

Plicní cirkulace

Poměr plicní ventilace a perfuse

vaclav.hampl@lf2.cuni.cz

<http://fyziologie.lf2.cuni.cz>

<http://vh.cuni.cz>



UNIVERZITA KARLOVA
2. lékařská fakulta



1

Zvláštnosti plicní cirkulace

- Funkce (O_2 do krve)
- ~ celý srdeční výdej
- Kolem kapilár vzduch → žádná opora proti intravaskulárnímu tlaku → ten musí být nízký
- Vysoký průtok při nízkém tlaku → nízký cévní odpor



2

Parametry plicní cirkulace

Průtok (srdeční výdej)	4-8 l/min
Tlak v plícnici	25/8 mmHg (střední 13-16 mmHg)
Tlak v levé síni	1-5 mmHg
Tlak v zaklínění	5-8 mmHg

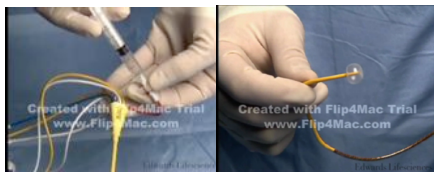
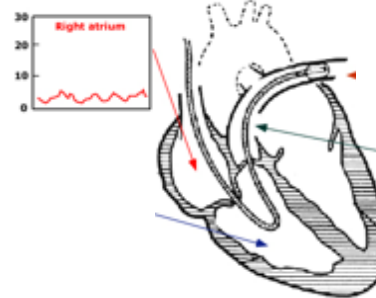
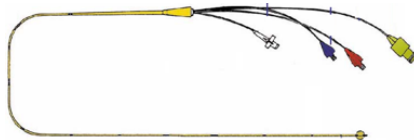
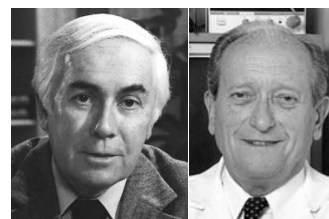


3

Metody

■ Katetrizace (Swan-Ganz)

- ✓ tlaky (vč. v zaklínění)
- ✓ srdeční výdej



4

Metody

■ Katetrizace (Swan-Ganz)

- ✓ tlaky (vč. v zaklínění)
- ✓ srdeční výdej
- ✓ námaha
- ✓ vazodilatační test

■ Echokardiografie



6

Bronchiální cirkulace

- Systémové řečiště
- Výživa dých. cest a větších plicních cév
- Část anastomozuje do plicních žil:
“fyziologický” zkrat
 - cca 1% srdečního výdeje
 - snižuje PaO_2 o ~2 mmHg, SaO_2 o ~0.5%
- Při embolii umí částečně nahradit plicní cévy



7

Další funkce plicní cirkulace

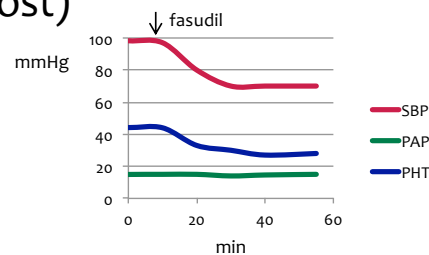
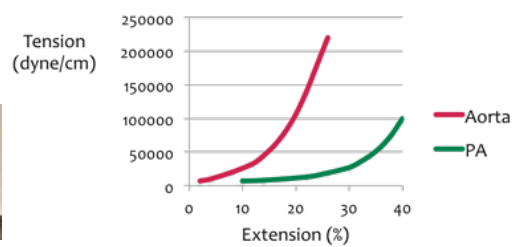
- Metabolické
 - ACE (1 & 2)
 - odstraňování BK, ET, 5-HT...
- Filtrování embolů
 - PAP v klidu ↑ až při ucpání >30% řečiště



8

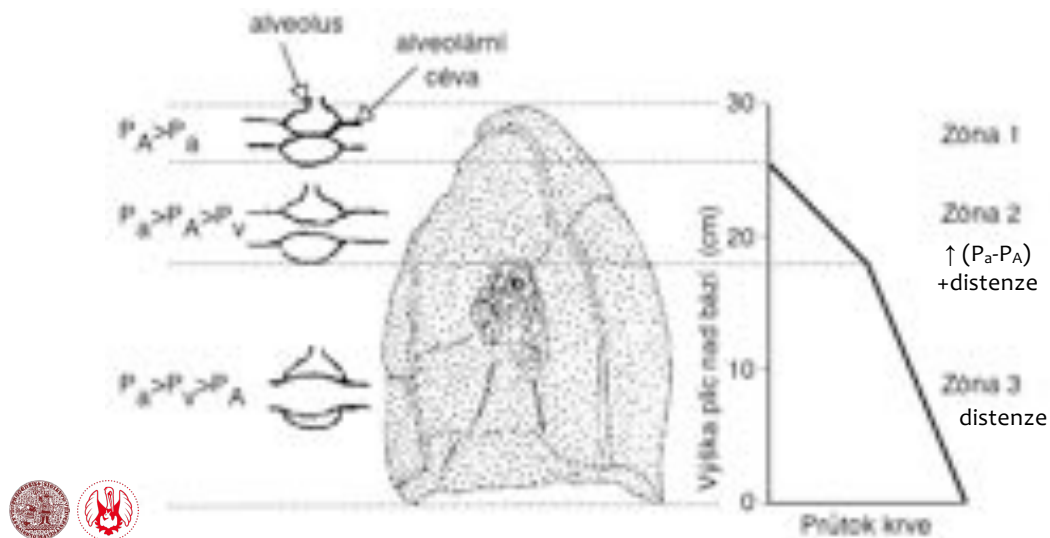
Plicní cirkulace: ve zdraví nízký klidový cévní odpor

- Krátké cévy
 - Hagen–Poiseuille
- Tenká stěna (velká poddajnost)
- Minimální klidový tonus



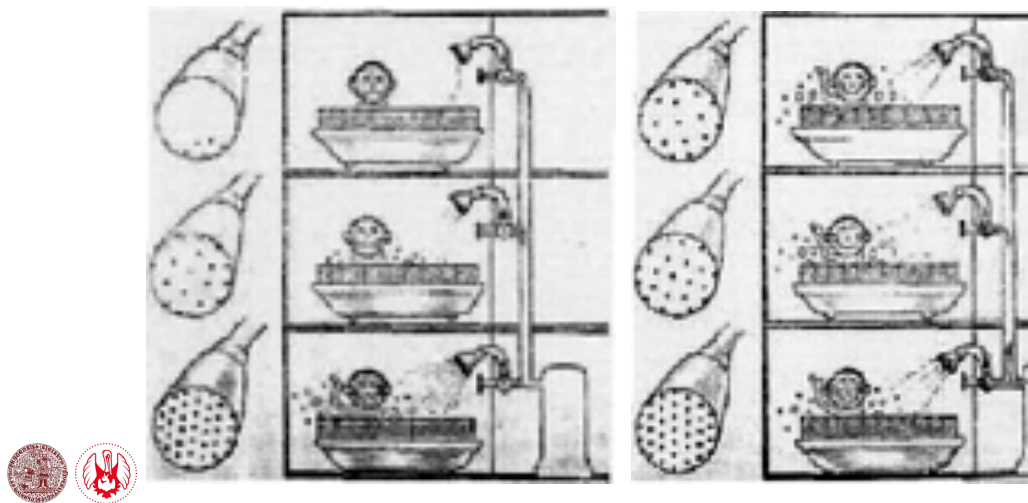
9

Průtok krve plicemi roste od hrotu k bázi



12

Zvýšení P_a zlepšuje perfuzi apikálních částí plic



13

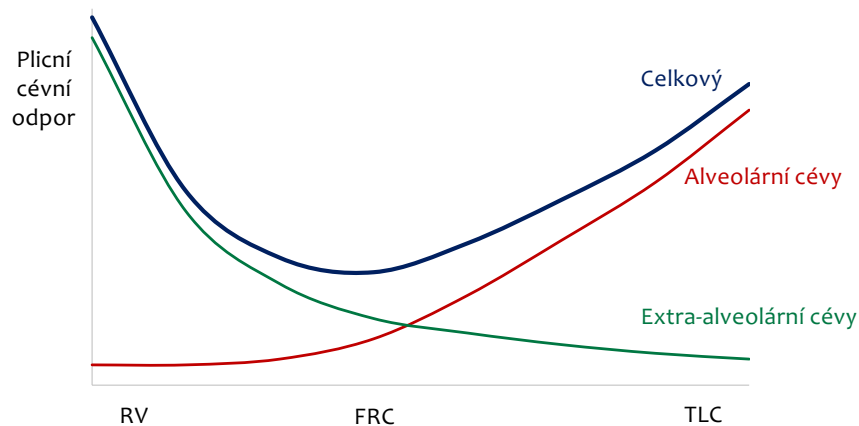
Důsledky zonality plicní hemodynamiky

- Při malém $\uparrow P_v$ nemusí $\uparrow P_a$
 - až při $P_v > P_a$ roste P_a úměrně P_v (zóna 3)
- Edém nejdřív dole
(největší tlak a průtok)
- Přetlaková ventilace - ubývá zóny 3 ve prospěch zón 1 a 2



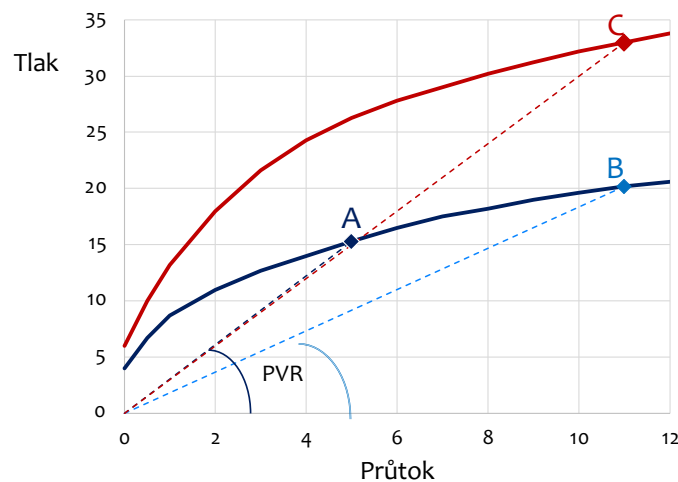
14

Odpor plic. řečiště a objem plic



15

Plicní cévní odpor



17

Zvýšení srdečního výdeje (např. námaha)

- ↓ PVR (hl. mikrocirkulace):
 - distenze
 - nábor (zóny, kritický otevírací tlak)
- → jen minimální ↑ tlaku
 - šetří srdce, brání riziku edému
 - extrémní námaha: někdy až tzv. „stress failure“ plicních kapilár
 - průchod krvinky plic. kapilárou se zkracuje z ~0.8 sec až na ~0.3 sec

18

Regulace plicního oběhu

- Průtok = srdeční výdej
 - nervy minimálně
 - jen $\uparrow$ žilního návratu sympatikem
- Humorální vlivy
 - destičky, makrofágy, endotel,...
 - TxA_2 , PGI_2 , NO, ET, 5-HT, ROS,...
 - hl. patologie
- Lokální regulace
 - intraorgánová distribuce průtoku (udržování V/Q)



19

Poměr ventilace/perfuze ($\dot{V}/\dot{Q}$)



20

Poměr ventilace/perfuze ($\dot{V}/\dot{Q}$)



21

Poměr ventilace/perfuze ($\dot{V}/\dot{Q}$)



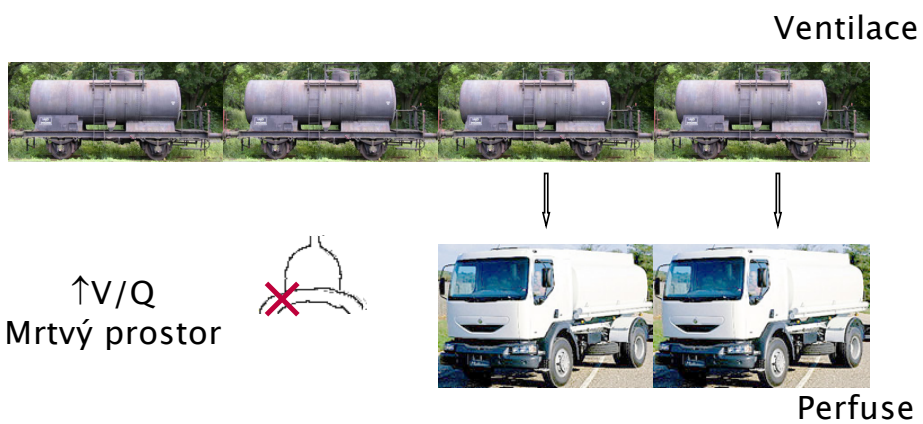
22

Poměr ventilace/perfuze ($\dot{V}/\dot{Q}$)



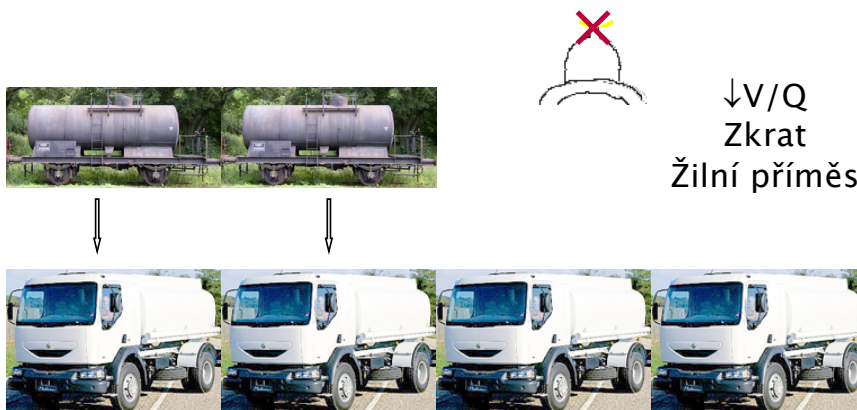
23

↑ poměr ventilace/perfuze ($\dot{V}/\dot{Q}$)



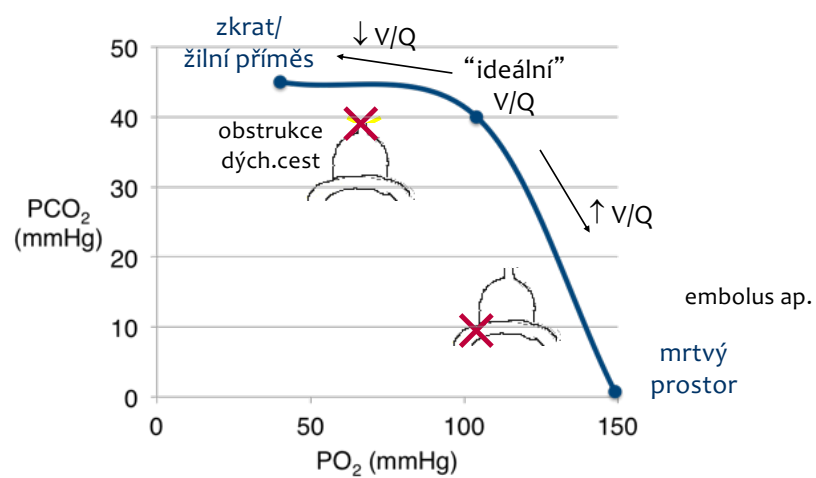
24

↓ poměr ventilace/perfuze ($\dot{V}/\dot{Q}$)



25

Rahn-Fenn (lokální PO_2 - PCO_2)



26

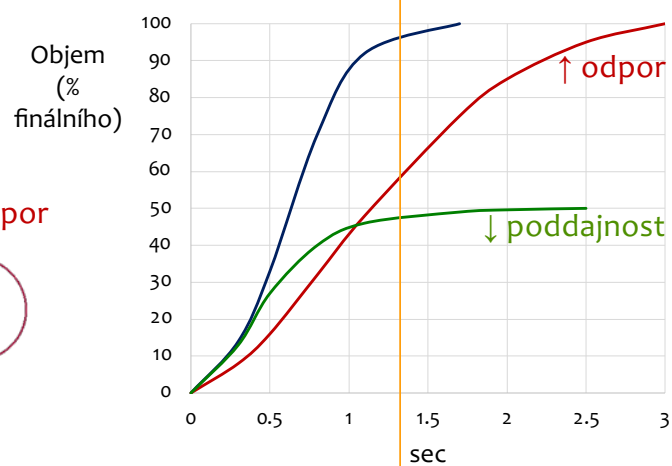
Nerovnoměrnost $\dot{V}/\dot{Q}$

- Trochu i ve zdraví
 - gravitační nerovnoměrnost $\dot{Q} > \dot{V}$
 - mucus
 - různé rezistence a poddajnosti dýchacích cest a alveolů
- Poměr perfuze a O_2 transportu asi nerovnoměrný i v jiných orgánech



27

↑ odpor a ↓ poddajnost
→ ↓ ventilace při normální f



28

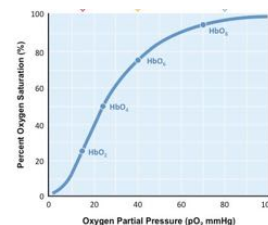
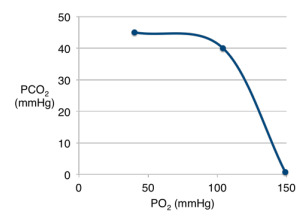
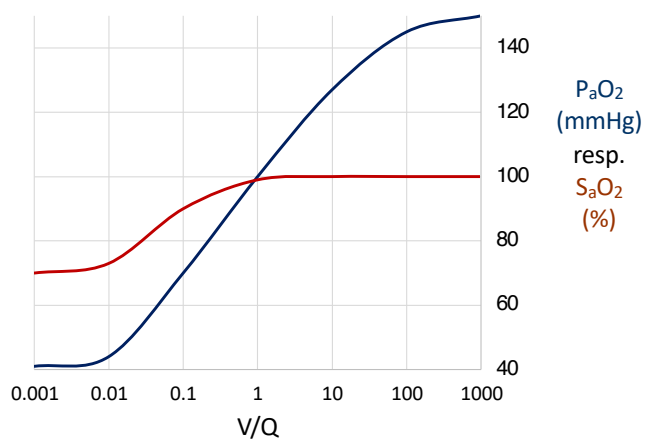
Nerovnoměrnost $\dot{V}/\dot{Q} \rightarrow \downarrow P_{aO_2}$

- Hlavní příčina hypoxémie (a retence CO_2) při plicních nemocech
- $\downarrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow$ žilní příměs
- $\uparrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow \dot{Q}$ protéká jen nepostiženými částmi, tedy v nich relativně $\uparrow \dot{Q} \rightarrow$ žilní příměs



30

Lokální $\uparrow \dot{V}/\dot{Q}$ nad ~ 1 má minimální vliv na S_aO_2



Proto $\uparrow \dot{V}/\dot{Q}$ v jedné části plic nemůže kompenzovat $\downarrow \dot{V}/\dot{Q}$ v jiné

31

Proč zjišťovat (ne)rovnoměrnost $\dot{V}/\dot{Q}$?

Rozlišení příčin hypoxémie:

■ Intrapulmonární

- zkratky
- mrtvý prostor

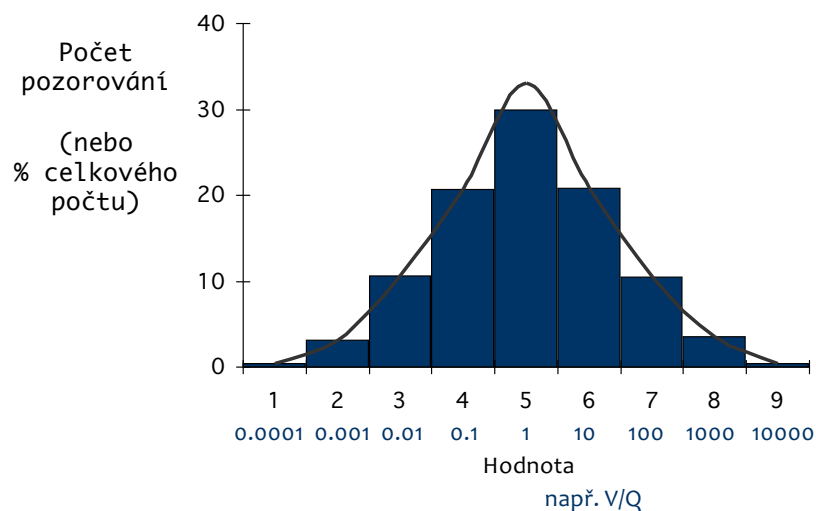
■ Mimoplicní

- hypoventilace
- anemie
- srdeční selhání
- A-B disbalance



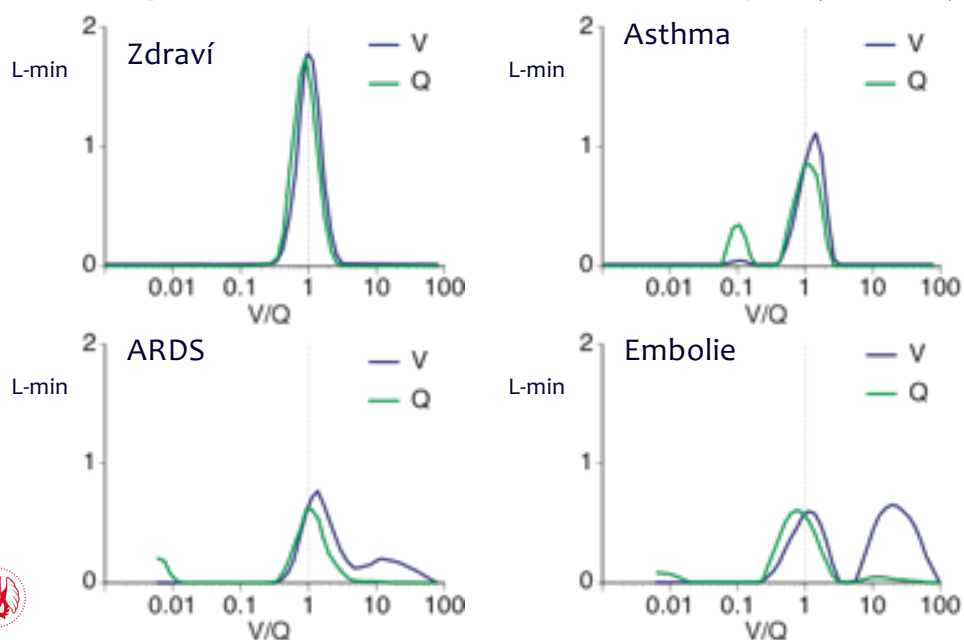
32

Kvantifikace nerovnoměrnosti $\dot{V}/\dot{Q}$: distribuce



33

Multiple Inert Gas Elimination Technique (MIGET)



34

Jak se MIGET dělá

■ I.V. roztok různě rozpustných plynů

- ✓ Aceton (nejrozpuštěnější)
- ✓ Eter
- ✓ Enfluran
- ✓ Cyklopropan
- ✓ Etan
- ✓ SF6 (nejméně rozpustný)

■ Detekce ve vydechaném vzduchu a v arteriální krvi



35

Princip MIGET

- Příměs vzduchu z mrtvého prostoru (kam se injikovaný plyn nemohl z krve dostat) “ředí” celkový exhalovaný vzduch
→ čím vyšší V/Q , tím méně injikovaného plynu je v exhalovaném vzduchu
- Příměs krve ze zkratu (kde nemohl injikovaný plyn z krve utéct) brání poklesu koncentrace injikovaného plynu v arteriální krvi
→ čím nižší V/Q , tím víc injikovaného plynu je v arteriální krvi



36

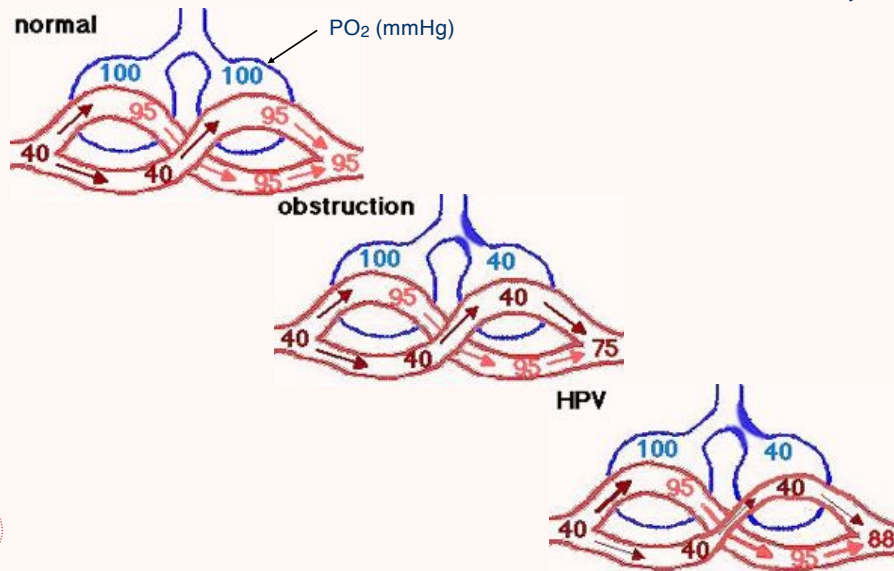
Fyziologická kompenzace nerovnoměrnosti $\dot{V}/\dot{Q}$

- $\uparrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow$ lokální hypokapnie $\rightarrow \uparrow \text{pH}$
→ lokální bronchokonstrikce - slabé
- $\uparrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow \downarrow$ surfaktant
→ $\downarrow$ poddajnost $\rightarrow \downarrow$ ventilace
- $\downarrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow \uparrow \text{CO}_2 \rightarrow \uparrow$ ventilace
➤ zlepší $\text{CO}_2 > \text{O}_2$ (disoc. křivky)
- $\downarrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow \downarrow \text{PaO}_2 \rightarrow \uparrow \text{CO} \rightarrow \uparrow \text{PvO}_2$
➤ $\downarrow$ vliv žilní příměsi na PaO_2
- $\downarrow \dot{V}/\dot{Q} \rightarrow$ **hypoxická plicní vazokonstrikce**



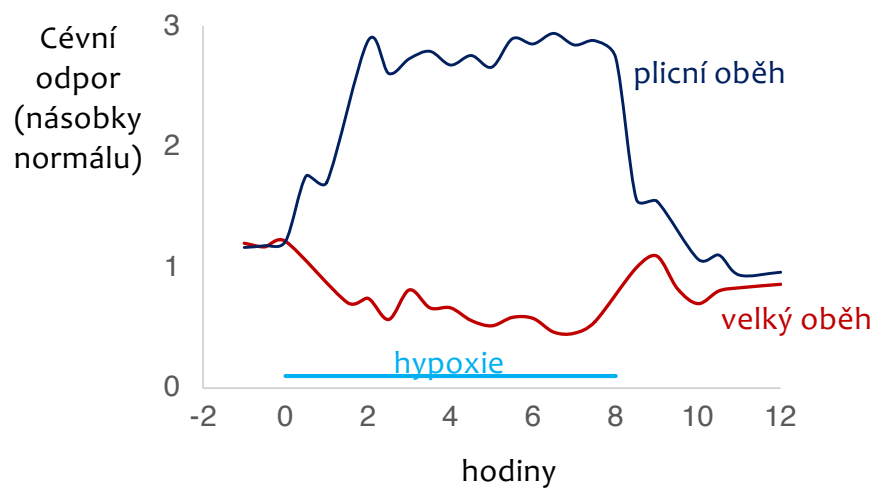
37

Hypoxická plicní vazokonstrikce (HPV) udržuje V/Q



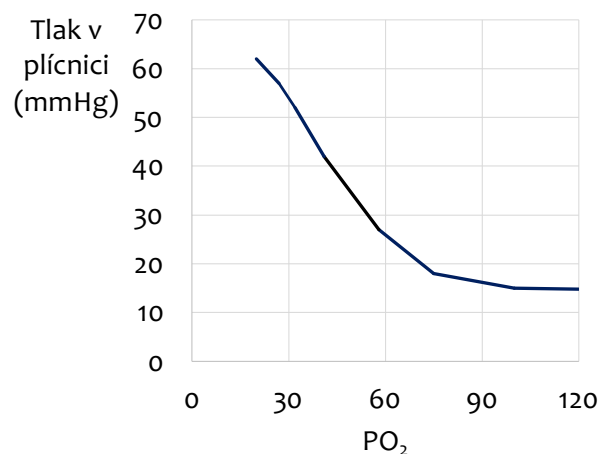
38

HPV: rychlá, setrvalá, rychle reverzibilní



39

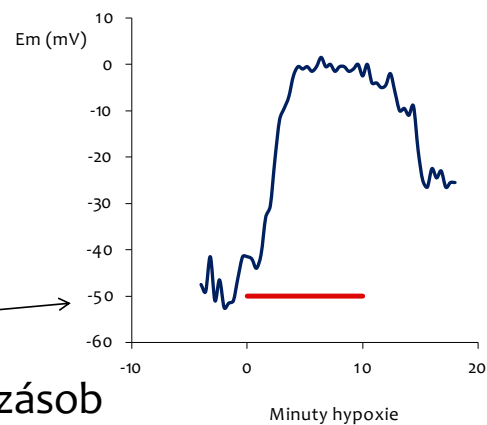
HPV: závislá na stupni hypoxie



40

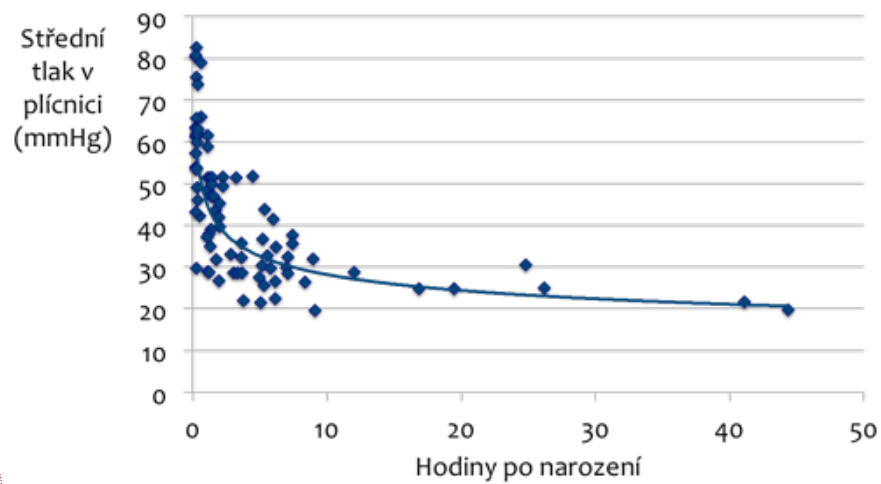
Mechanismus HPV

- Redoxní změny???
- Inhibice K⁺ kanálů
- Depolarizace
- Aktivace Ca²⁺ kanálů (L)
- Influx Ca²⁺ →
- Uvolnění Ca²⁺ z intracel. zásob
- Aktivace kontraktilního aparátu



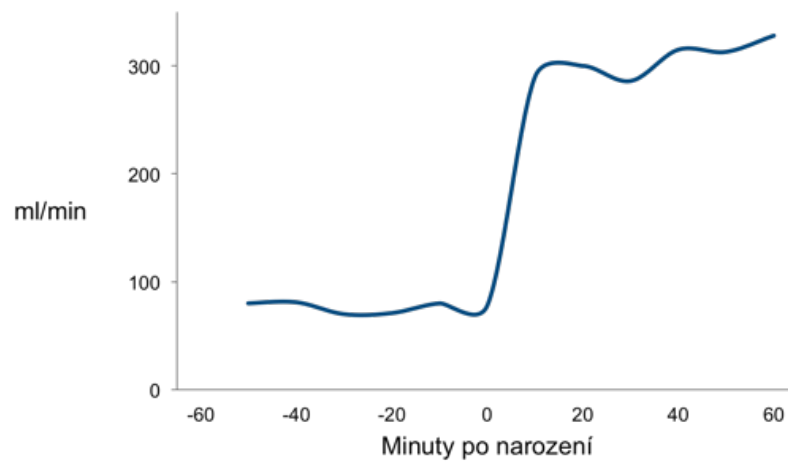
43

Plicní vazodilatace při narození



44

Průtok krve plícemi při narození



45

Filtrace v plicních kapilárách

• kapilární tlak:	7 mmHg
• negativní intersticiální tlak:	8 mmHg
• osmotický tlak intersticiální tekutiny:	14 mmHg
Σ CELKOVÁ SÍLA VEN:	29 mmHg
• osmotický tlak plasmy:	28 mmHg
Σ CELKOVÁ SÍLA DOVNITŘ:	28 mmHg
Σ Net filtrační tlak (ven):	1 mmHg
• odsáváno lymfatickým systémem	



46

Nemoci

- Plicní hypertenze
 - idiopatická
 - sekundární (selhání L ♥, hypoxie, tromby, schistosomy,...)
- Plicní edém
 - ARDS
 - kardiogenní
 - HAPE
- Plicní embolie



47