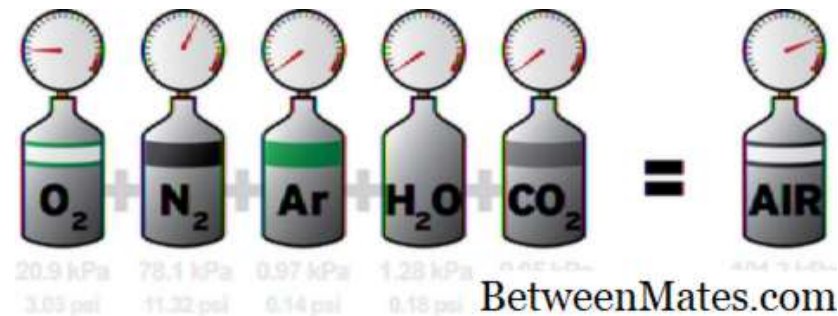


# Onemocnění plic



# Proces dýchání a parciální tlaky plynů

- Dýchání – komplexní proces výměny  $O_2$  a  $CO_2$  mezi tkáněmi a okolním prostředím
- Plyny spontánně difundují podle parciálních tlaků

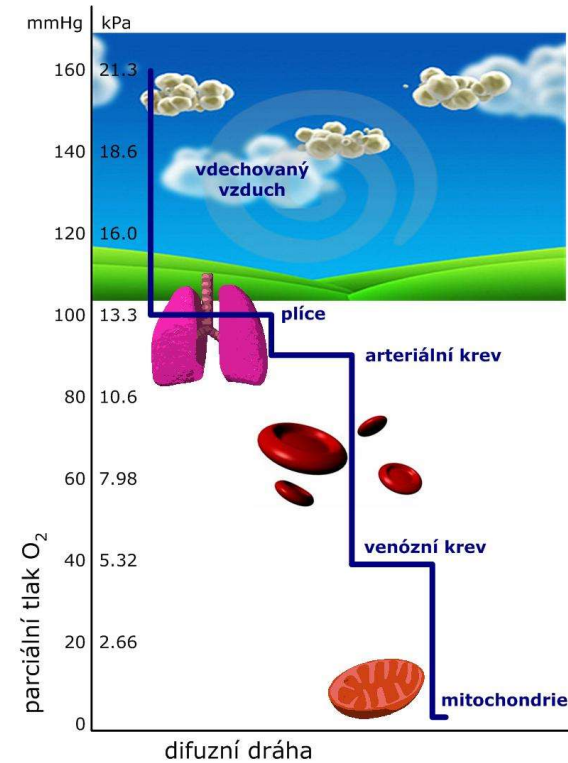
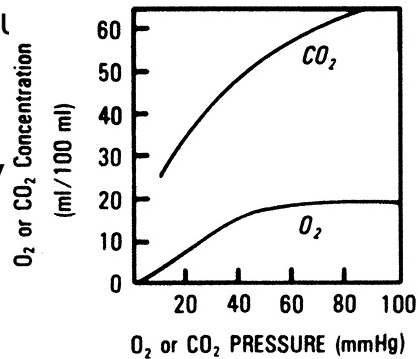


Parciální tlaky

	$O_2$ (%)	$CO_2$ (%)	$PH_2O$ (kPa)	$PN_2$ (kPa)	$PaO_2$ (kPa)	$PCO_2$ (kPa)
Atmosfer. vzduch (suchý)	20,93	0,03	0,8	79,04	21,06	0,04
Expir. vzduch	15,1	4,3	6,3	75,3	15,3	5,73
Alveolární vzduch	13,2	5,1	6,2	76,4	13,4	5,33
Arteriální krev	19,8	50	6,3	76,4	8	5,2
Venózní krev	14-15	55	6,3	76,4	5,2	6,13

# Výměna plynů

- alveolární ventilace
- perfuze plic a arterIALIZACE krve
  - hypoxická vazokonstrikce
- parciální tlaky v alveolech × krvi
  - alveolo-kapilární rozdíl
- přenos kyslíku krví do tkání
  - určen disociační křivkou Hb
- Na rozdíl od kyslíku,  $\text{CO}_2$  je v krvi přítomen různých formách (krev je „nesaturovatelná“)
  - $\text{HCO}_3^-$
  - Volně rozpuštěný  $\text{CO}_2$
  - karbaminohemoglobin
  - $\text{CO}_2$  v cytoplasmě erytrocytu



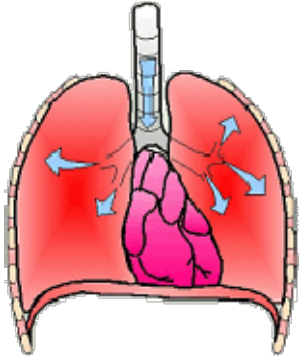
# Proces respirace (výměna plynů v plicích)

- Ventilace
- Difúze
- Perfúze

Parciální tlaky

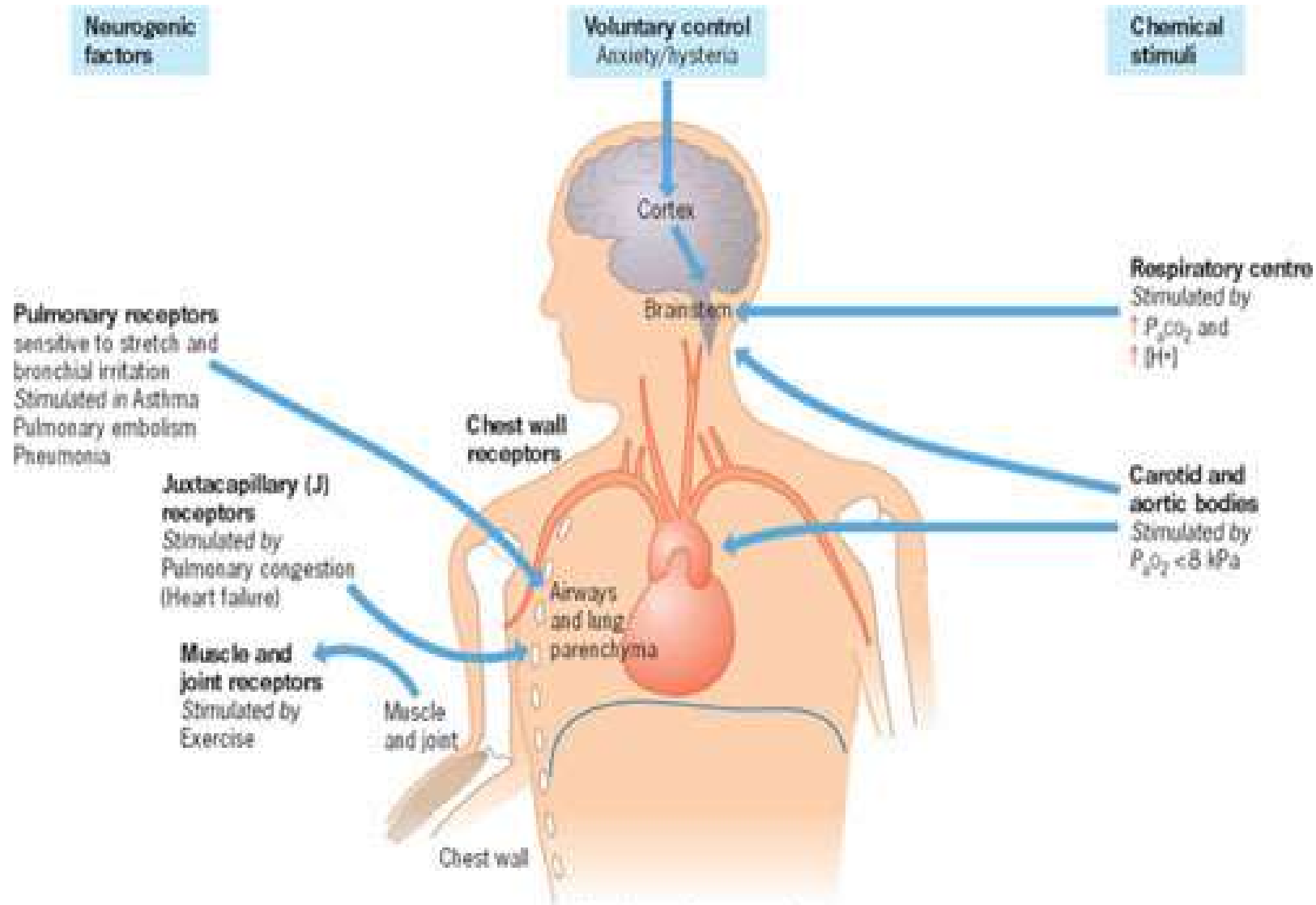
	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	PH <sub>2</sub> O (kPa)	PN <sub>2</sub> (kPa)	PaO <sub>2</sub> (kPa)	PCO <sub>2</sub> (kPa)
Atmosfer. vzduch (suchý)	20,93	0,03	0,8	79,04	21,06	0,04
Exspir. vzduch	15,1	4,3	6,3	75,3	15,3	5,73
Alveolární vzduch	13,2	5,1	6,2	76,4	↓ 13,4	↑ 5,33
Arteriální krev	19,8	5,0	6,3	76,4	8 ↓ 12,7	5,2
Venózní krev	14-15	5,5	6,3	76,4	↓ 5,2	6,13

# Respirační aparát

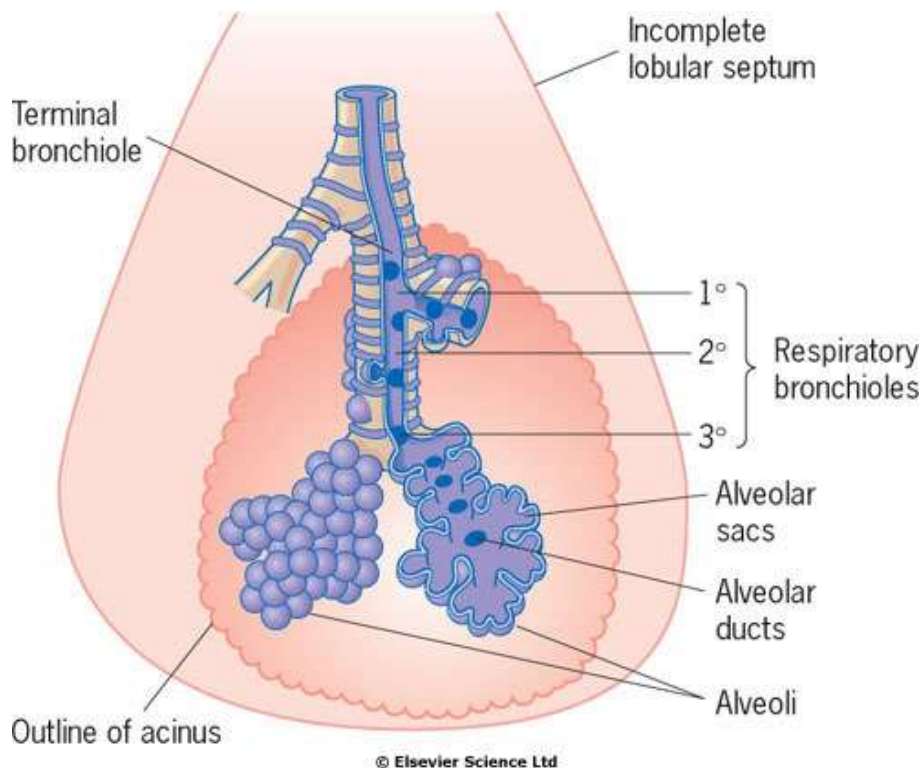


- zajišťuje neustálou výměnu  $O_2$  a  $CO_2$  mezi okolním vzduchem a krví na požadovaných hodnotách **parciálních tlaků** obou plynů v krvi
- **mechanika** dýchání
  - ventilace je kombinace aktivního **nádechu** (kontrakce bránice + podtlak v pohrudniční dutině) a pasivního **výdechu** (relaxace bránice + elastická smrštivost plic)
- rozpínací tlak překonává **odpory** dých. cest
  - statické = ovlivněny poddajností plic a hrudní stěny
  - dynamické = pouze při proudění vzduchu, ovlivněny průsvitem dých cest.
- pro výměnu plynů musejí mít plíce dostatečný **povrch**
  - může být poškozen prachy, plyny a infekčními agens
  - ochrana plic proti těmto vlivům je prioritní a dosahuje se jí kombinací strukturálních a imunologických obranných mechanismů
- stěny alveolokapilární membrány (**plicní parenchym**) musejí klást minimální odpor difúzi plynů

# Regulate ventilace



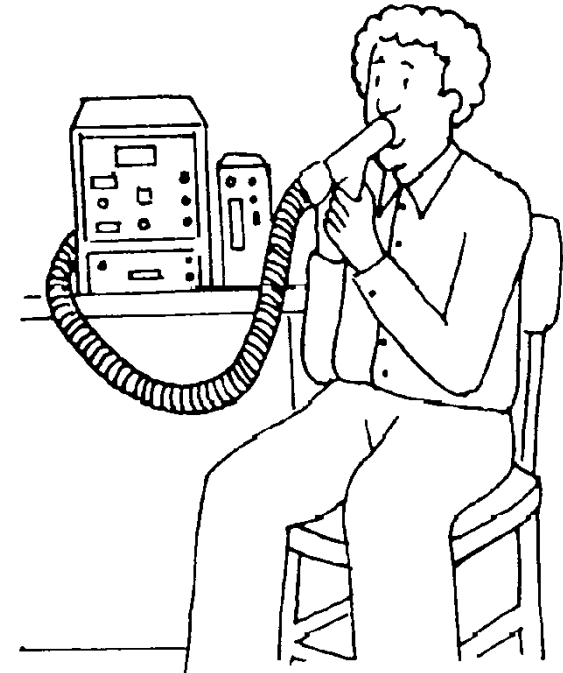
# Ventilace - respirační systém



- pásmo konvekce = anatomický mrtvý prostor
  - neprobíhá výměna plynů, pouze proudění vzduchu
  - 1 - trachea
  - 2 - bronchus
  - 3 - lobární bronchus
  - segmentální bronchus
  - terminální bronchiolus
- pásmo respirace
  - výměna plynů
  - respirační bronchiolus
  - alveolární duktus
  - alveolus

# Statické a dynamické odpory plic

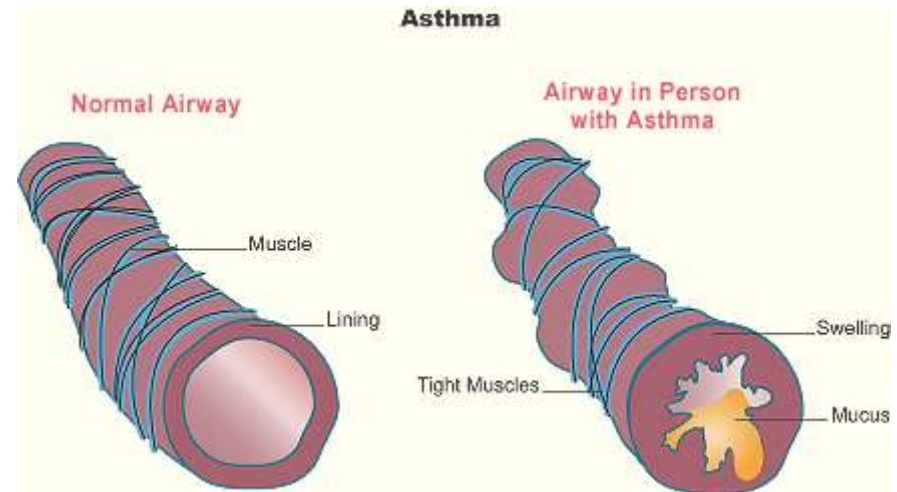
- rozpínací tlak při dýchání překonává 2 druhy odporů
  - (1) statické
    - konstantní, tj. nezávislé na čase
    - týká se respiračního pásma
    - určeny 2 faktory
      - ☛ elastická smršťivost ("recoil") plic (elasticita resp. poddajnost)
        - » kolagen a zejm. elastin
      - ☛ povrchové napětí výstelky alveolů
        - » kapalina + surfaktant
  - (2) dynamické
    - mění se s časem, tedy jen pokud vzduch proudí
      - ☛ na vrcholu inspiria a expiria je nulový
    - týká se pásma konvekce
    - tlakový rozdíl (P) mezi tlakem v ústní dutině a alveolu
      - ☛  $P = V \times R$  ( $R \sim 1/r^4$ )
- dýchací práce
  - určena objemem vzduchu a tlakem, který se musí vyvinout
  - normálně na ni připadá cca 2-5% spotřeby kyslíku
  - při hyperventilaci až 30%!!



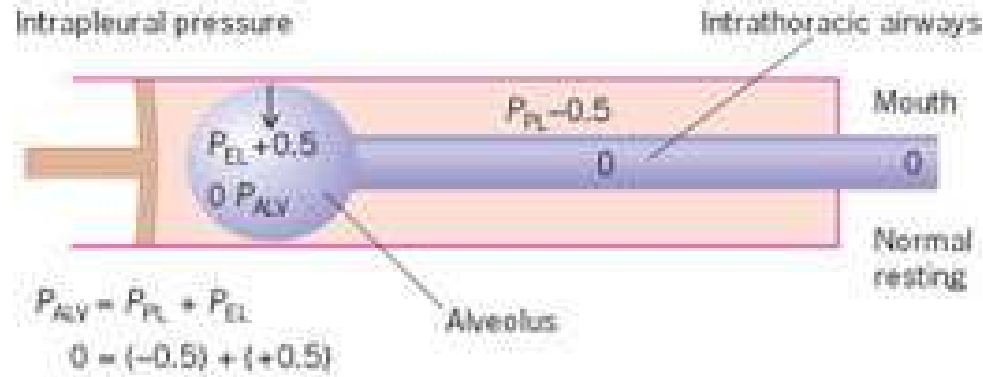


# Dynamická komprese dýchacích cest

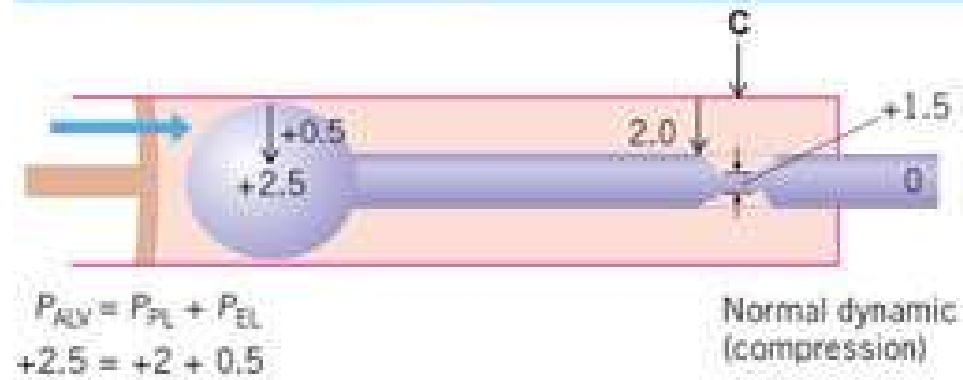
- předčasné uzavírání dýchacích cest
  - intrapleurální tlak není stejný kolem celé plíce (při bazích méně negativní)
  - při hlubokém výdechu (až k RV) se může dostat i do pozitivních hodnot, uzavírá malé dých. cesty (respirační bronchioly) a zachycuje vzduch v alveolech
    - "air trapping"
- fyziologicky minimálně u mladých, objem roste s věkem
- patologicky u obstrukčních nemocí, při zapojení pomocných výdechových svalů překonávajících výdechovou obstrukci



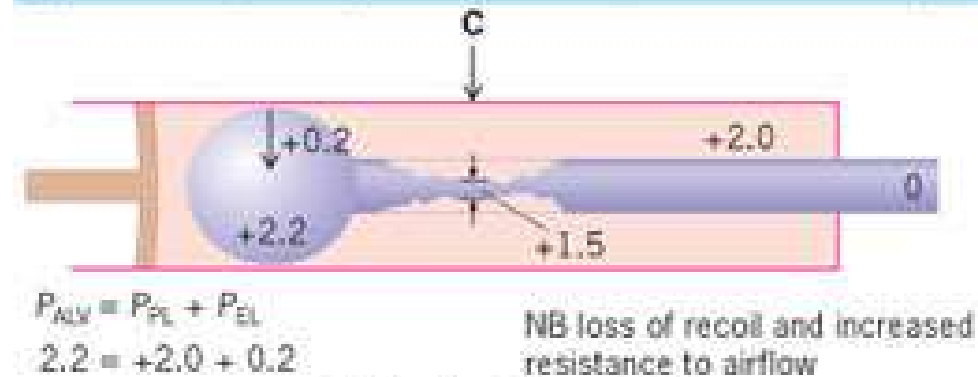
**(a) Resting**



**(b) Forced expiration (normal)**



**(c) Forced expiration (airflow limitation, asthma and COPD)**



# Regulace perfúze

## ■ Plicní cirkulace

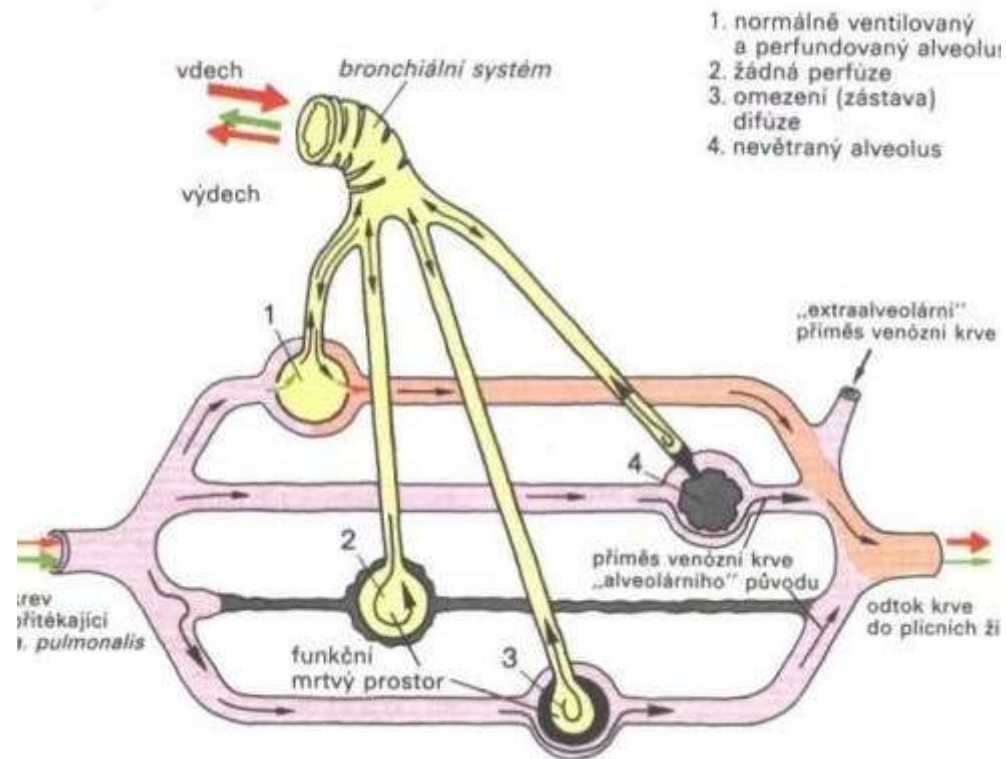
- Nízký tlak
- Distribuce do jednotlivých segmentů regulována výhradně lokálními metabolickými faktory (hypoxická vazokonstrikce)
- Celkový CO je určen ledvinami a levou komorou (ty reagují primárně na parametry systémové cirkulace), v plicích pouze regulace rezistence
- Malý tlakový gradient mezi plicními žilami a tepnami (dostatečné  $\uparrow$  TK v levé síni se přenese až do plicnice)

## ■ Systémová cirkulace

- Vysoký tlak
- Distribuce do jednotlivých segmentů regulována metabolicky (hypoxická vazodilatace) i centrálně (nervový systém, hormony)
- Současná regulace rezistence, mechanické funkce srdce a cirkulujícího volumu
- Rozdíl mezi arteriálními a žilními tlaky cca 100 mmHg,  $\uparrow$  TK v pravé síni nemá přímý vliv na MAP

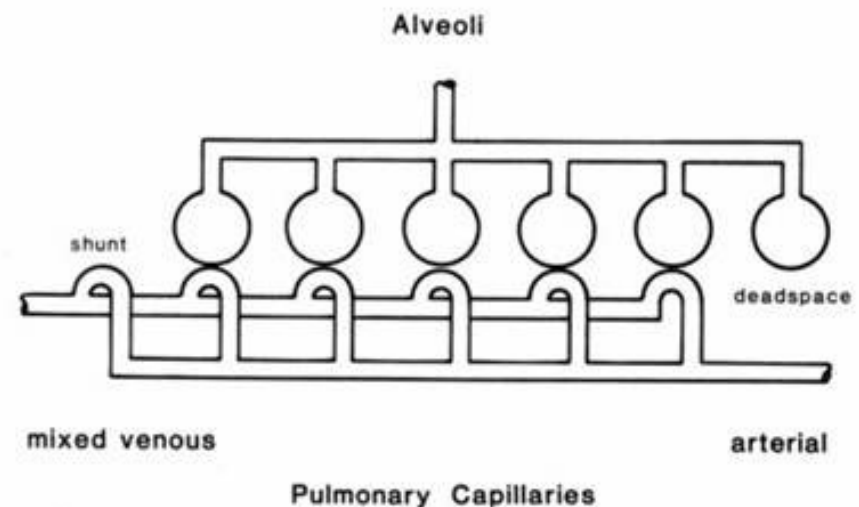
- Většina rozdílů se vyvíjí až během přechodu na postnatální cirkulaci

# Typy respiračních poruch



# Zkrat

- množství krve, které se dostalo z pravé komory do levé síně aniž by se v něm změnila tenze plynů (do 0.10 fyziologický)
  - anatomický
  - patologický
  - funkční (alveoly s nízkým  $V_A/Q$ )

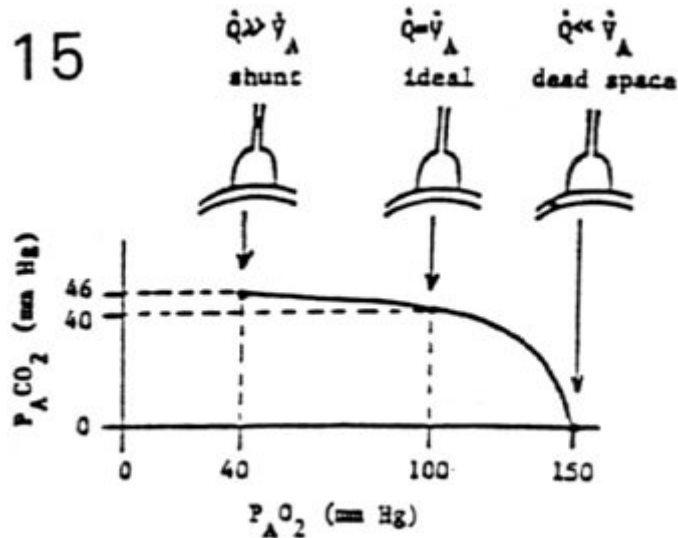
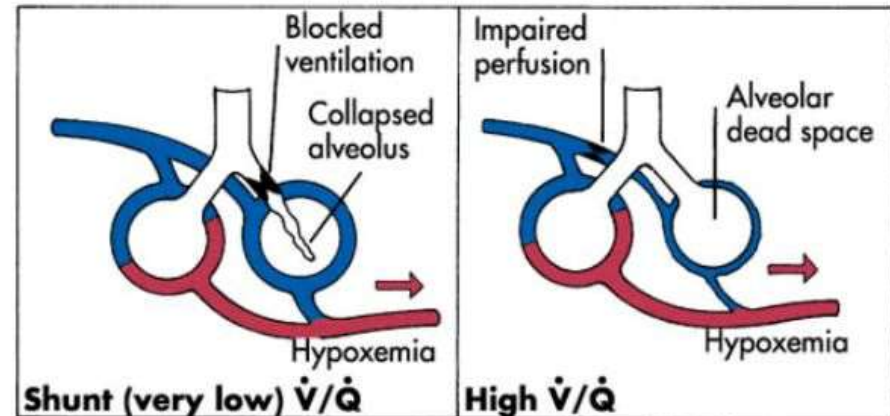
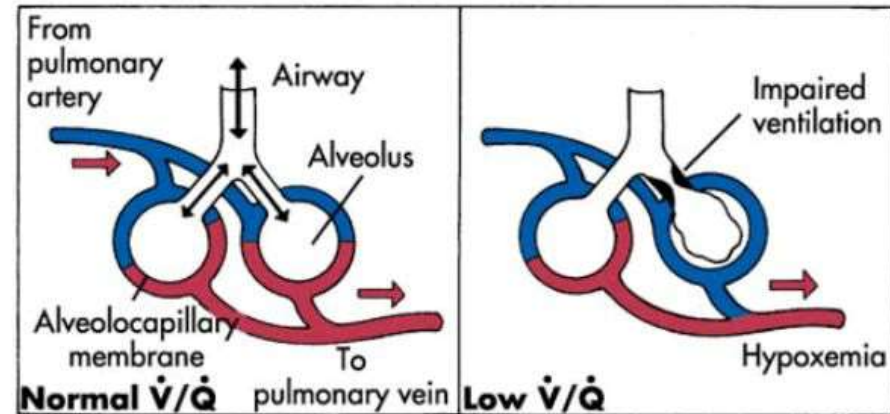


# Mrtvý prostor

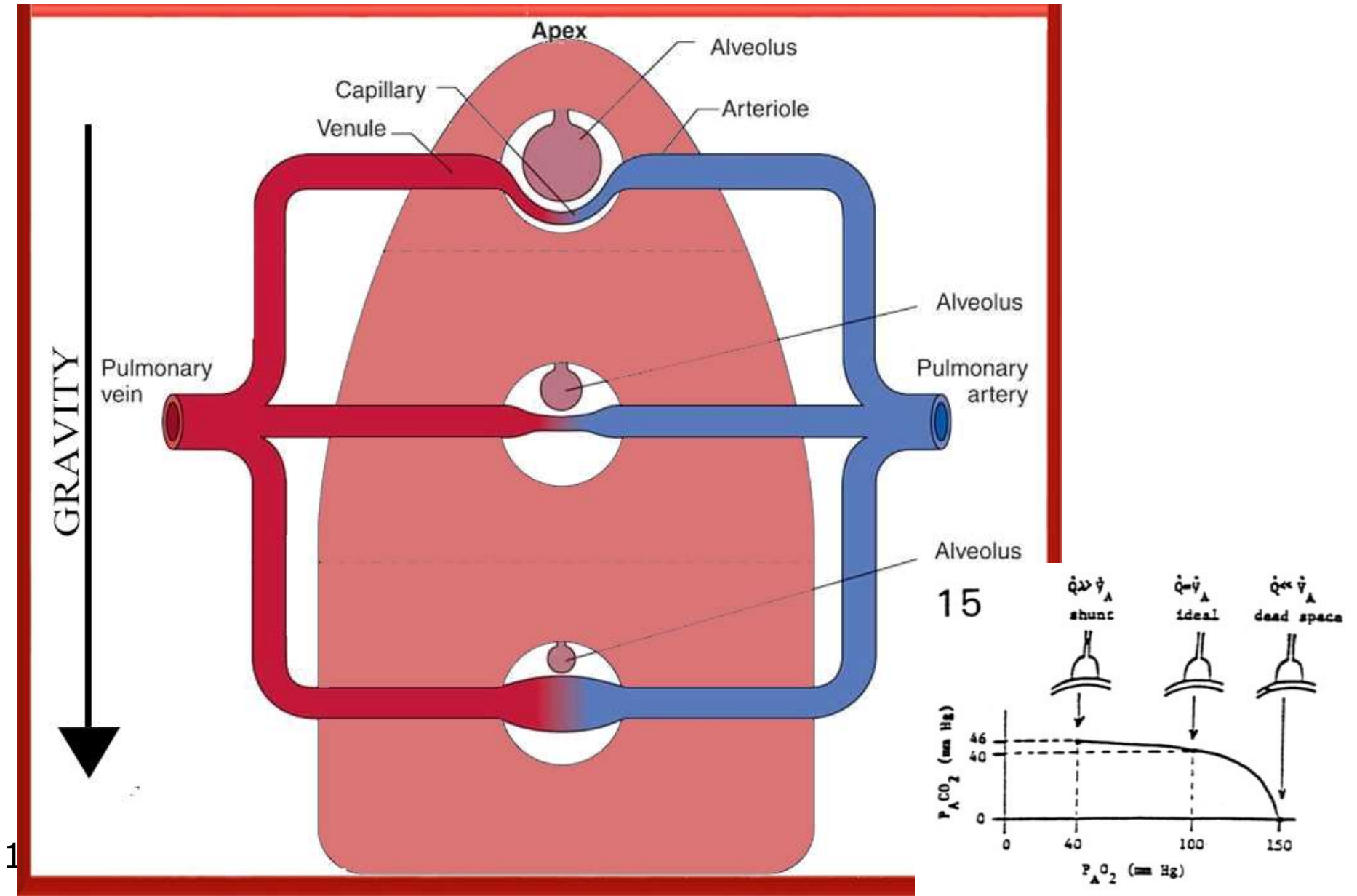
- prostor, ve kterém nedochází k výměně plynů
- fyziologicky cca 1/3 dechového objemu
  - anatomický
  - patologický
  - funkční (alveoly s vysokým  $V_A/Q$ )

# $V_A/Q$ (ne)poměr

- reálně plíce není homogenní
  - alveoly s vysokým, normálním a nízkým  $V_A/Q$  poměrem
  - výslednicí je fyziologická ventilačně-perfuzní nerovnováha



# Zkrat a mrtvý prostor





# Parciální tlaky plynů v arteriální krvi

- Měření pH, pCO<sub>2</sub> a pO<sub>2</sub> při pokojové teplotě umožňuje charakterizovat funkční dopady choroby

	Arteriální krev (interval)		Žilní krev
<b>pH</b>	7.40	7.38 - 7.42	7.33 - 7.43
<b>H<sup>+</sup> (nmol/l)</b>	40	36 - 44	
<b>pCO<sub>2</sub> (mmHg/kPa)</b>	40 / 5.3	35 - 45 / 5.1 - 5.5	41 - 51
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mmol/l)</b>	25	22 - 26	24 - 28
<b>BE</b>	±2		
<b>AG (mEq/l)</b>	12	10 - 14	
<b>Hb saturace (%)</b>	95	80 - 95	70 - 75
<b>pO<sub>2</sub> (mmHg)</b>	95	80 - 95	35 - 49

# Poruchy výměny plynů

- hypoxemie ( $\text{PaO}_2 < 80\text{mmHg}$  [ $=20\text{kPa}$ ])
  - čistá hypoventilace
  - poruchy difuze
  - ventilačně-perfuzní nerovnováha
  - zkrat
- hyperkapnie ( $\text{PaCO}_2 > 40\text{mmHg}$  [ $5.3\text{kPa}$ ])
  - čistá hypoventilace
  - ventilačně-perfuzní nerovnováha
  - zvýšení dechové práce
- hypokapnie
  - hyperventilace při stimulaci respiračního centra nezávisle na  $\text{CO}_2$

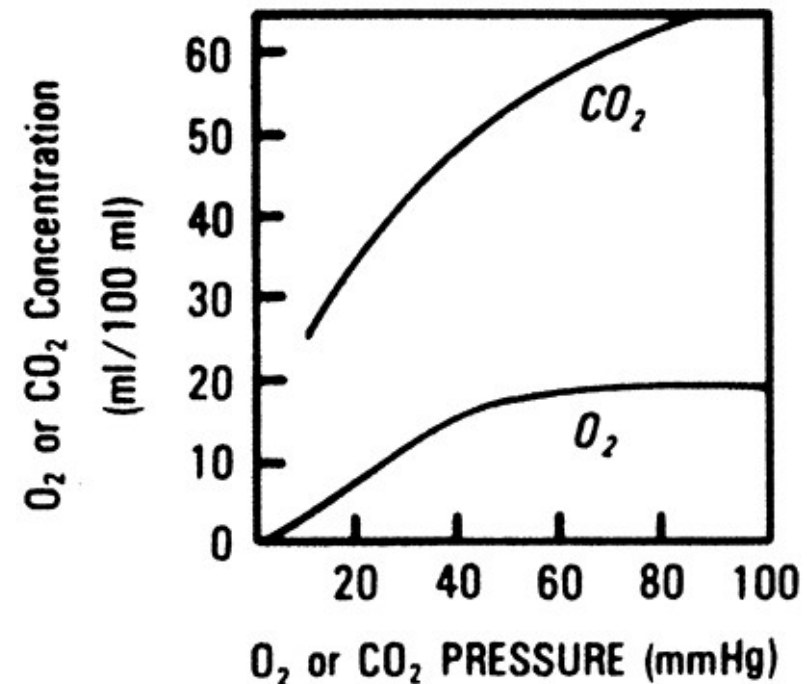
# Respirační insuficience

## ■ Parciální

- Izolovaná hypoxie (může být nižší saturace hemoglobinu než u globální)
- Při poruše části plíce může být hyperkapnie kompenzována zdravými alveoly (vyplývá z disociační křivky  $\text{CO}_2$ )
- Naproti tomu saturace  $\text{O}_2$  v krvi vytékající ze zdravých alveolů je již téměř na 100% (97-99%), dojde-li v některé části plic k hypoxii, jiné části ji nemohou kompenzovat

## ■ Globální

- Hypoxie s hyperkapnií
- Při poruše celých plic je snížena výměna  $\text{O}_2$  i  $\text{CO}_2$

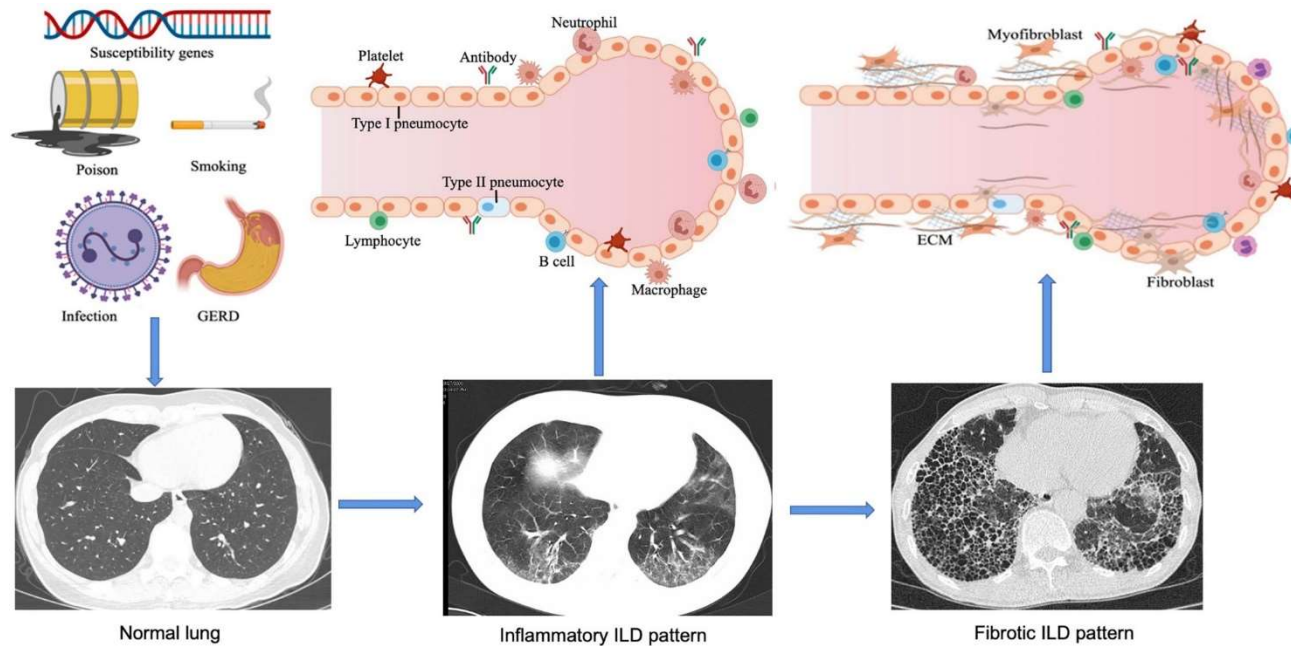


# Ventilační dysfunkce

- **Obstrukční:** dýchací cesty kolabují během výdechu, air trapping
  - U obstrukce malých dýchacích cest typicky koncem výdechu
  - U obstrukce velkých dýchacích cest (např. tumor) především ↓PEF
- **Restrikční:** problémy s nádechem, zjizvení plicní tkáně, infiltrace nebo slabé svaly, pokles plicních objemů
- **Kombinovaná**
- **Extrathorakální obstrukce:** dýchací cesty kolabují během nádechu

# Intersticiální plicní procesy

- Současná porucha ventilace (restrikce) a difúze, později i perfúze



# Rozdělení intersticiálních plicních procesů

## 1) Ze známých příčin

- silikóza
- azbestóza
- uhlokopská pneumokonióza
- farmářská plíce – alergie
- Polékové/postradiační IPP

Anorganický prach

## 2) Idiopatické

- idiopatická plicní fibróza (IPF)
- kryptogenní fibrotizující alveolitis

## 3) Granulomatózní léze

- sarkoidóza

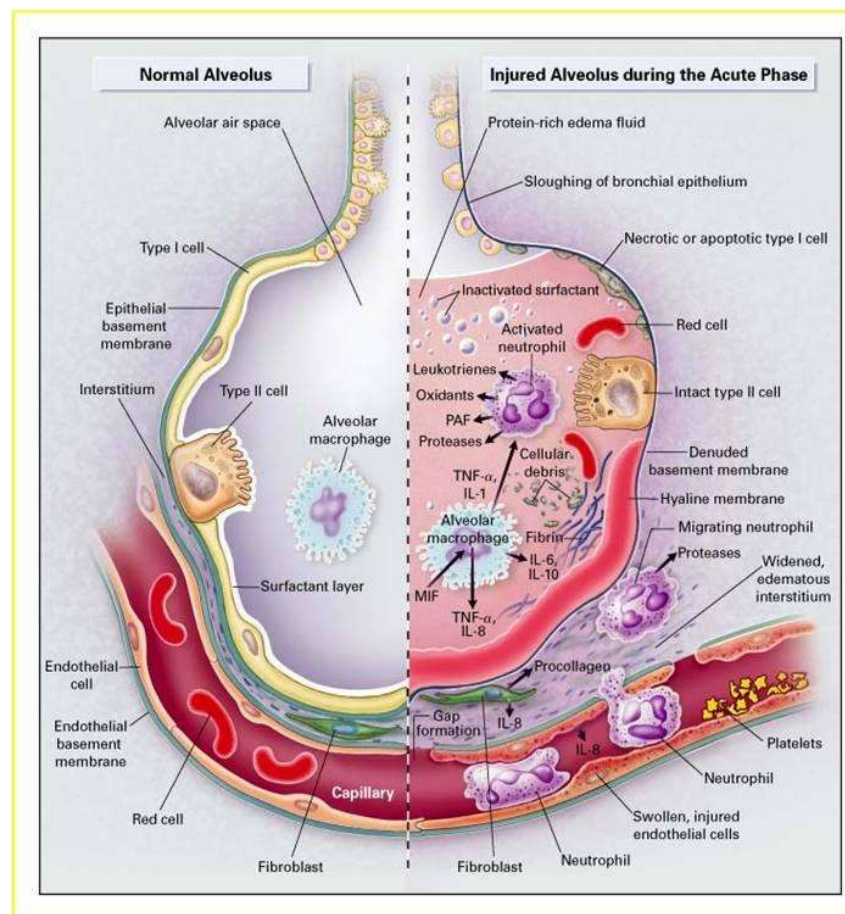
## 4) Jiné

# Důsledky intersticiálních plicních procesů

- Porucha difúze - kombinace mrtvého prostoru a zkratu
- Plicní restriktce
- Plicní hypertenze
- Hypoxémie s tendencí k respirační alkalóze (vedle hyopoxie při zkratu i role stimulace J-receptorů), později hyperkapnie při ↑ mrtvém prostoru
- Prognóza relativně nejhorší u IPF (medián přežití 3-5 let), lepší u jiných příčin

# Syndrom dechové tísně dospělých (ARDS – „šoková plíce“)

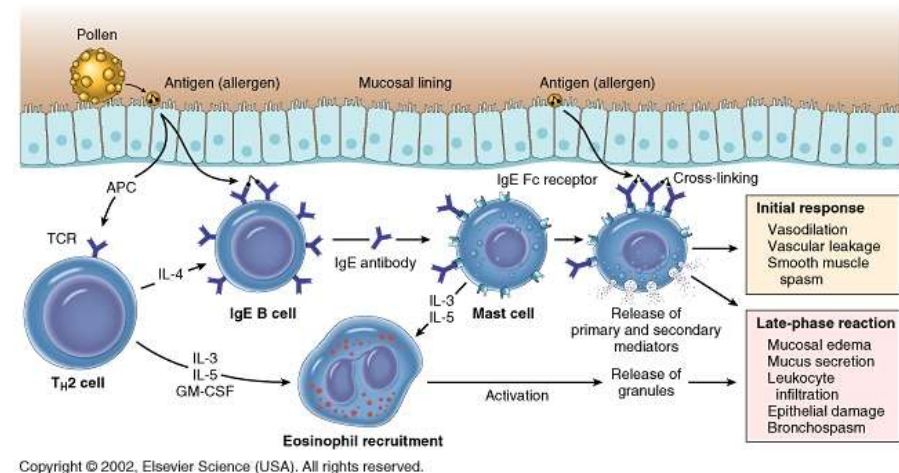
- Důsledek zánětlivého poškození plíce při SIRS, plicních infekcích, aspiraci žal. šťávy, tonutí
- Exsudativní fáze (v řádu hodin): uvolnění cytokinů, infiltrace leukocyty, plicní edém, destrukce pneumocytů typu I
- Proliferativní fáze: fibróza, ↑ mrtvý prostor, proliferace pneumocytů typu II
- Reparativní fáze: ↓ zánět, ↓ edém, přetrvává fibróza, většinou trvalá plicní restrikce



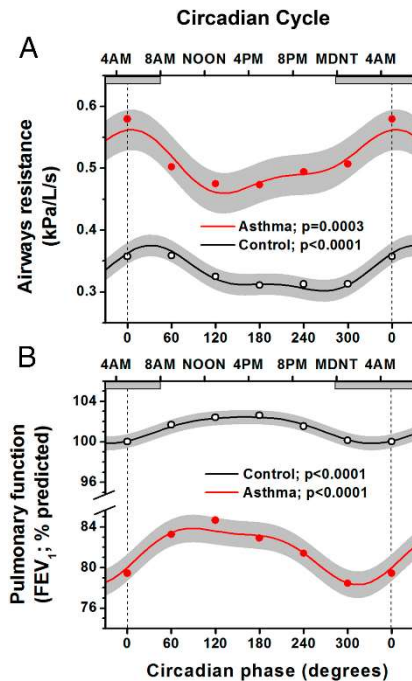


# Astma bronchiale

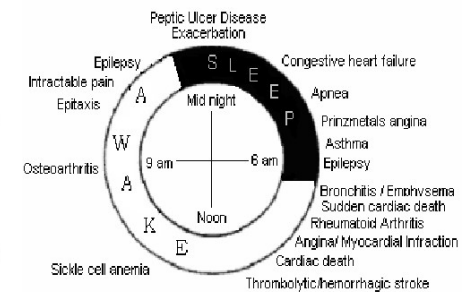
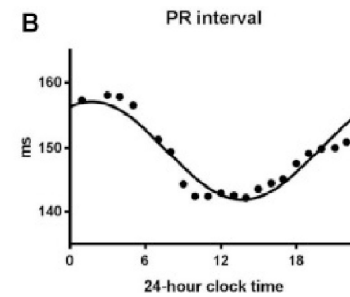
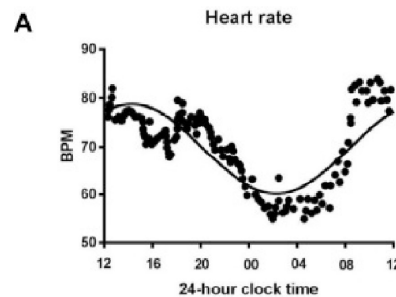
- Chronické zánětlivé onemocnění
  - Bronchospasmus
    - parasimpatikus – M3 receptor
    - bronchodilatace – sympatikus –  $\beta$ 2 receptor
  - Produkce hlenu
  - Záněť
    - alergické astma: 90 %
    - Nealergické astma: 10 % (chronická infekce, GERD, psychogenní)
- 25 – Obstrukce je reverzibilní



# Astma bronchiale – cirkadiální aspekty

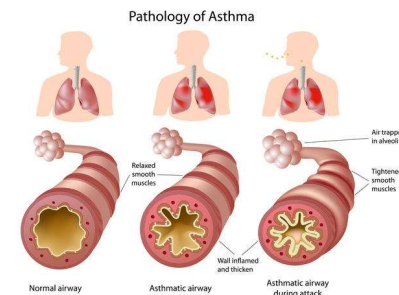


- Symptomy jsou nejvýraznější v časných ranních hodinách (↑ aktivity parasymptatiku)

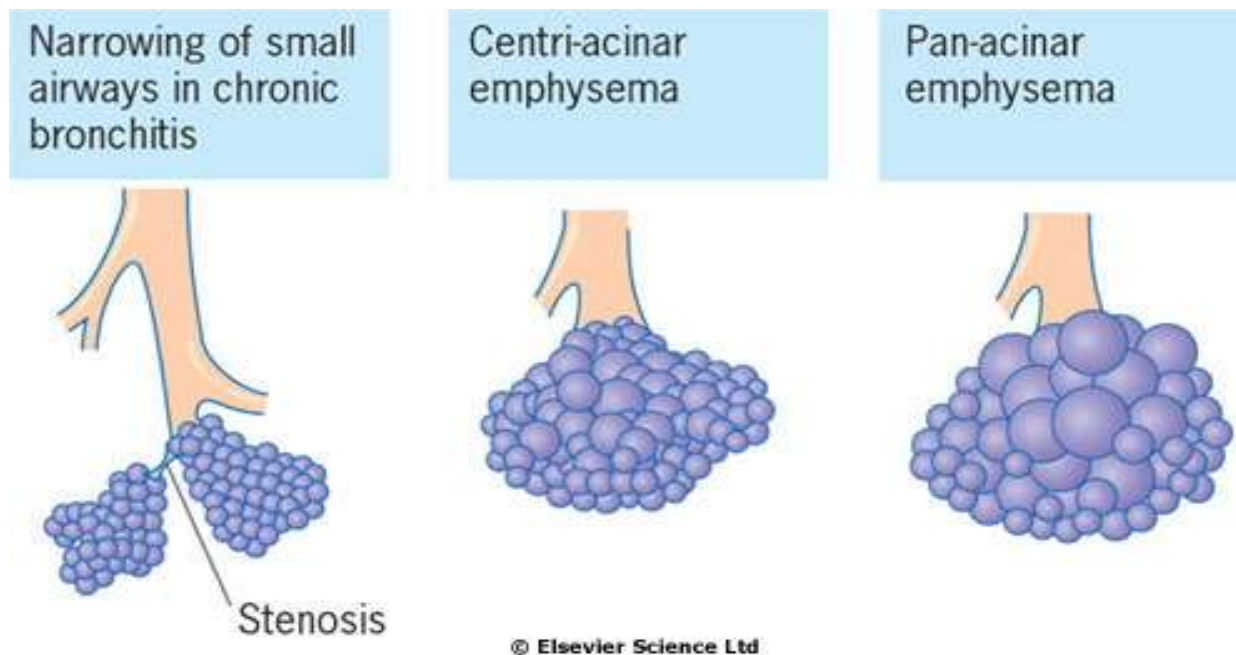


# Funkční následky

- Nerovnoměrná redistribuce vzduchu (lokalizovaná bronchokonstrikce, jiné alveoly hyperventilovány)
- Air trapping
- Útlak plicních kapilár alveoly -  $\uparrow$  afterload pravé komory a  $\downarrow$  preload levé komory  $\rightarrow$  pokles MAP při nádechu (pulsus paradoxus)
- Parciální respirační insuficience, spíše hypokapnie
- Difúze zlepšená ( $\uparrow$  TLCO + KCO beze změny při malém strukturním postižení, mírné hyperinflaci a  $\uparrow$  perfúzi ventilovaných alveolů)
- Status asthmaticus
- Generalizovaná bronchokonstrikce
- Únava respiračních svalů při  $\uparrow$  práci
- Globální respirační insuficience



# Chronická obstrukční plicní nemoc



**Emfyzém a chronická bronchitida.**

# Chronická obstrukční plicní nemoc - klinika

## ■ Pink puffers

- převaha emfyzému
- deficiencie  $\alpha$ 1-antitrypsinu (vrozená či získaná – kouření)
- kolaps bronchiolů a alveolárních sept
- dominuje především mrtvý prostor
- dlouho bez respirační insuficience, ale nutné velké dechové úsilí, v terminálních stadiích globální respirační insuficience
- porucha difúze
- ztráta elasticity a zvýšení reziduálního volumu – soudkovitý hrudník
- Zapojení pomocných exspiračních svalů – air trapping

## ■ Blue bloaters

- převaha chronické bronchitidy
- většinou kuřáci
- obstrukce bronchiolů
- dominuje zkrat
- parciální, později globální resp. insuficience
- dlouho není hyperkapnie – není dechové úsilí, později desenzitizace respiračního centra a odpověď primárně na  $\downarrow O_2$
- těžká hypoxie – vysoký deoxyHb a polyglobulie ( $\uparrow$ erytropoetin)
- hypoxická plicní hypertenze  $\rightarrow$  cor pulmonale

# pink puffers vs. blue bloaters

## Emphysema

The fundamental problem is the loss of the lung's elastic recoil, causing the respiratory bronchicles to collapse upon expiration.

Usual cause: Tobacco smoking

Hmm,  
"emphysema"



Hmm,  
"chronic bronchitis"



# Plicní embolie

- $\uparrow V_A/Q$
- Příčiny:
  - trombembolie
  - tuková embolie (např. zlomeniny) – možnost přechodu bronchopulmonálními spojkami
  - vzduchová embolie (např. žilní katetrizace)
  - nádorová embolie
  - těhotenské komplikace
    - amniová tekutina
    - mola hydatidosa
  - septická embolie (např. srdeční chlopně)

# Následky PE

- ↑ mrtvý prostor
- ↑ zkrat (anatomický – průtok krve bronchopulmonálními spojkami, PFO)
- Hyperventilace (dráždění juxtakapilárních J-receptorů – subj. dyspnoe)
  - Částečně kompenzuje respirační insuficienci
  - U mírnějších forem PE vede k hypokapnii a respirační alkalóze
  - U těžkých forem hypoxie s hypokapnií – globální resp. insuficience
- Plicní hypertenze při >50 % obstrukci (analogicky resekci plic)
- Cor pulmonale acutum (dilatace PK, pravostranné regurgitace, tachykardie, ↑troponin, ↑natriuretické peptidy)
- Srdeční selhání „dopředu“ → obstrukční šok
- U závažných embolií elektromechanická disociace (zástava oběhu při normální el. aktivitě na EKG)
- Otevření foramen ovale patens → zkrat, paradoxní embolizace
- Subakutní masivní (sukcesivní) embolie – rozvoj 1-2 týdny



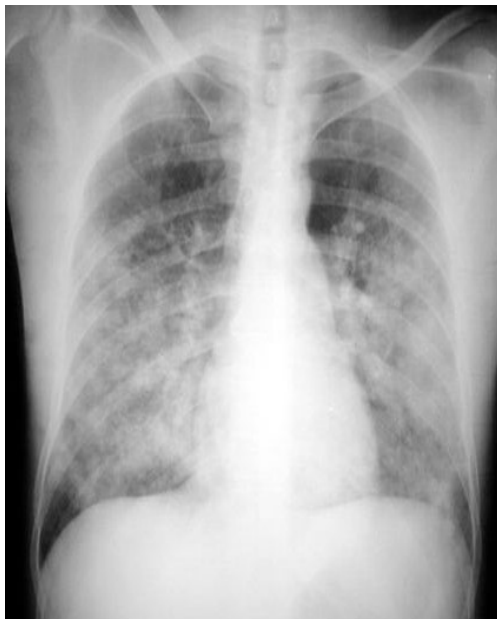
# Plicní edém

- Porucha difúze, perfúze, později i ventilace (restrikce)
  - $F = A \cdot K \cdot [(P_c - P_i) - \sigma(\pi_c - \pi_i)]$
  - Nejčastěji následek levostranného srdečního selhání „dozadu“ nebo hypervolémie ( $\uparrow P_c$ )
  - Plicní záněty ( $\uparrow K$  a  $\downarrow \sigma$ )
  - Vzácně u hypoproteinémie ( $\pi_c$ )
    - $\uparrow$  tekutiny v intersticiu vede k  $\uparrow$  toku lymfy a  $\downarrow$  koncentrace proteinů v intersticiu
- 33 – Tím se udržuje nízký gradient onkotických tlaků

# Typy plicních edémů

- Intersticiální
  - Alveolární
  - Plicní edém ×  
pleurální  
výpotek
- Podobně jako u pleurálního výpotku či ascitu lze rozlišit exsudát a transsudát
    - Ale diagnostika obtížnější
    - Většina plicních edémů jsou transsudáty
    - Výjimka: ARDS

# RTG obraz



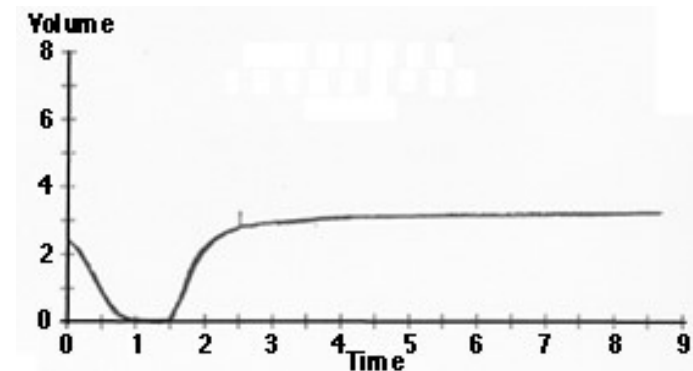
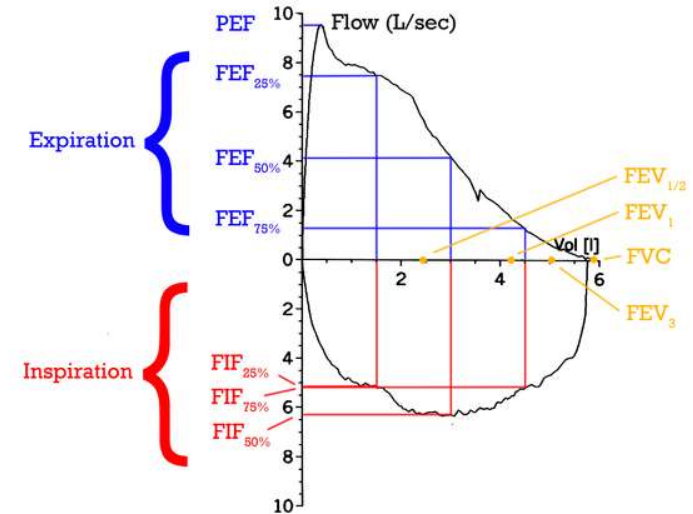
Plicní edém



Bilaterální fluidothorax

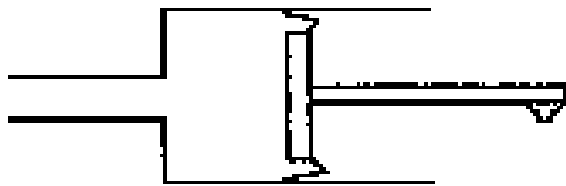
# Spirometrie (“měření dechu”)

- nejzákladnější funkční test plicní funkce
  - měří statické a dynamické parametry plic
  - možnosti vyjádření
    - křivka tok – objem (flow - volume)
      - ☛ průtok jako funkce času, kdy průtok je funkcí objemu (pomocí pneumotachografické hlavice)
      - ☛ objemy počítány integrací průtoku podle času
    - křivka objemů – čas (volume - time)
      - ☛ objem jako funkce času (např. pomocí spirometrického zvonu)
      - ☛ průtoky počítány derivací objemu podle času
- limitace spirometrie
  - měří jen objemy vyměňující se při dýchání (ne reziduální objemy)
  - měří za nefyziologických podmínek
  - vyžaduje spolupráci pacienta (problematické u osob s poruchami vědomí, dětí, osob s vadou sluchu, simulujících)

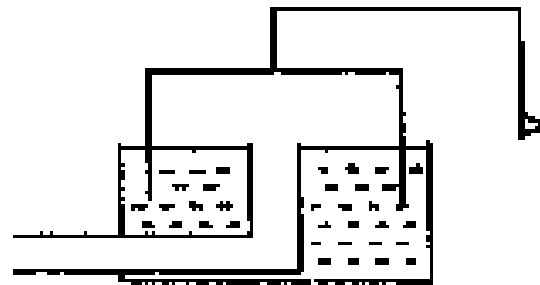


# Typy spirometrů

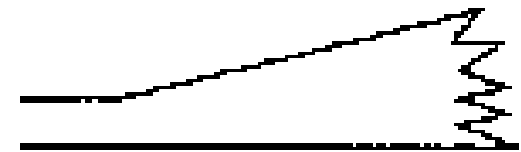
Rolling seal



Water sealed

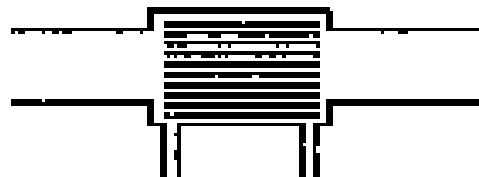


Bellows

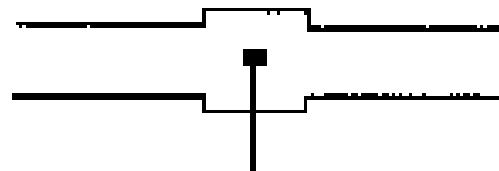


## Flow Sensors

Pneumotach



Hot-Wire

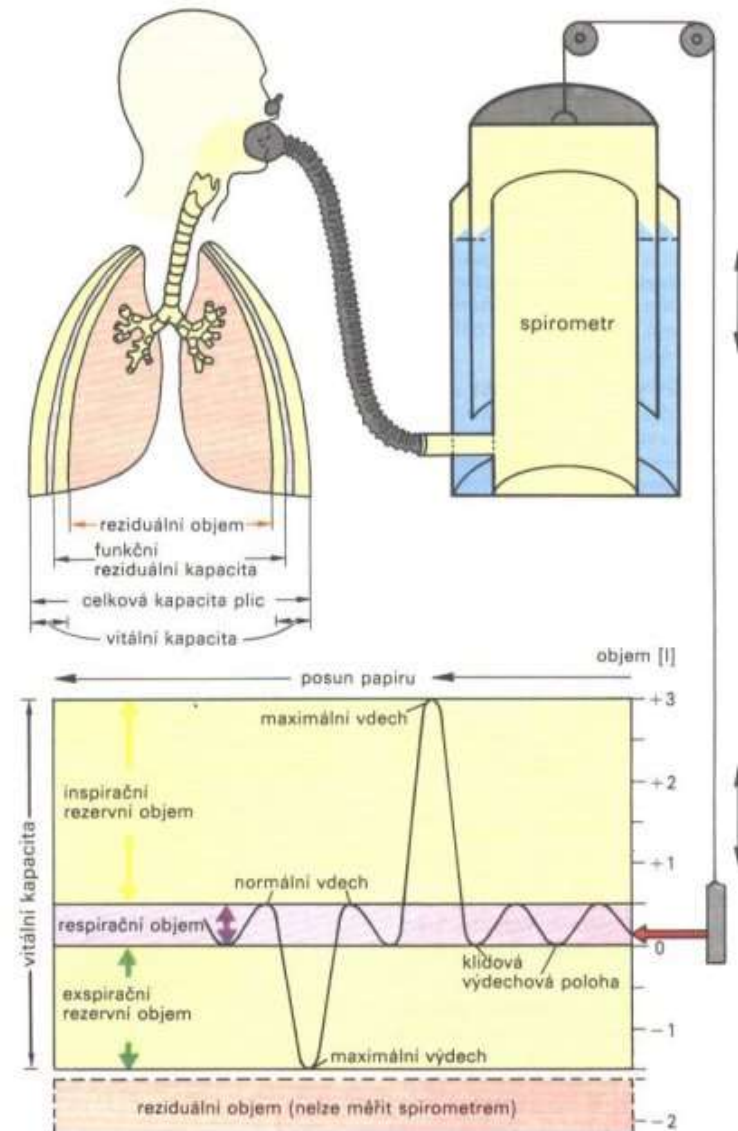


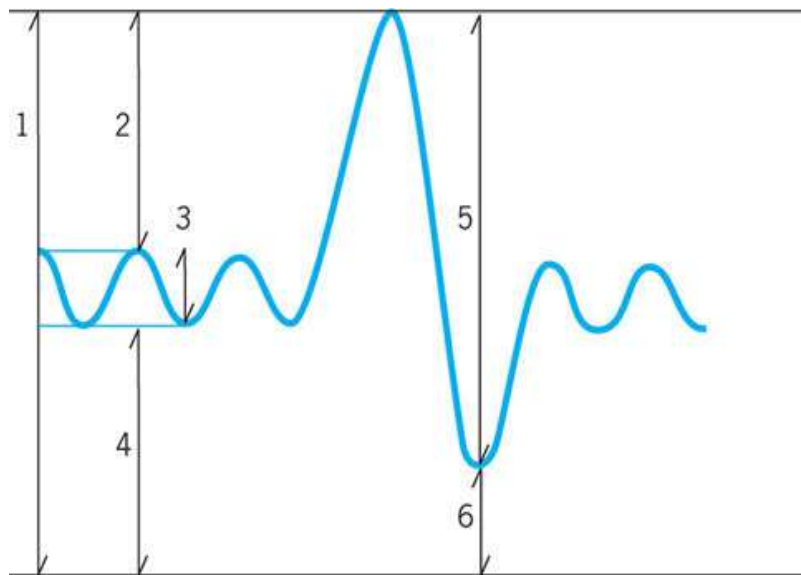
Turbine



# Mechanika ventilace

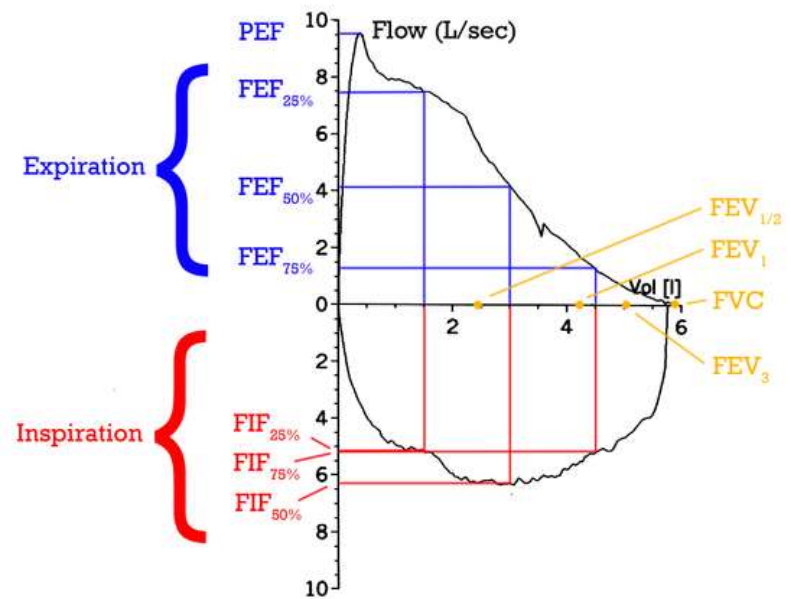
- (1) statické parametry = na čase nezávislé
  - TLC - celková plicní kapacita (okolo 6 l)
  - RV - reziduální objem (nelze měřit spirometrem!)
  - ERV - expirační rezervní objem (cca 1,5 l)
  - IRV - inspirační rezervní objem (cca 2,5 l)
  - FRC - funkční reziduální kapacita ERV+RV
  - VC - vitální kapacita TLC-RV ("co nejvíce")
  - TD - dechový objem (cca 0,5 l)
- (2) dynamické parametry = mění se s časem
  - FVC - usilovná vitální kapacita ("co nejvíce a co nejrychleji")
  - FEV1 - expirační jednosekundová kapacita
  - FEV1/FVC - poměr sekundové kapacity k FVC
  - FEF25-75% - průměrná rychlost toku ve střední polovině FVC
  - PEF - maximální výdechová rychlost
  - Vmax 50%, Vmax 25% - maximální tok po vydechnutí 50% resp. 75% vitální kapacity





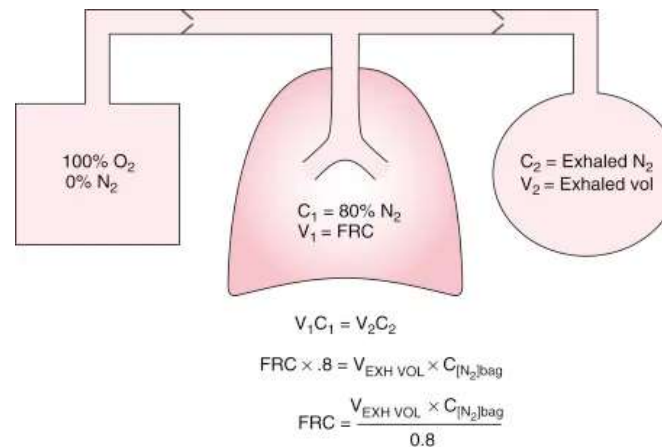
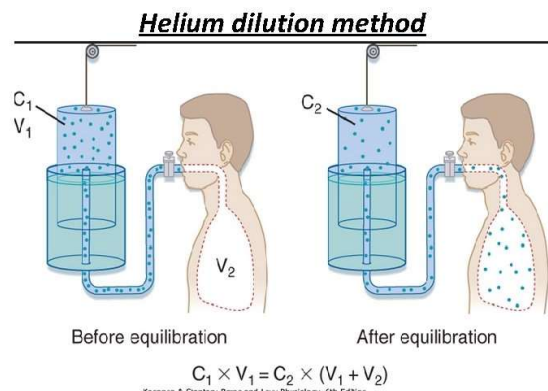
- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1 Total lung capacity        | 4 Functional residual capacity |
| 2 Inspiratory reserve volume | 5 Vital capacity               |
| 3 Tidal volume               | 6 Residual volume              |

© Elsevier Science Ltd



# Měření reziduálního objemu

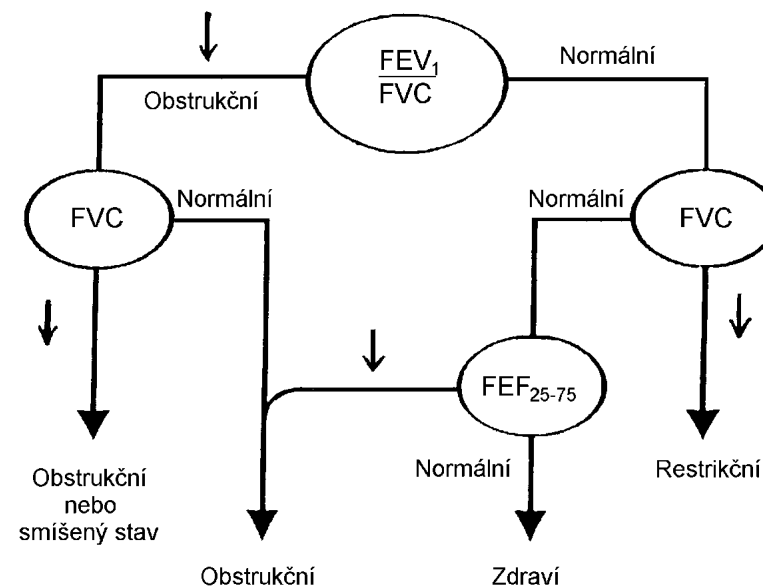
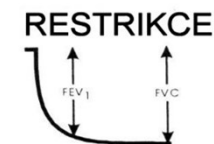
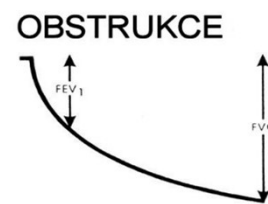
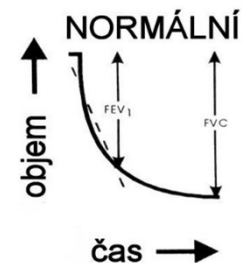
- Reziduální objem a odvozené parametry (funkční reziduální kapacitu a celkovou plicní kapacitu) nelze na rozdíl od jiných statických parametrů měřit přímo
- Možnosti:
  - Diluční metody (např. heliová diluční metoda)
  - Test vyplavování dusíku (nitrogen washout)
  - Celotělová pletysmografie – odhad RV pomocí změny tlaku během expira





# Poruchy mechaniky dýchání

- v důsledku patologických změn statických a dynamických odporů a tím dechové práce
- projeví se na změně plicních objemů a rychlosti jejich změn
- poruchy ventilace – hodnocení podle změn dechových objemů za čas
  - normální poměr  $FEV_1/FVC \sim 80\%$
  - obstrukce
    - snížení expirační rychlosti při zachovalé vitální kapacitě
    - $FEV_1/FVC < 80\%$
  - restrikce
    - snížení vitální kapacity při zachovalé nebo dokonce zvýšené výdechové rychlosti
    - $FEV_1/FVC \geq 80\%$



# Spirometrie u ventilačních poruch

## ■ obstrukční

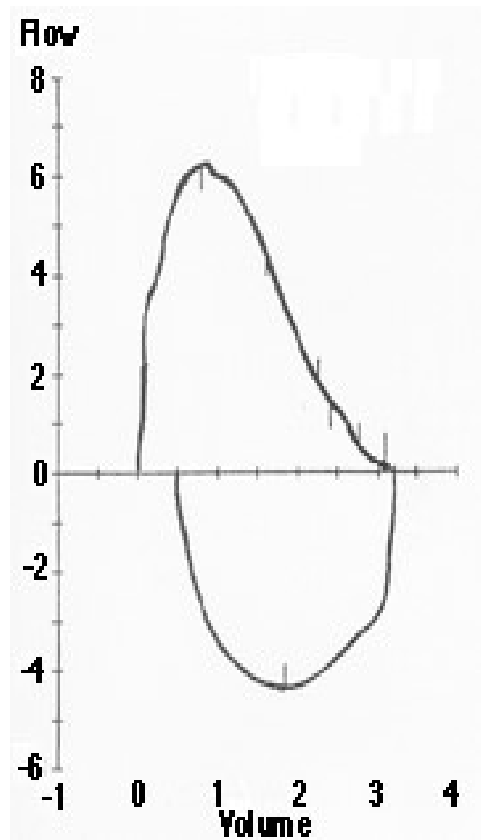
- bronchiální astma (alergické, nealergické), chron. bronchitida, emfyzém, chron. obstrukční plicní nemoc (CHOPN)
- (a) dynamické ventilační parametry ↓
  - objemy při usilovném výdechu: ↓FEV1, ↓FEV1/FVC (norma 80%), FVC ± normální
  - průtoky (rychlosti): ↓PEF, ↓MEF 50%, ↓MEF 75%, ↓MEF 25%, ↓FEF 25-50%
- (b) statické plicní objemy ↑
  - reziduální objemy: ↑RV, ↑FRC, ↑TLC

## ■ restriktivní

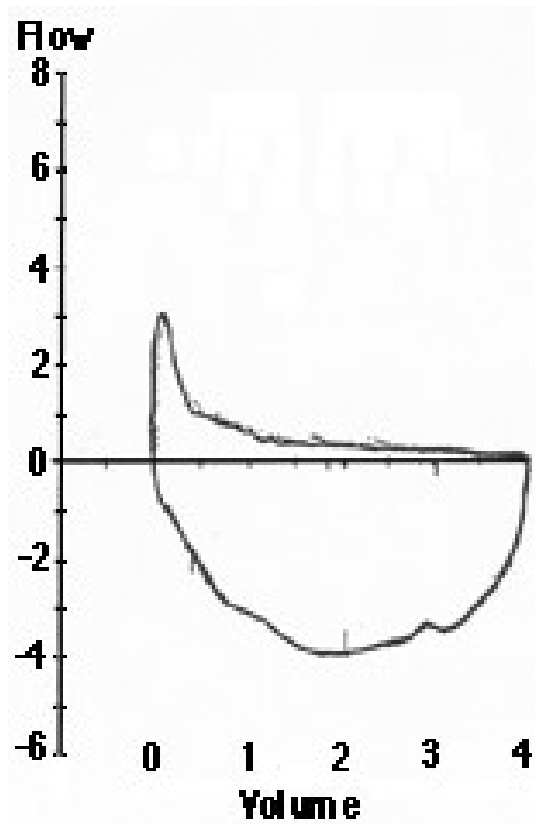
- idiopatická plicní fibróza, sarkoidóza, profesionální intersticiální nemoci, nemoci pleury, pneumotorax, skolióza, neuromuskulární nemoci
- (a) dynamické ventilační parametry ± ↓
  - objemy při usilovném výdechu: FEV1 ± normální, ↑FEV1/FVC (norma 80%), FVC ↓
  - průtoky (rychlosti): ↓PEF, ↓MEF 50%, ↓MEF 75%, ↓MEF 25%, ±↑ FEF 25-50%
- (b) statické plicní objemy ↓
  - reziduální objemy: ↓RV, ↓FRC, ↓TLC

# F/V diagramy

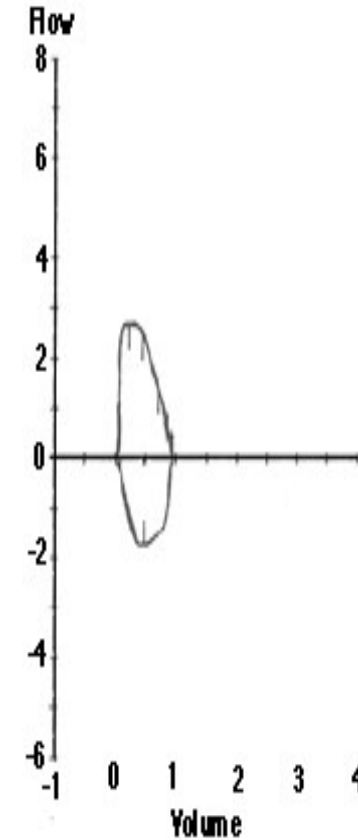
Normální



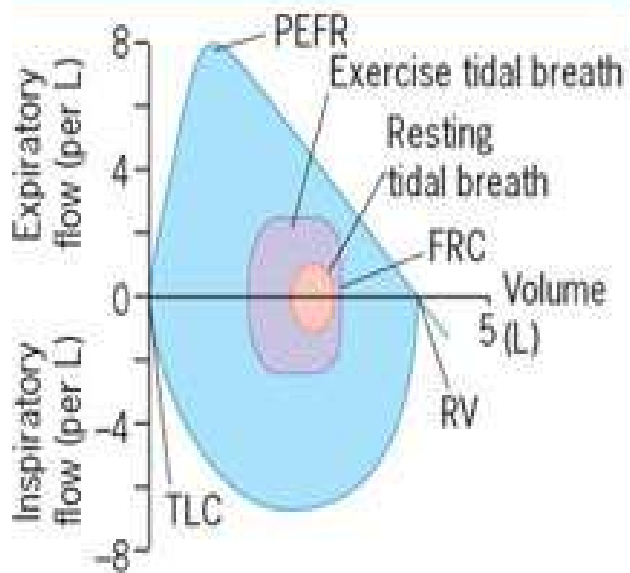
Obstrukční



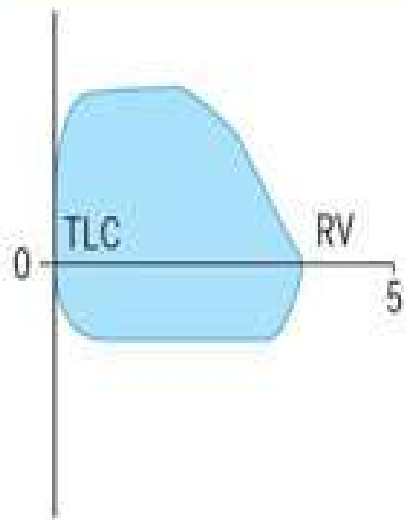
Restrikční



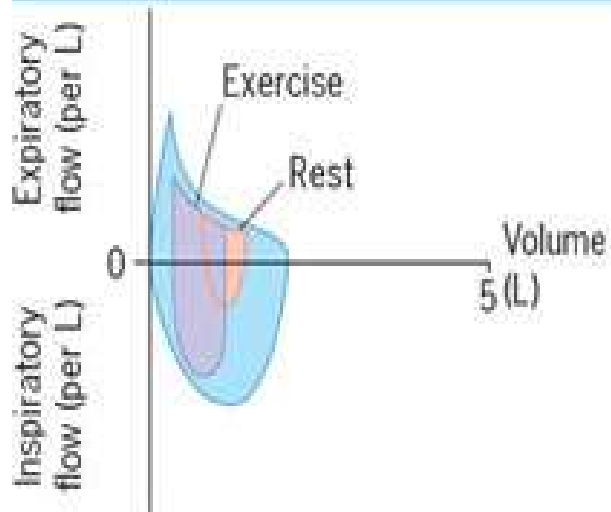
**(a) No lung disease**



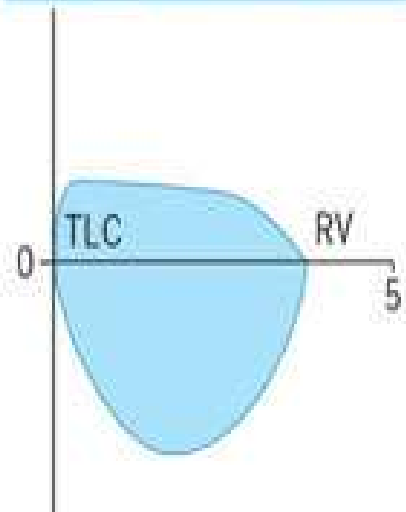
**(c) Extrathoracic tracheal obstruction**



**(b) Severe airflow limitation**



**(d) Intrathoracic large airway obstruction**



# Snížené úsilí

