arteriální tlak, způsoby jeho měření a normální hodnoty
11. Dokázat, že krevní tlak závisí na geometrii cévního řečiště
12. Definovat krevní viskozitu a faktory, které ji ovlivňují
13. Popsat žilní návrat a mechanismy jeho zvýšení/ snížení
14. Nakreslit a posat kapilární řečiště
15. Popsat rovnováhu mezi filtrací a reabsorbcí, vysvětlit úlohu lymfy
16. Popsat rozdělení srdečního průtoku do hlavních orgánů
17. Vysvětlit principy regulace zpětnou vazbou
18. Popsat regulaci, jak se organizmus brání hyper- a hypotenzi
19. Vyjmenovat optimální parametry pro srdeční pacemaker
20. Popsat metody cévní rekanalizace

Souhrn, po přednáškách Cirkulace umíme:

1. Vysvětlit, proč bez krevního oběhu je lidský život nemožný
(viz difúze, versus vzdušnice u hmyzu)
vyjmenovat krevní funkce (je jich určitě aspoň 10...)
2. Vysvětlit principy oběhu krve a lymfy
(na rozdílích, tepny, žíly, míznice)
3. Vysvětlit vznik a šíření srdečních impulzů
(vlastní pacemaker, vodivý a kontraktilní myokard)
4. Vysvětlit princip elektrokardiografie
(snímání proudů z akčních potenciálů na povrchu těla)
5. Definovat srdeční cyklus a jeho fáze
(systola->diastola, otevírání/ zavírání jednotlivých chlopní)
6. Definovat srdeční minutový objem (srdeční výdej) a způsoby jeho měření
(pomocí Fickova principu, katetrizace)
7. Definovat srdeční práci a výkon
($W = P \cdot t$)
8. Def. cévní průtok, q tlak, p a odpor, r , zákon Hagen-Poiseuilleův (vyslov Poiseuilleův)
($Q = p/R$; $R = 8\eta l / (\pi r^4)$; $Q = (\pi r^4) / (8\eta l)$)
9. Definovat laminární a turbulentní proudění
(Reynoldsovo číslo, laminární, $2320 < Re < 4000$, turbulentní)
10. Definovat arteriální tlak, způsoby jeho měření a normální hodnoty
(Systolický/ diastolický/ střední; metoda přímá/ nepřímá)

Souhrn, Po přednáškách Cirkulace umíme:

11. Dokázat, že krevní tlak závisí na geometrii cévního řečiště
(větvení, rezistence)
12. Definovat krevní viskozitu a faktory, které ji ovlivňují
(hydratace, hematokrit)
13. Popsat žilní návrat a mechanismy jeho zvýšení/ snížení
(rezervoárová funkce horní a dolní duté žíly, koncept pre-loadu)
14. Nakreslit a popsat kapilární řečiště
(... U tabule :-)
15. Popsat rovnováhu mezi filtrací a reabsorbcí, vysvětlit úlohu lymfy
(lymfa, ledviny, to to je v poznámkách)
16. Popsat rozdělení srdečního průtoku do hlavních orgánů
(i toto je regulováno, vitální orgány, ne- vitální orgány, které to jsou ?)
17. Vysvětlit principy regulace zpětnou vazbou
(*)
18. Popsat regulaci, jak se organizmus brání hyper- a hypotenzi
(= těžko ...)
19. Vyjmenovat optimální parametry pro srdeční pacemaker
(spotřeba, spolehlivost, on-demand, primum non nocere...)
20. Popsat metody cévní rekanalizace
(= technologická otázka, katetrizace, stenty = materiály s tvarovou pamětí)

(děkuji vám za pozornost)