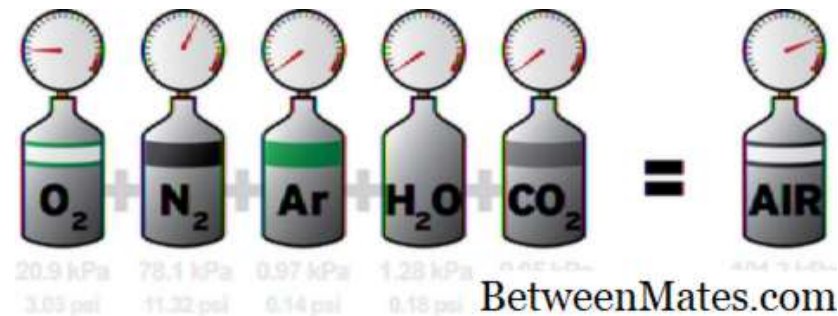


Onemocnění plic



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

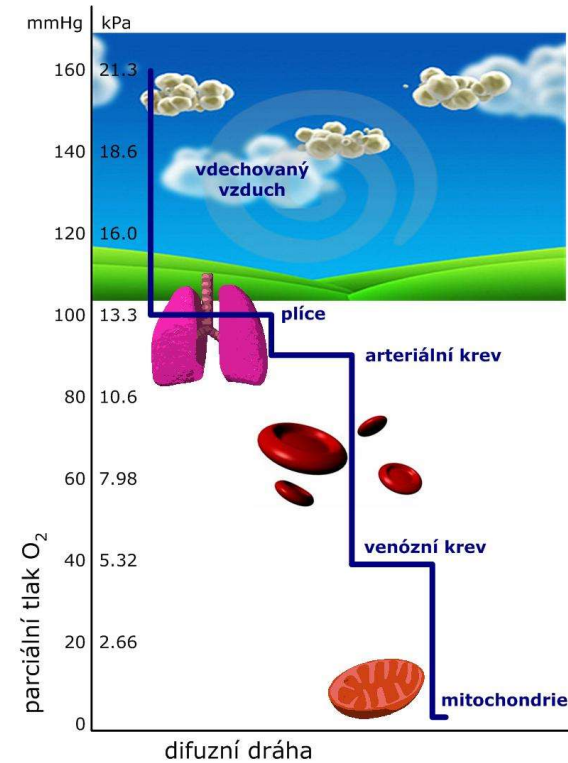
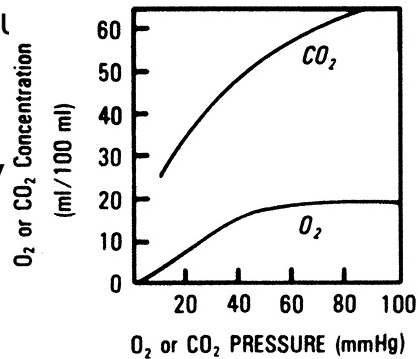


Parciální tlaky

	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
Exspír. 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, CO_2 je v krvi přítomen různých formách (krev je „nesaturovatelná“)
 - HCO_3^-
 - Volně rozpuštěný CO_2
 - karbaminohemoglobin
 - CO_2 v cytoplasmě erytrocytu



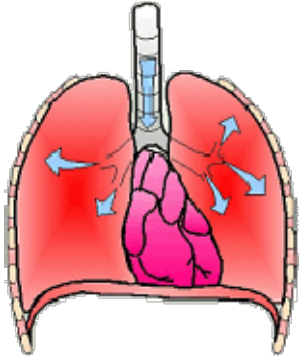
Proces respirace (výměna plynů v plicích)

- Ventilace
- Difúze
- Perfúze

Parciální tlaky

	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	PH ₂ O (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
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 smršťivost 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
- **perfúze** – fyziologicky odpovídá ventilaci
 - krev je směrována tam, kde probíhá výměna (hypoxická vazokonstrikce)

Parciální tlaky plynů v arteriální krvi

- Měření pH, pCO₂ a pO₂ při pokojové teplotě umožňuje charakterizovat funkční dopady choroby

	Arteriální krev (interval)		Žilní krev
pH	7.40	7.38 - 7.42	7.33 - 7.43
H⁺ (nmol/l)	40	36 - 44	
pCO₂ (mmHg/kPa)	40 / 5.3	35 - 45 / 5.1 - 5.5	41 - 51
HCO₃⁻ (mmol/l)	25	22 - 26	24 - 28
BE	±2		
AG (mEq/l)	12	10 - 14	
Hb saturace (%)	95	80 - 95	70 - 75
pO₂ (mmHg)	95	80 - 95	35 - 49

Poruchy výměny plynů

- hypoxemie ($\text{PaO}_2 < 80\text{mmHg}$ [$=20\text{kPa}$])
 - čistá hypoventilace
 - ventilačně-perfuzní nerovnováha
 - poruchy difuze
 - zkrat
- hyperkapnie ($\text{PaCO}_2 > 40\text{mmHg}$ [5.3kPa])
 - čistá hypoventilace
 - ventilačně-perfuzní nerovnováha
 - zvýšení dechové práce
- hypokapnie
 - hyperventilace při stimulaci respiračního centra nezávisle na CO_2

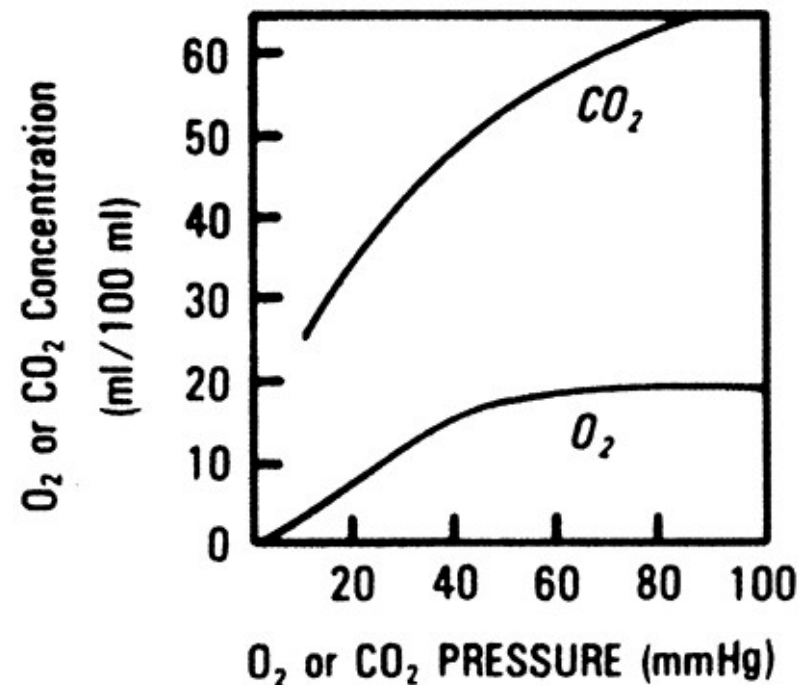
Respirační insuficience

■ Parciální

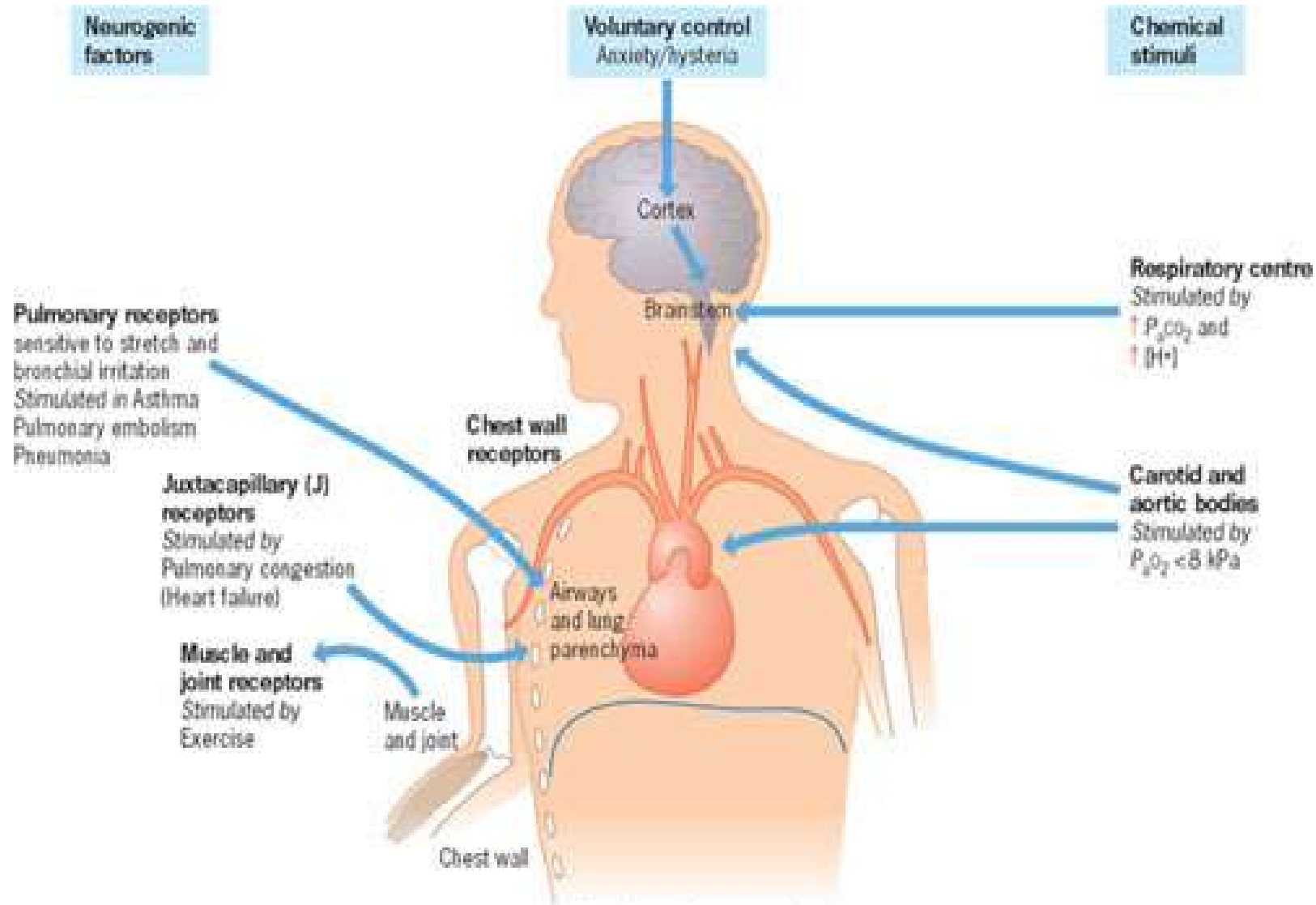
- Izolovaná hypoxie (může být nižší saturace hemoglobinu než u globální)
- Při poruše části plíce může být hyperkapnie kompenzována zdravými částmi (vyplývá z disociační křivky CO_2)
- Naproti tomu saturace O_2 v krvi vytékající ze zdravých alveolů je již téměř na 100% (97-99%), dojde-li v některé části plic k hypoxii, jiné části ji nemohou kompenzovat

■ Globální

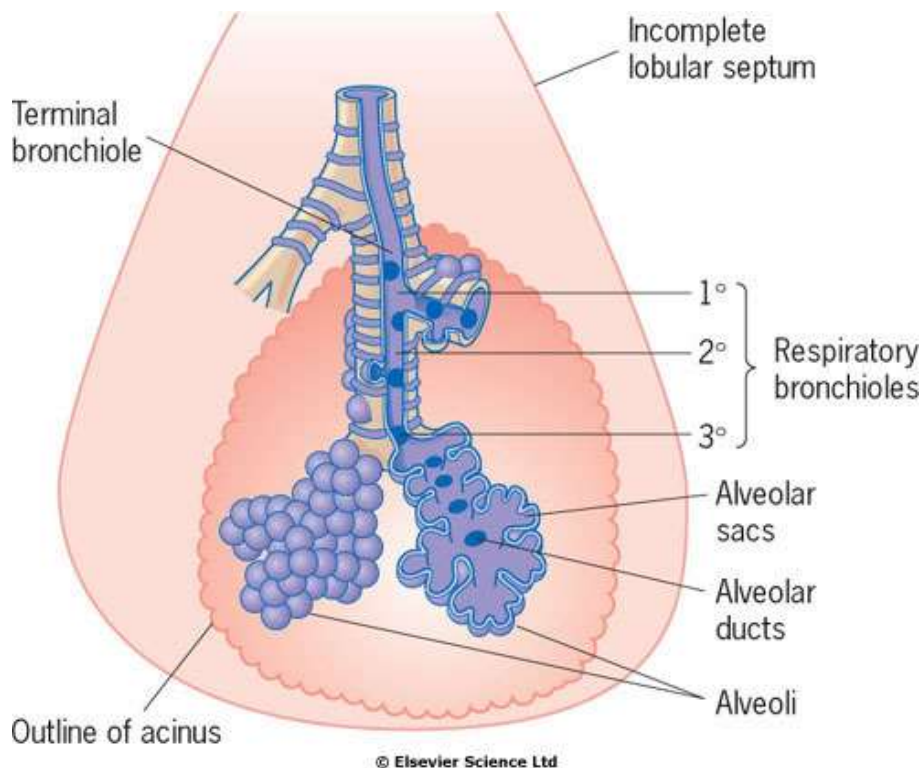
- Hypoxie s hyperkapnií
- Při poruše celých plic je snižená výměna O_2 i CO_2



Regulate ventilace



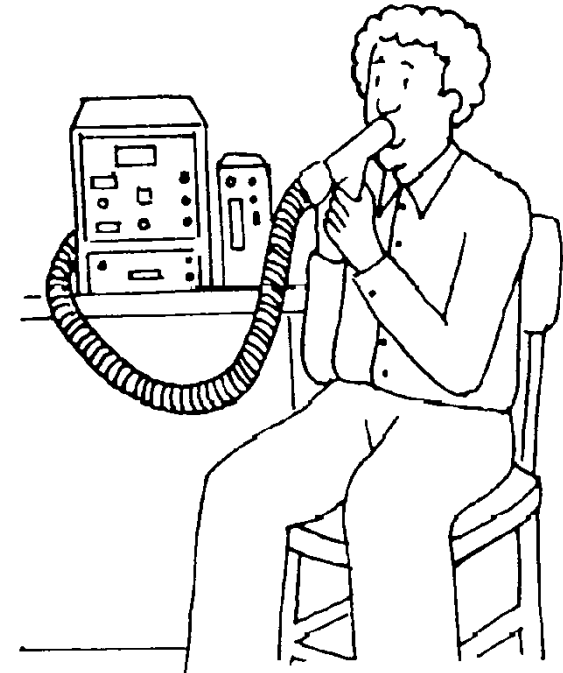
Ventilace - respirační systém



- pásmo kondukce = 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

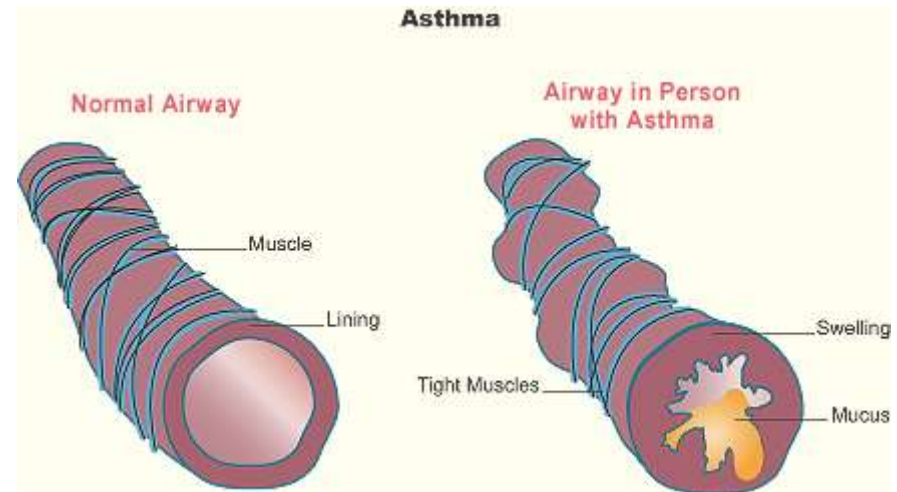
Statické a dynamické odpory plic

- rozpínací tlak při dýchání překonává 2 druhy odporů
 - (1) statické
 - týká se respiračního pásma
 - určeny 2 faktory
 - ☛ elastická smrštivost ("recoil") plic (elastická 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 expira 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%!!

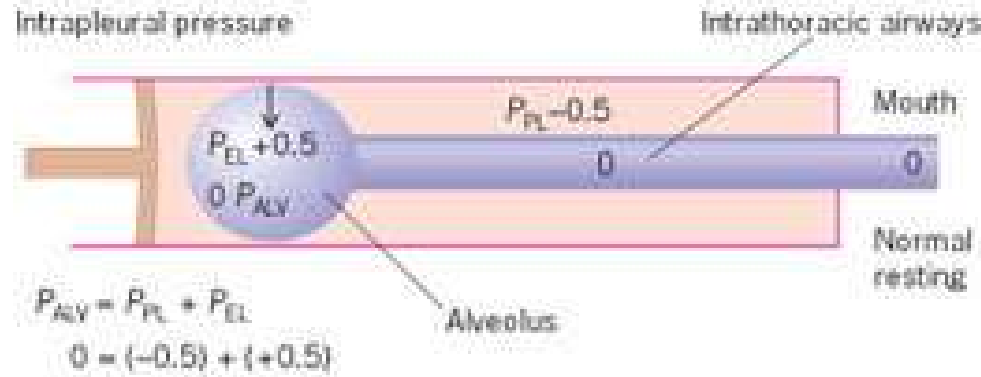


Dynamická komprese dýchacích cest

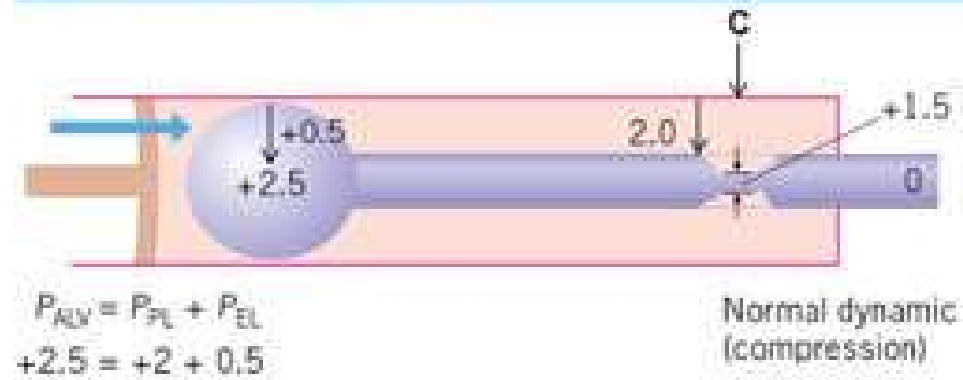
- předčasné uzavírání dýchacích cest
 - intrapleurální tlak není stejný kolem celé plíce (při bazích méně negativní)
 - při hlubokém výdechu (až k RV) se může dostat i do pozitivních hodnot, uzavírá malé dých. cesty (respirační bronchioly) a zachycuje vzduch v alveolech
 - "air trapping"
- fyziologicky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



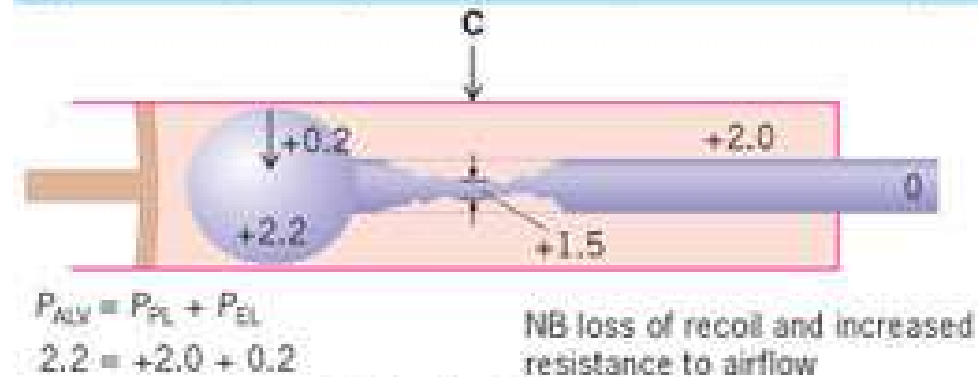
(a) Resting



(b) Forced expiration (normal)



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



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

Regulace perfúze

■ Plicní cirkulace

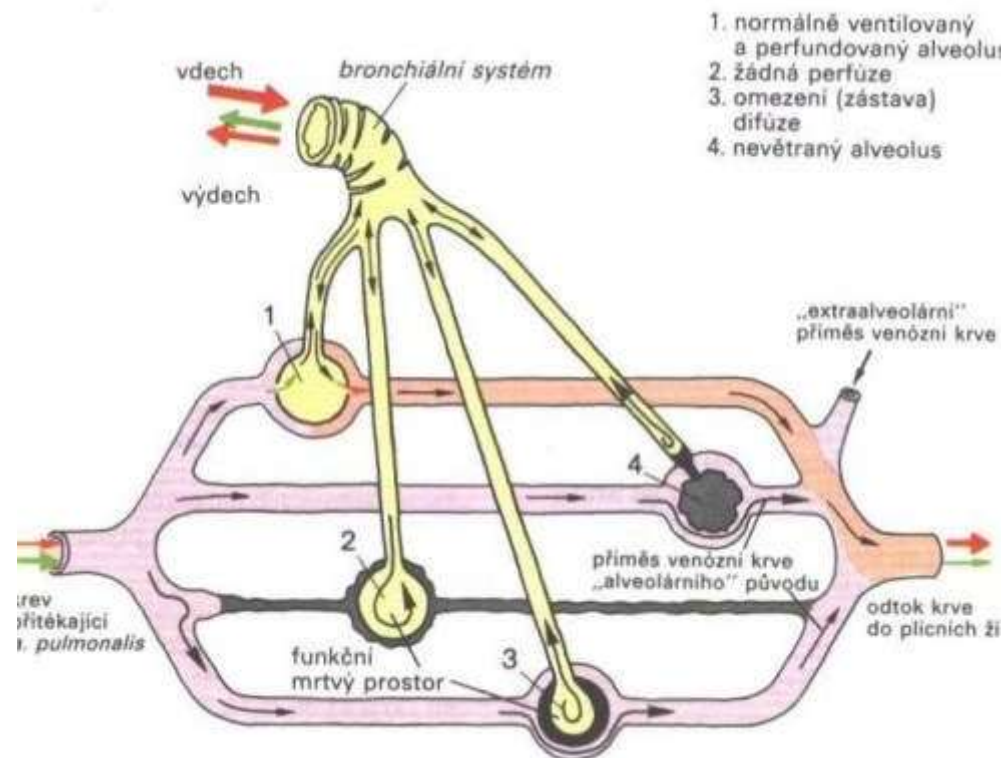
- Nízký tlak
- Distribuce do jednotlivých segmentů regulována výhradně lokálními metabolickými faktory (hypoxická vazokonstrikce)
- Celkový CO je určen ledvinami a levou komorou (ty reagují primárně na parametry systémové cirkulace), v plicích pouze regulace rezistence
- Malý tlakový gradient mezi plicními 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

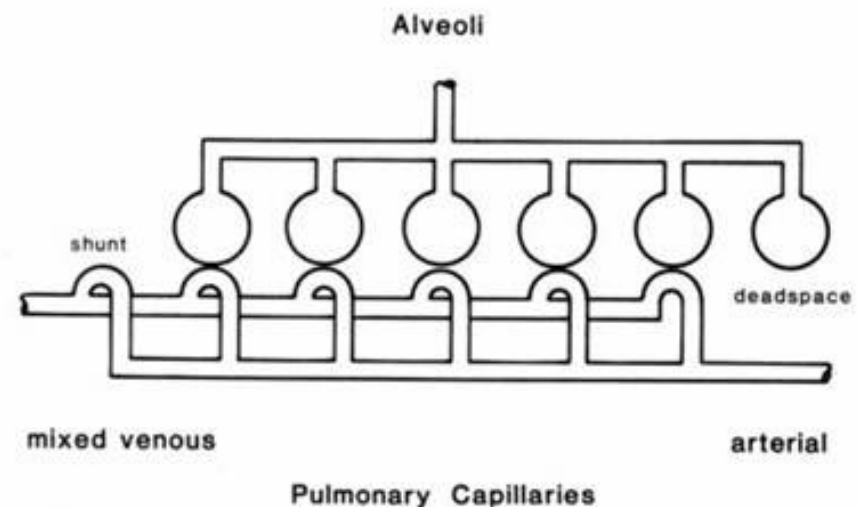
- Většina rozdílů se vyvíjí až během přechodu na postnatální cirkulaci

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)

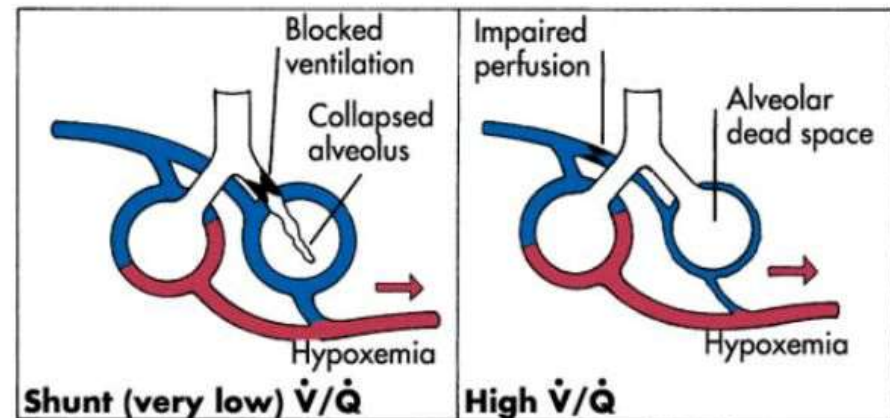
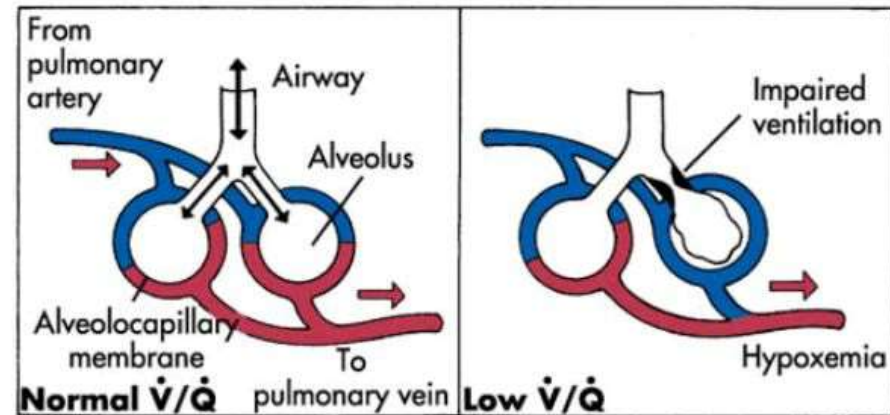
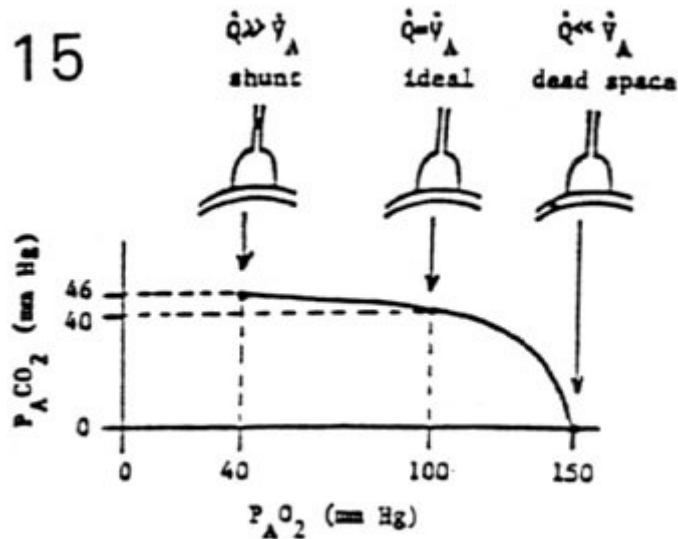


Mrtvý prostor

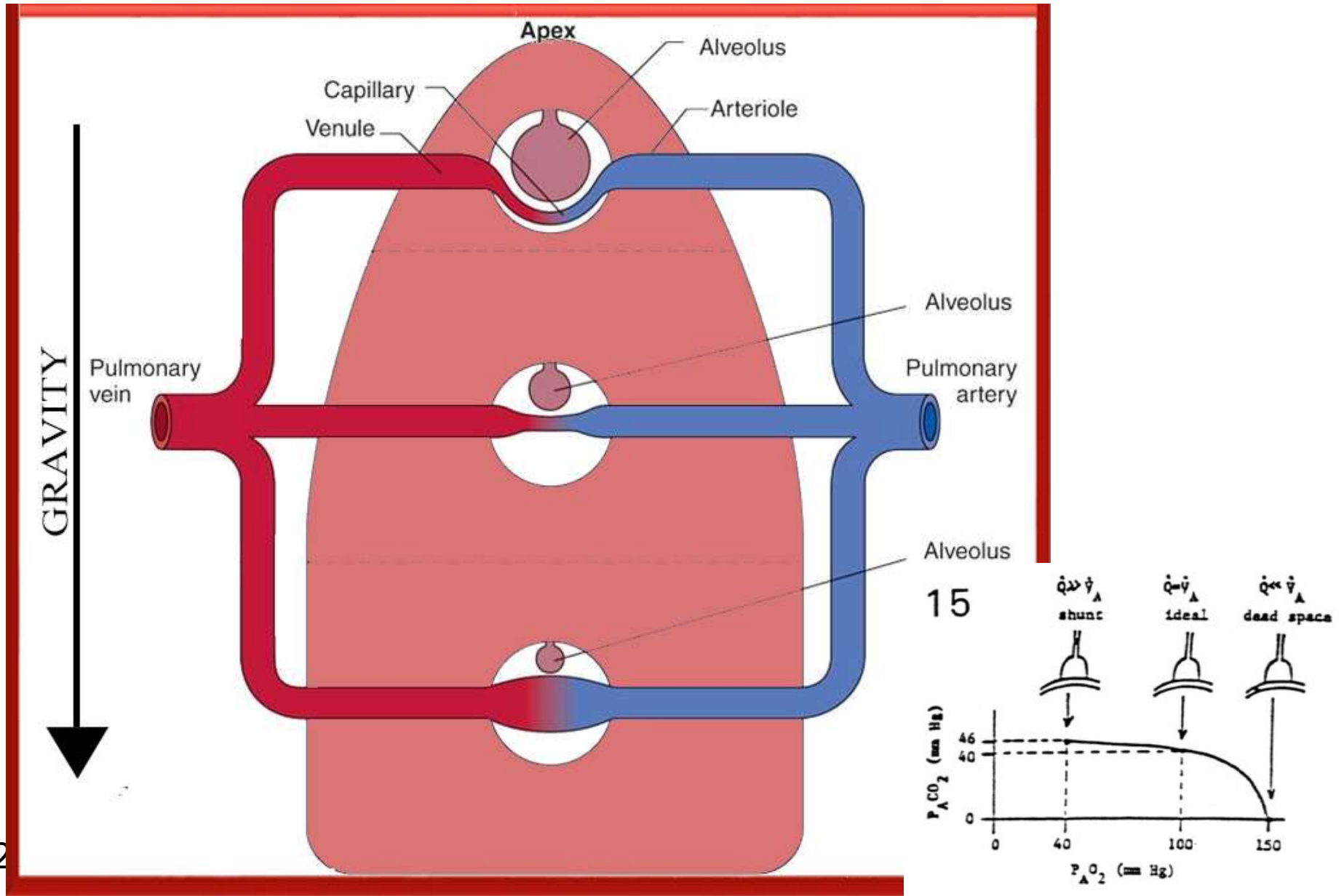
- prostor, ve kterém nedochází k výměně plynů
- fyziologicky cca 1/3 dechového objemu
 - anatomický
 - patologický
 - funkční (alveoly s vysokým V_A/Q)

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

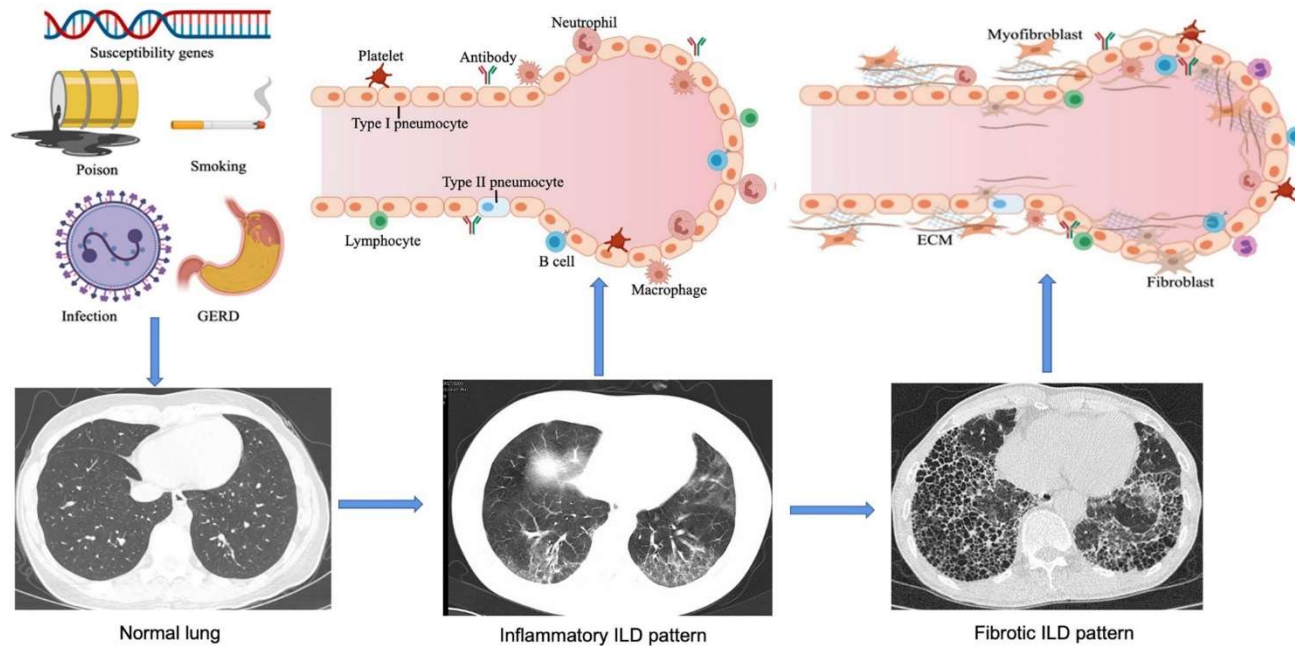


Zkrat a mrtvý prostor



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

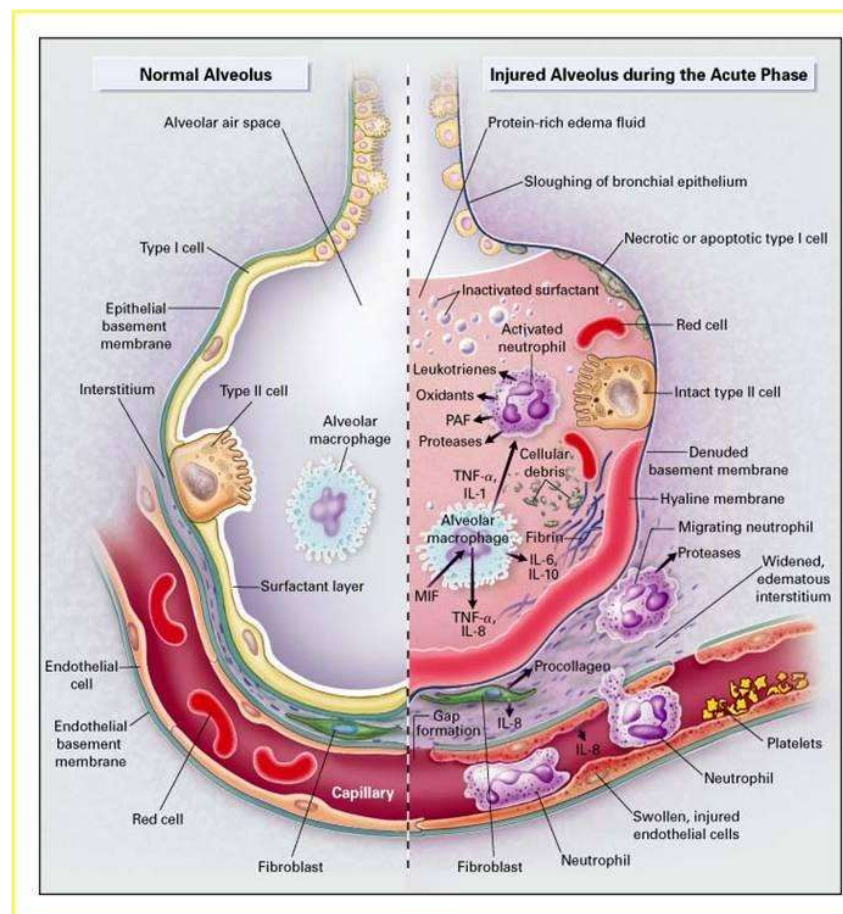
4) Jiné

Důsledky intersticiálních plicních procesů

- Porucha difúze - kombinace mrtvého prostoru a zkratu
- Plicní restrikce
- 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

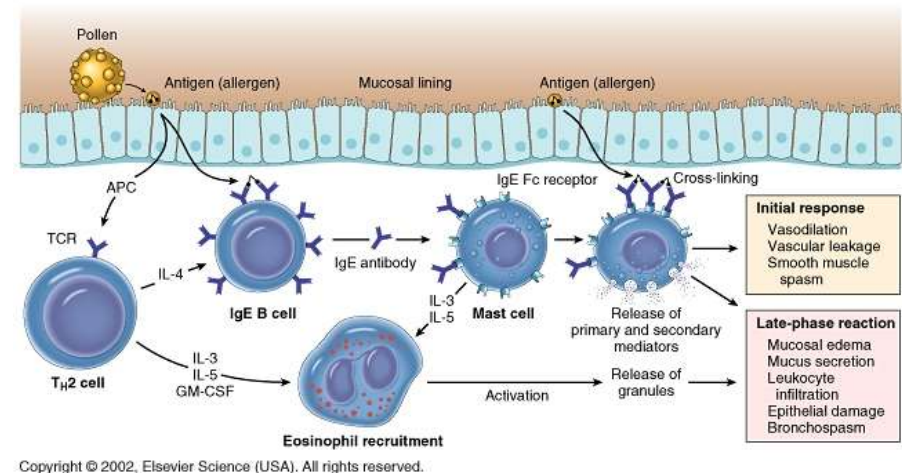
Syndrom dechové tísně dospělých (ARDS – „šoková plíce“)

- 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

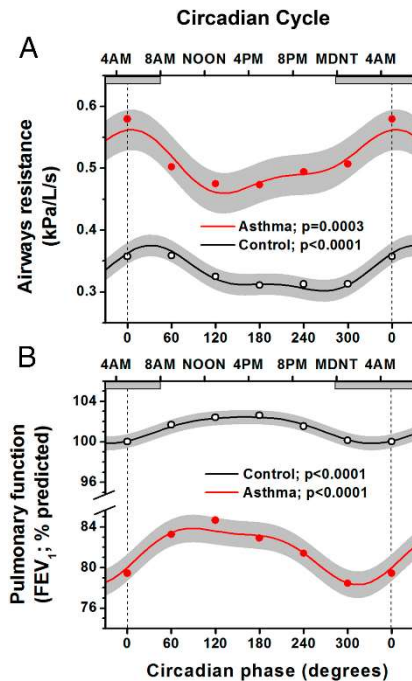


Astma bronchiale

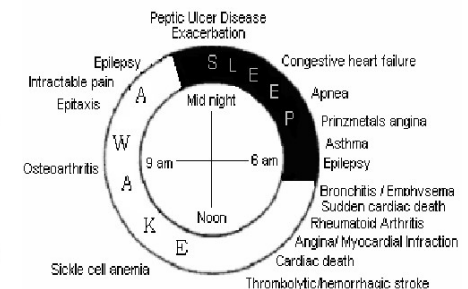
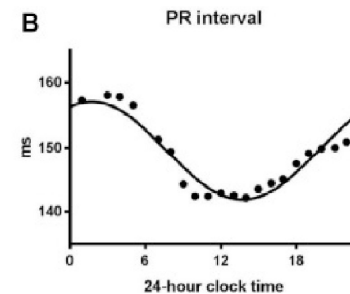
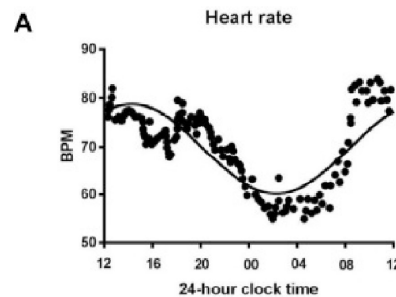
- Chronické zánětlivé onemocnění
 - Bronchospasmus
 - parasimpatikus – M3 receptor
 - bronchodilatace – sympatikus – β 2 receptor
 - Produkce hlenu
 - Záněť
 - alergické astma: 90 %
 - Nealergické astma: 10 % (chronická infekce, GERD, psychogenní)
- 25 – Obstrukce je reverzibilní



Astma bronchiale – cirkadiální aspekty

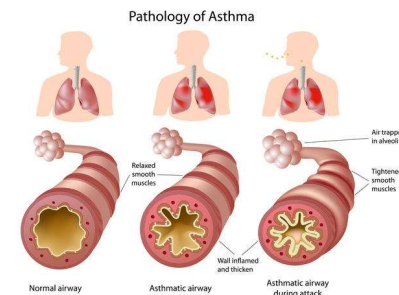


- Symptomy jsou nejvýraznější v časných ranních hodinách (↑ aktivity parasymptatiku)

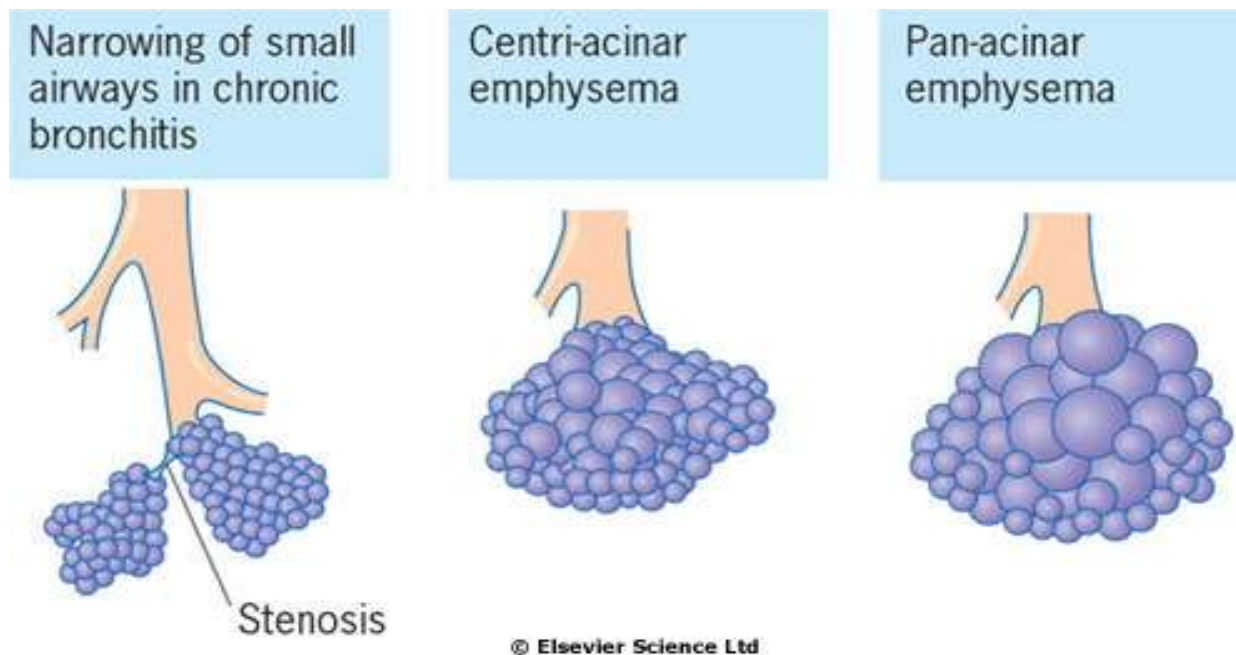


Funkční následky

- 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 α 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"



Same disease



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 resekčním 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

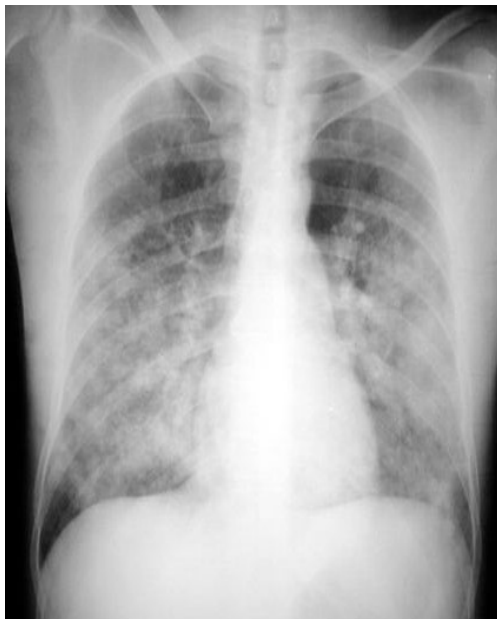
Plicní edém

- 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 (π_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



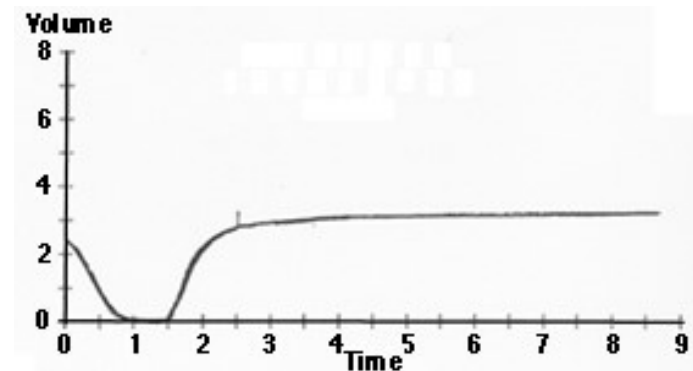
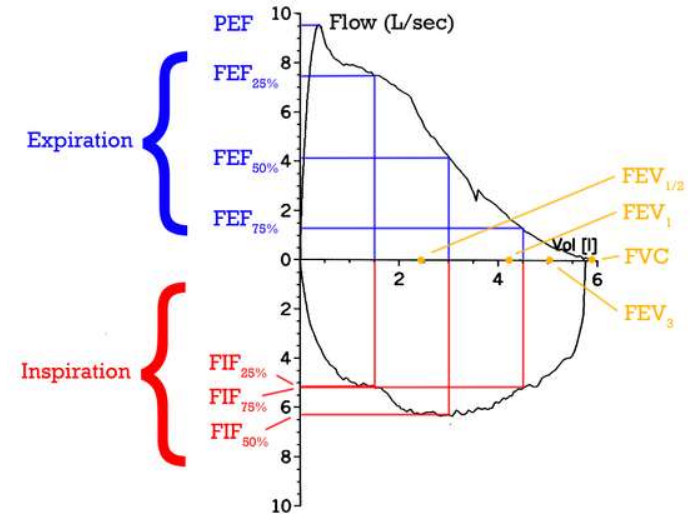
Plicní edém



Bilaterální fluidothorax

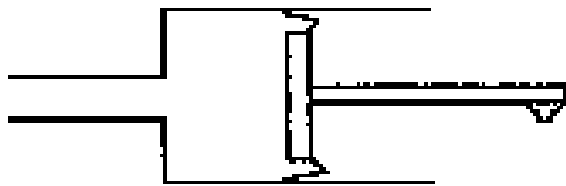
Spirometrie (“měření dechu”)

- 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)

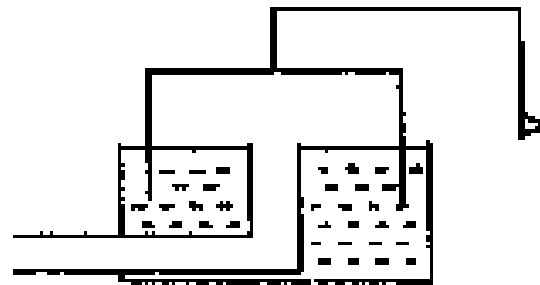


Typy spirometrů

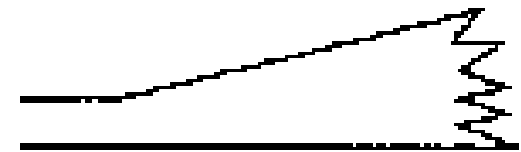
Rolling seal



Water Sealed

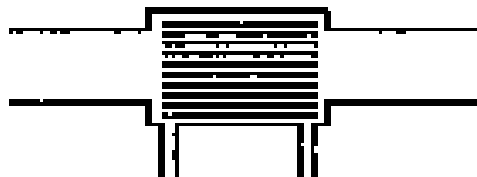


Bellows

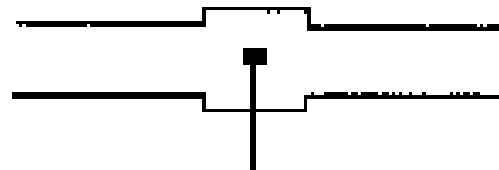


Flow Sensors

Pneumotach



Hot-Wire

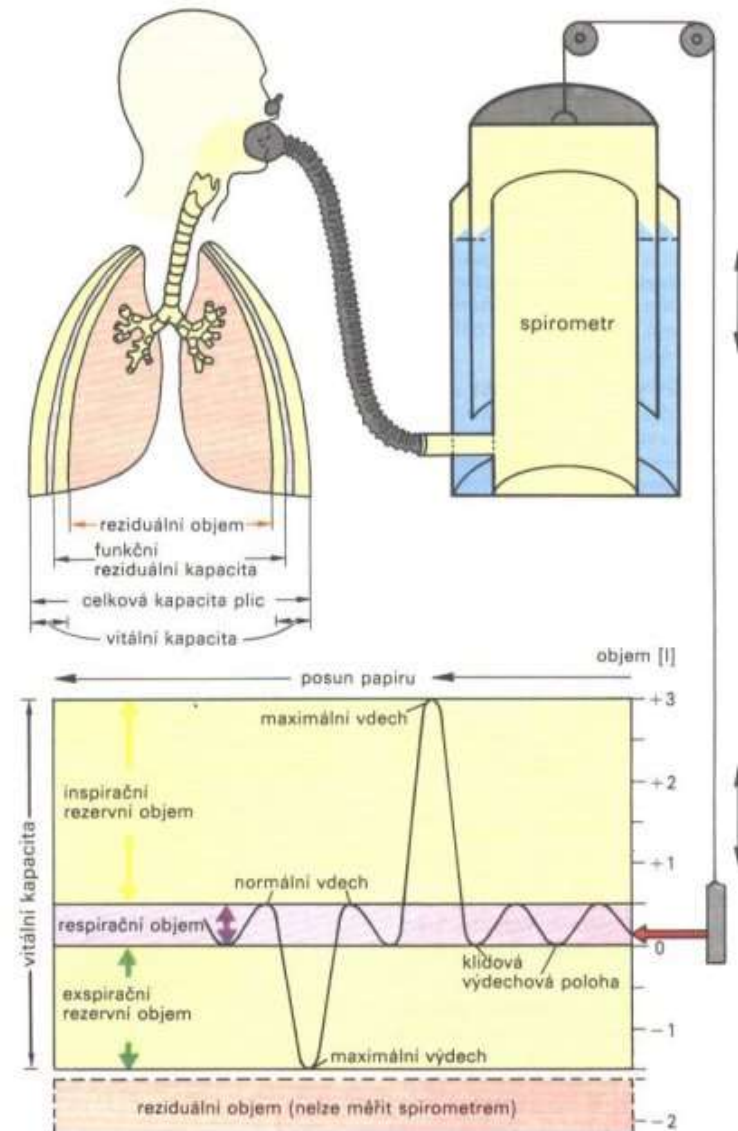


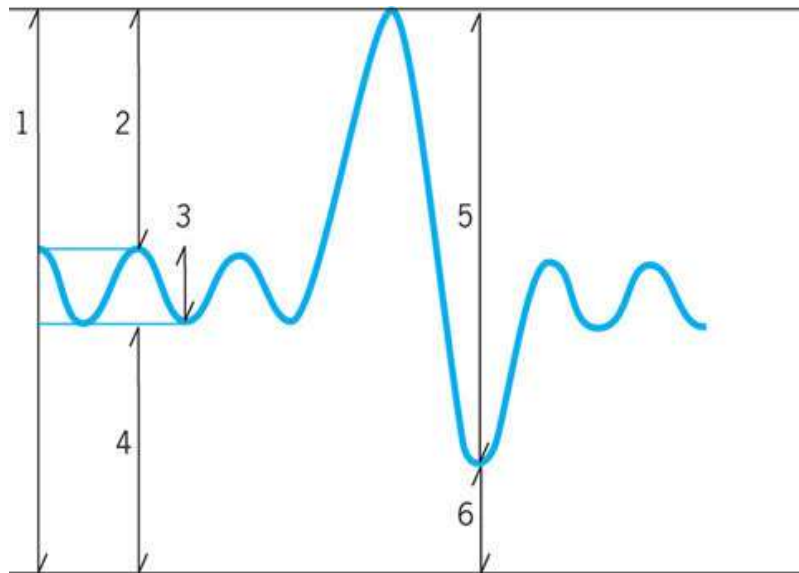
Turbine



Mechanika ventilace

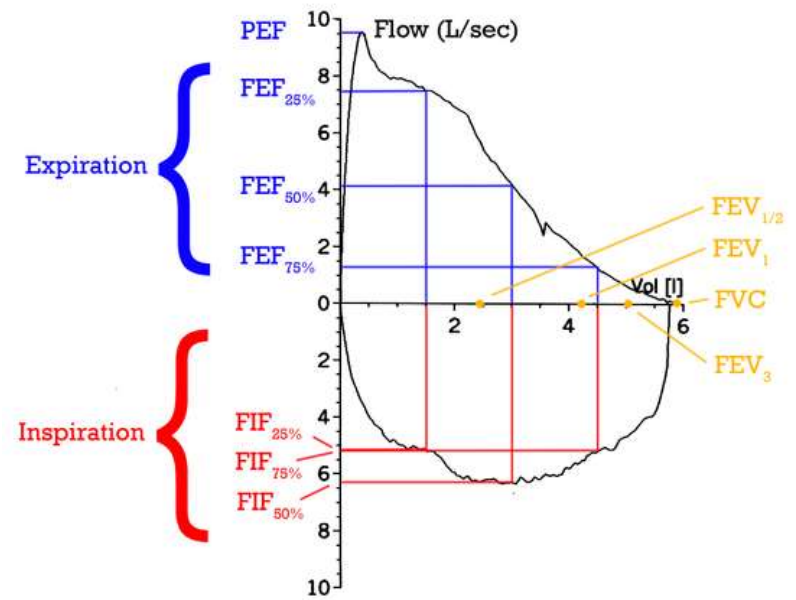
- (1) statické parametry = na čase nezávislé
 - TLC - celková plicní kapacita (okolo 6 l)
 - RV - reziduální objem (nelze měřit spirometrem!)
 - ERV - expirační rezervní objem (cca 1,5 l)
 - IRV - inspirační rezervní objem (cca 2,5 l)
 - FRC - funkční reziduální kapacita ERV+RV
 - VC - vitální kapacita 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





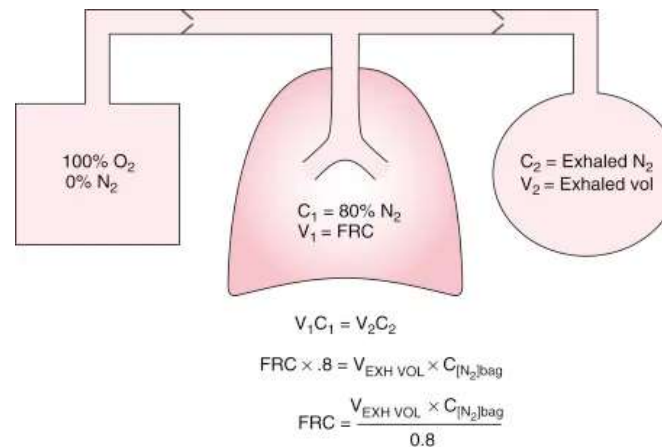
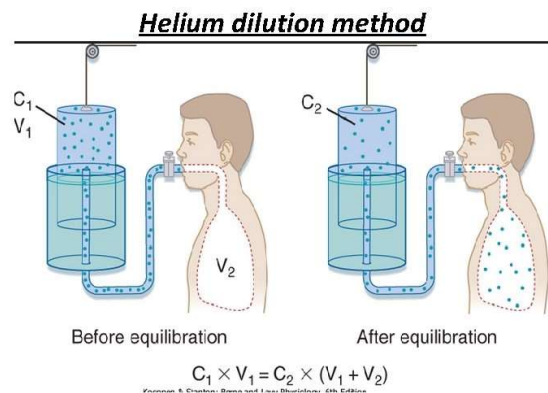
- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1 Total lung capacity | 4 Functional residual capacity |
| 2 Inspiratory reserve volume | 5 Vital capacity |
| 3 Tidal volume | 6 Residual volume |

© Elsevier Science Ltd



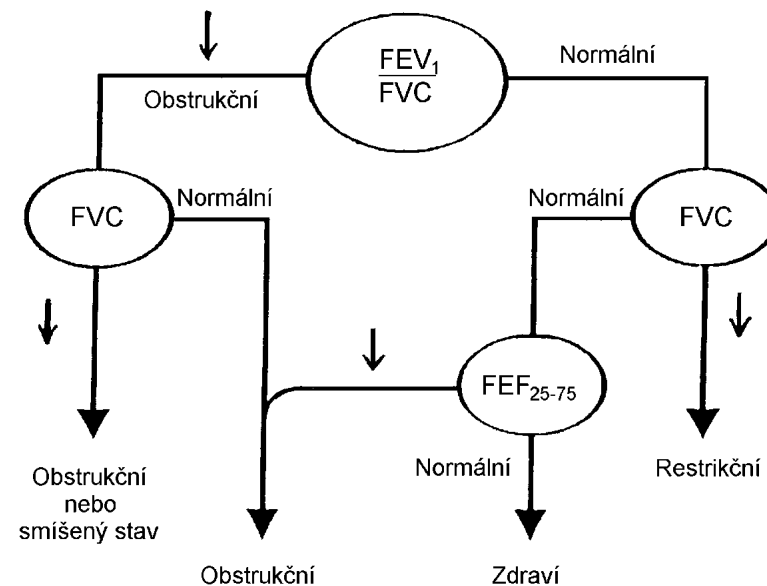
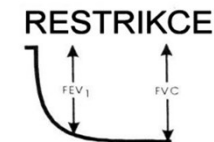
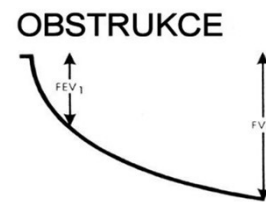
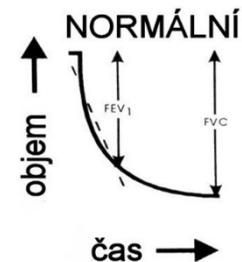
Měření reziduálního objemu

- 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

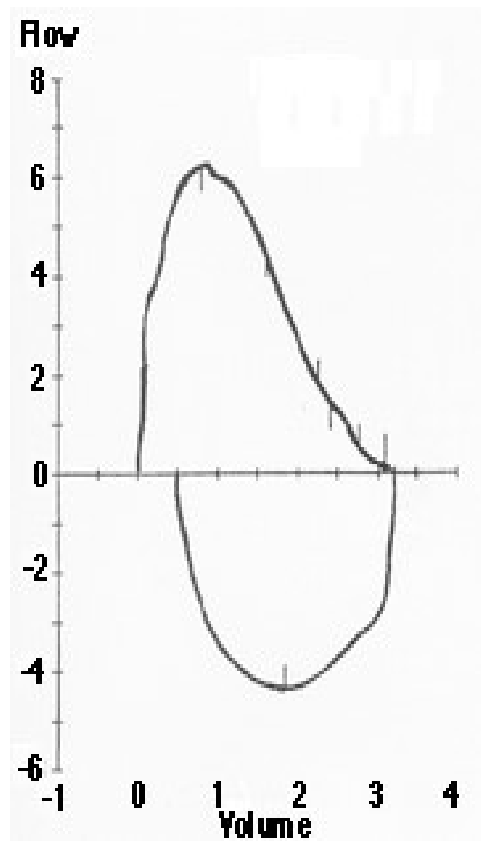
- bronchiální astma (alergické, nealergické), chron. bronchitida, emfyzém, chron. obstrukční plicní nemoc (CHOPN)
- (a) dynamické ventilační parametry ↓
 - objemy při usilovném výdechu: ↓FEV1, ↓FEV1/FVC (norma 80%), FVC ± normální
 - průtoky (rychlosti): ↓PEF, ↓MEF 50%, ↓MEF 75%, ↓MEF 25%, ↓FEF 25-50%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

■ restriktivní

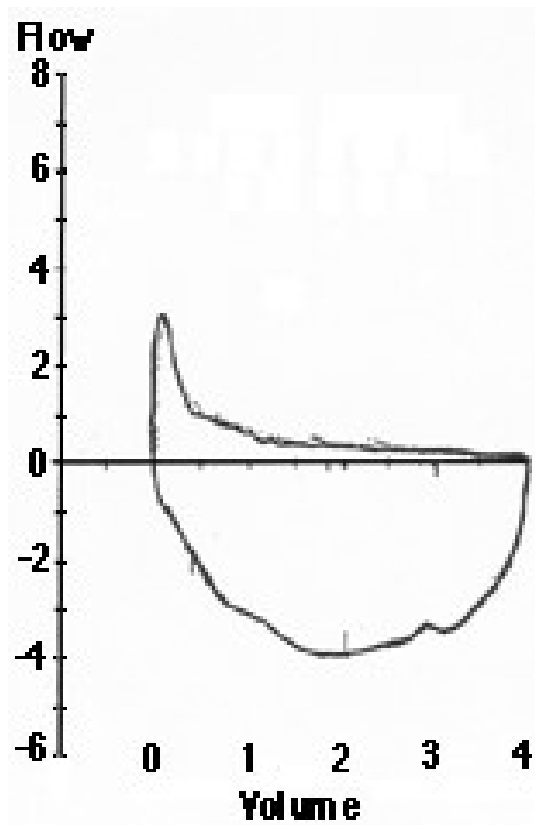
- idiopatická plicní fibróza, sarkoidóza, profesionální intersticiální nemoci, nemoci pleury, pneumotorax, skolióza, neuromuskulární nemoci
- (a) dynamické ventilační parametry ± ↓
 - objemy při usilovném výdechu: FEV1 ± normální, ↑FEV1/FVC (norma 80%), FVC ↓
 - průtoky (rychlosti): ↓PEF, ↓MEF 50%, ↓MEF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

F/V diagramy

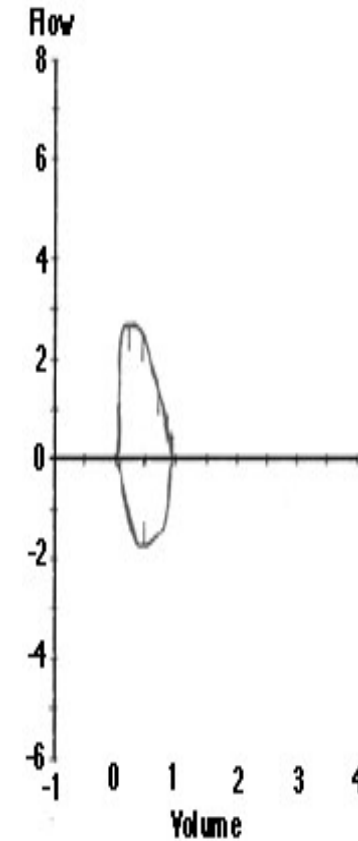
Normální



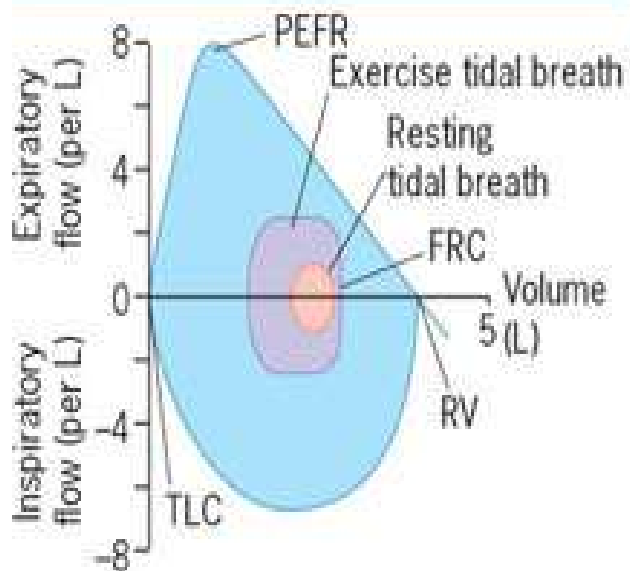
Obstrukční



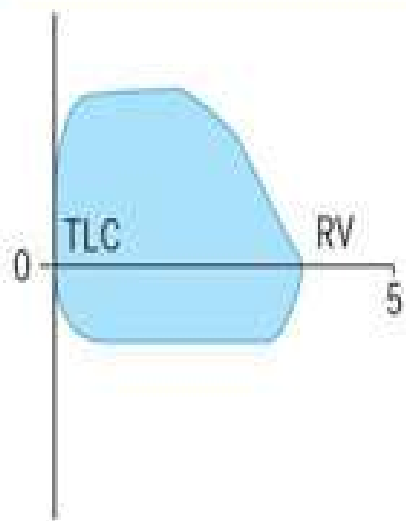
Restrikční



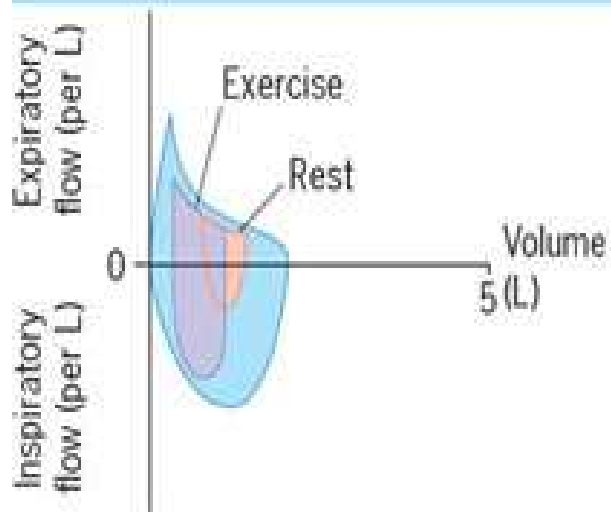
(a) No lung disease



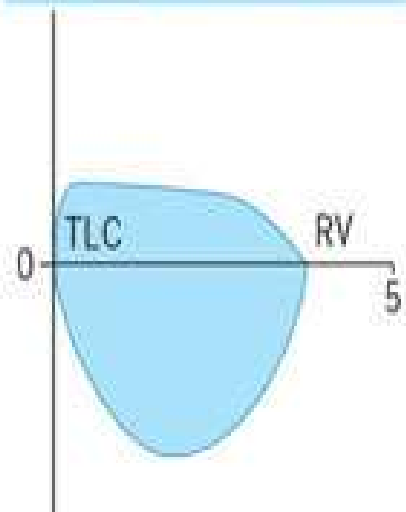
(c) Extrathoracic tracheal obstruction



(b) Severe airflow limitation



(d) Intrathoracic large airway obstruction



Snížené úsilí

