Plicní cirkulace

Poměr plicní ventilace a perfuse

vaclav.hampl@lf2.cuni.cz

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

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

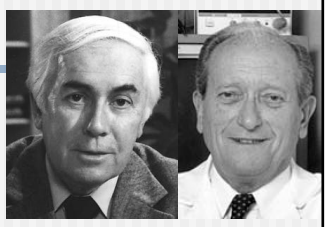
2

Parametry plicní cirkulace

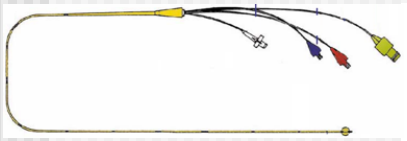
Průtok (srdeční výdej)	4-8 l/min
Tlak v plícnici	25/8 mmHg (střední 13-16 mmHg)
Tlak v levé síni	1-5 mmHg
Tlak v zaklínění	5-8 mmHg

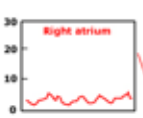
3

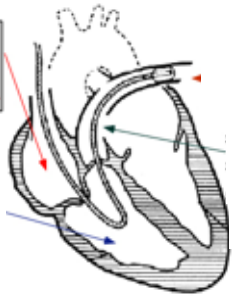
Metody

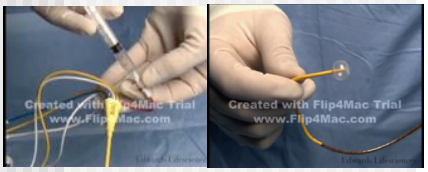


- Katetrizace (Swan-Ganz)
  - ✓ tlaky (vč. v zaklínění)
  - ✓ srdeční výdej









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 anastamozuje 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

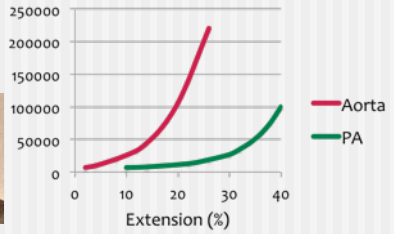
Další funkce plicní cirkulace

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

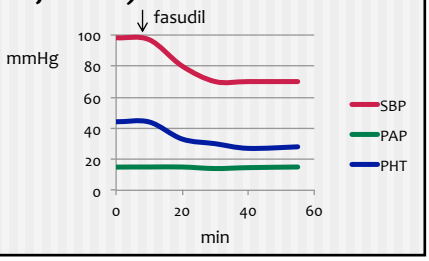
8

Plicní cirkulace: ve zdraví nízký klidový cévní odpor

- Krátké cévy
  - Hagen–Poiseuille

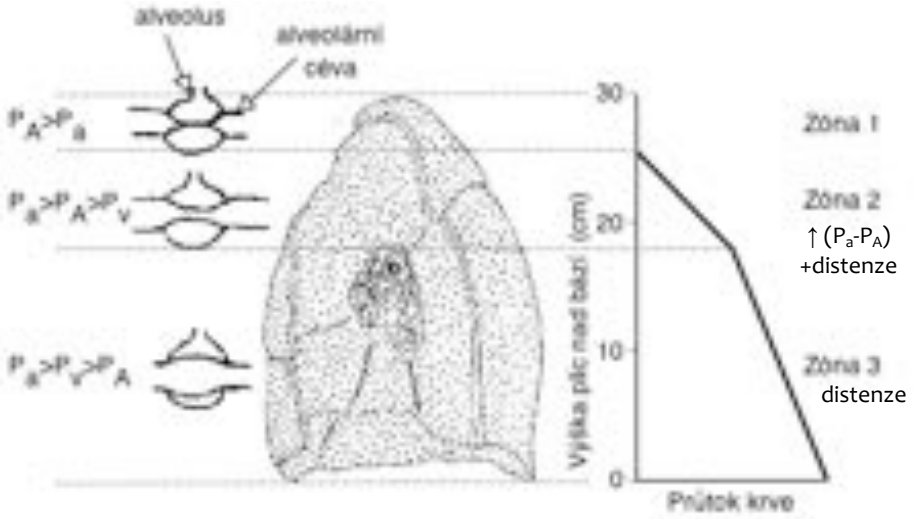


- Tenká stěna (velká poddajnost)
- Minimální klidový tonus



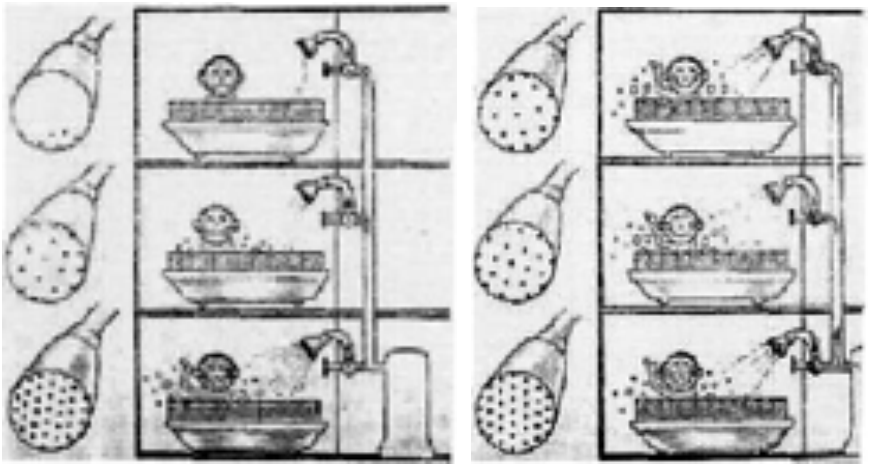
9

Průtok krve plícemi roste od hrotu k bázi



13

Zvýšení Pa zlepšuje perfuzi apikálních částí plic



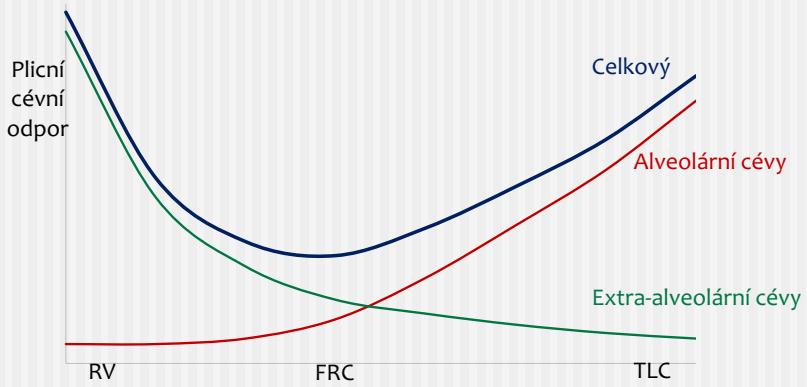
14

Důsledky zonality plicní hemodynamiky

- Při malém ↑ P_v nemusí ↑ 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

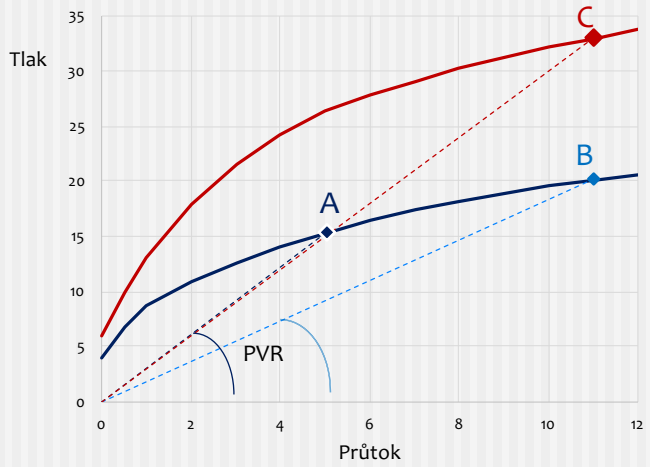
15

Odpor plic. řečiště a objem plic



16

Plicní cévní odpor (PVR) (perfuzní tlak/průtok)



18

Regulace plicního oběhu

- Průtok = srdeční výdej
  - nervy minimálně
    - jen ↑ 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)

20

Poměr ventilace/perfuze (V/Q)

21

Poměr ventilace/perfuze (V/Q)

22

Poměr ventilace/perfuze (V/Q)

23

Poměr ventilace/perfuze (V/Q)

24

Poměr ventilace/perfuze (V/Q)

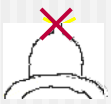
Ventilace

↑V/Q
Mrtvý prostor

Perfuse

25

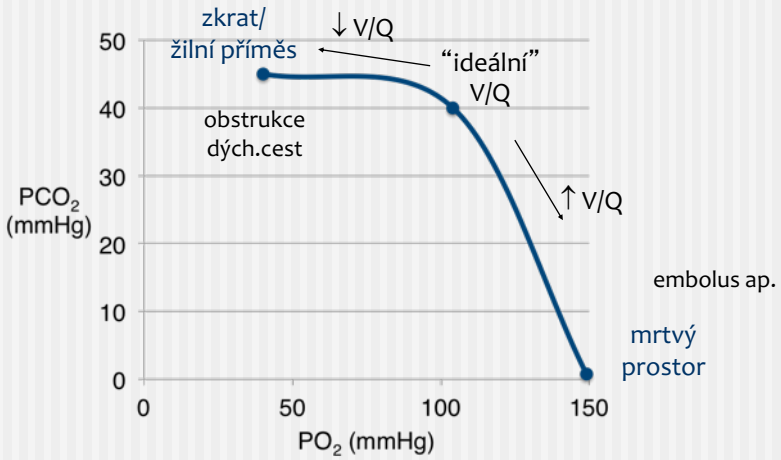
Poměr ventilace/perfuze (V/Q)



↓V/Q
Zkrat
Žilní příměs

26

Rahn-Fenn (lokální PO_2-PCO_2)



27

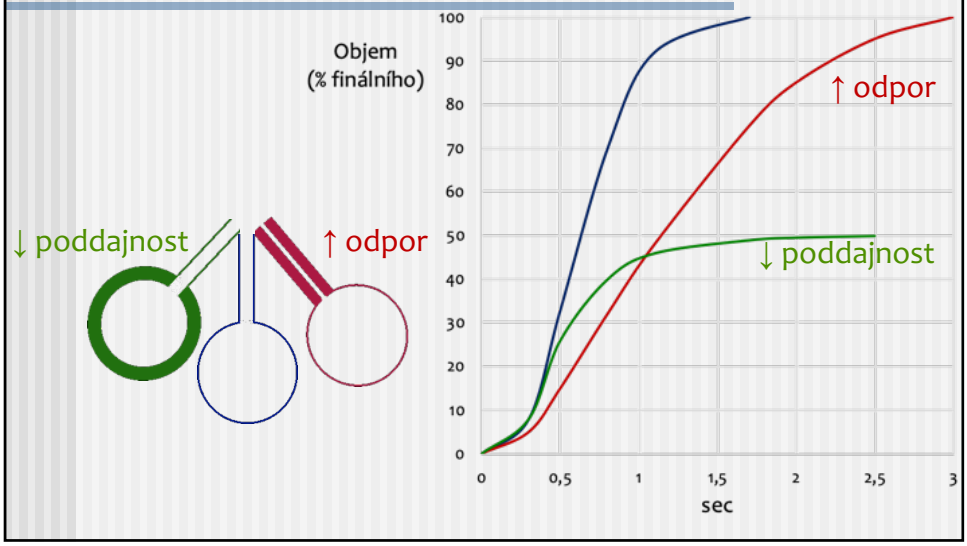
Nerovnoměrnost V/Q

- Trochu i ve zdraví
  - gravitační nerovnoměrnost Q > V
  - mucus
  - různé rezistence a poddajnosti dýchacích cest a alveolů

Poměr perfuze a O_2 transportu asi nerovnoměrný i v jiných orgánech

28

↑ odpor a ↓ poddajnost → ↓ventilace při normální f



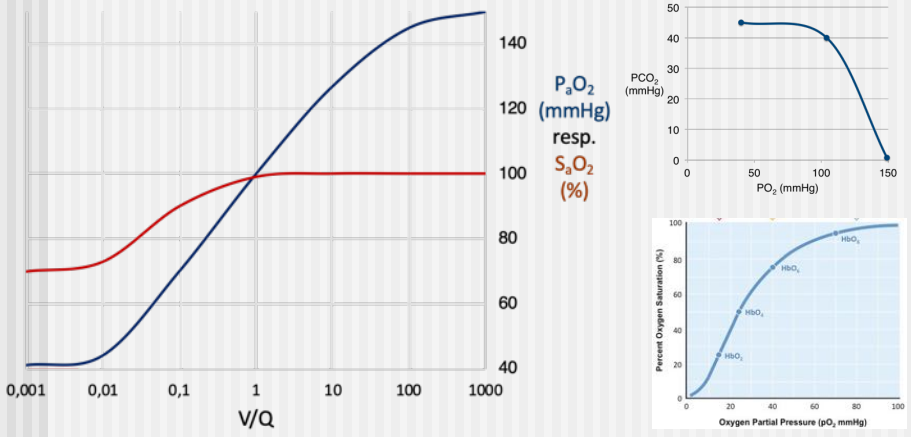
29

Nerovnoměrnost V/Q →↓PaO_2

- ↓ V/Q → žilní příměs
- ↑ V/Q → Q protéká jen nepostiženými částmi, tedy v nich relativně ↑ Q → žilní příměs

32

Lokální ↑ V/Q nad ~1 má minimální vliv na S_aO_2



Proto ↑V/Q v jedné části plic nemůže kompenzovat ↓v jiné

33

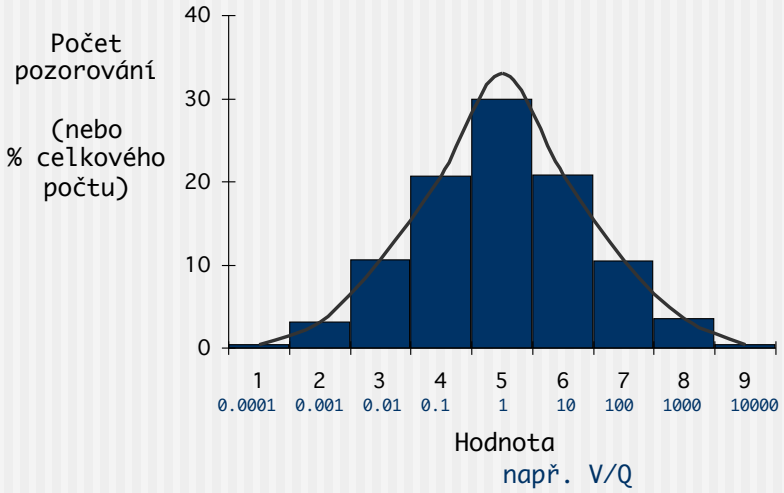
Proč zjišťovat nerovnoměrnost V/Q?

Rozlišení příčin hypoxémie:

- Intrapulmonární
  - Zkraty
  - mrtvý prostor
- Mimoplicní
  - hypoventilace
  - Anemie
  - srdeční selhání
  - A-B disbalance

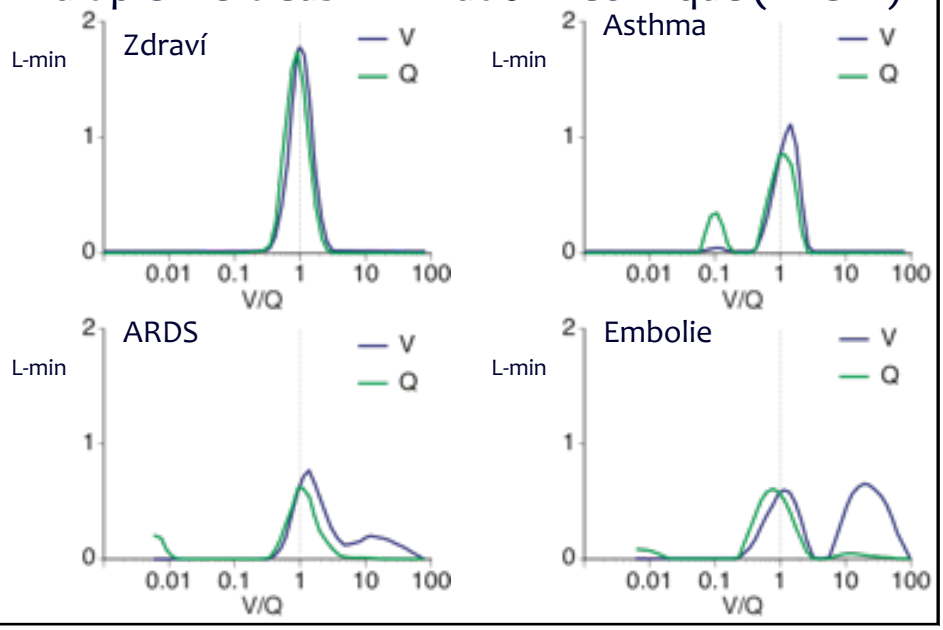
35

Kvantifikace nerovnoměrnosti V/Q: distribuce



36

Multiple Inert Gas Elimination Technique (MIGET)



37

Jak se MIGET dělá

- I.V. roztok různě rozpustných plynů
  - ✓ Aceton (nejrozpustnější)
  - ✓ Eter
  - ✓ Enfluran
  - ✓ Cyklopropan
  - ✓ Etan
  - ✓ SF6 (nejmíň rozpustný)
- Detekce ve vydechovaném vzduchu a v arteriální krvi

38

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

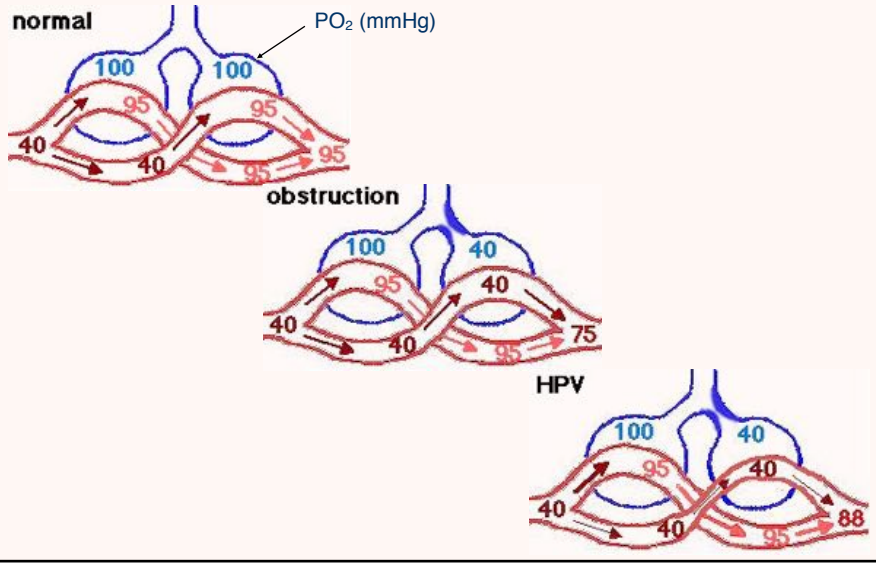
39

Fyziologická kompenzace nerovnoměrnosti V/Q

- ↑V/Q → lokální hypokapnie → ↑pH
  → lokální bronchokonstrikce - slabé
- ↑V/Q → ↓ surfaktant
  → ↓ poddajnost → ↓ ventilace
- ↓V/Q → ↑CO_2 → ↑ ventilace
  - zlepší CO_2 > O_2 (disoc. křivky)
- ↓V/Q → ↓PaO_2 → ↑CO → ↑PvO_2
  - ↓ vliv žilní příměsi na PaO_2
- **↓V/Q → hypoxická plicní vazokonstrikce**

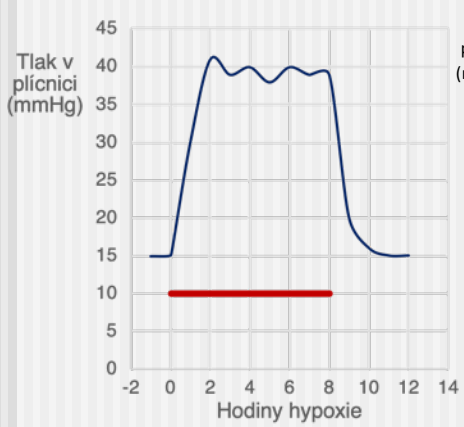
40

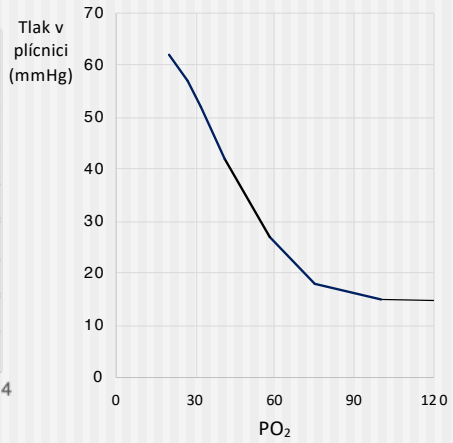
Hypoxická plicní vazokonstrikce (HPV) udržuje V/Q



41

HPV: rychlá, setrvalá, rychle reverzibilní, závislá na stupni hypoxie

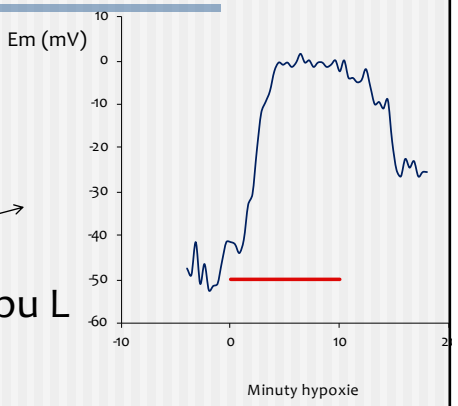




42

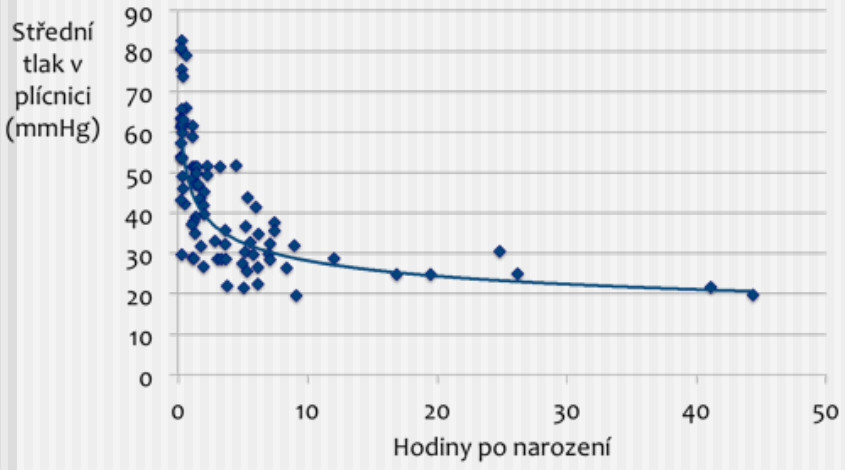
Mechanismus HPV

- Redoxní změny???
- Inhibice K^+ kanálů
- Depolarizace
- Aktivace Ca^{2+} kanálů typu L
- Influx Ca^{2+}
- Uvolnění Ca^{2+} z intracel. zásob
- Aktivace kontraktilního aparátu



44

Plicní vazodilatace při narození



45

Průtok krve plícemi při narození

46

Filtrace v plicních kapilárách

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

• odsáváno lymfatickým systémem

47

Nemoci

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

48