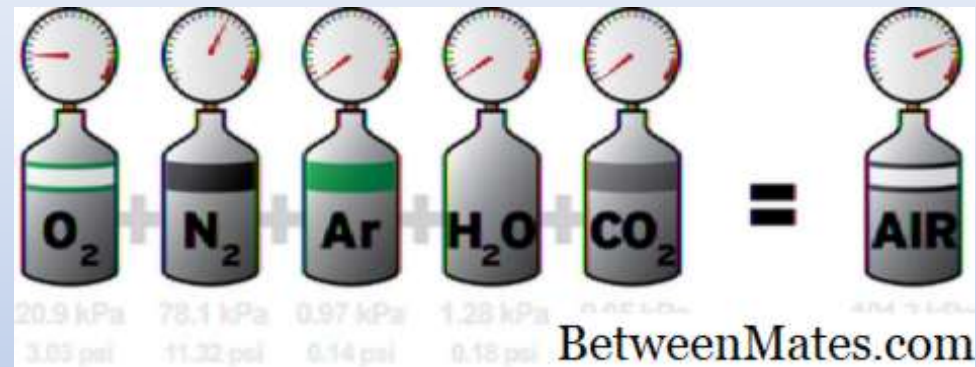


MUNI
MED

Poruchy respirace

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

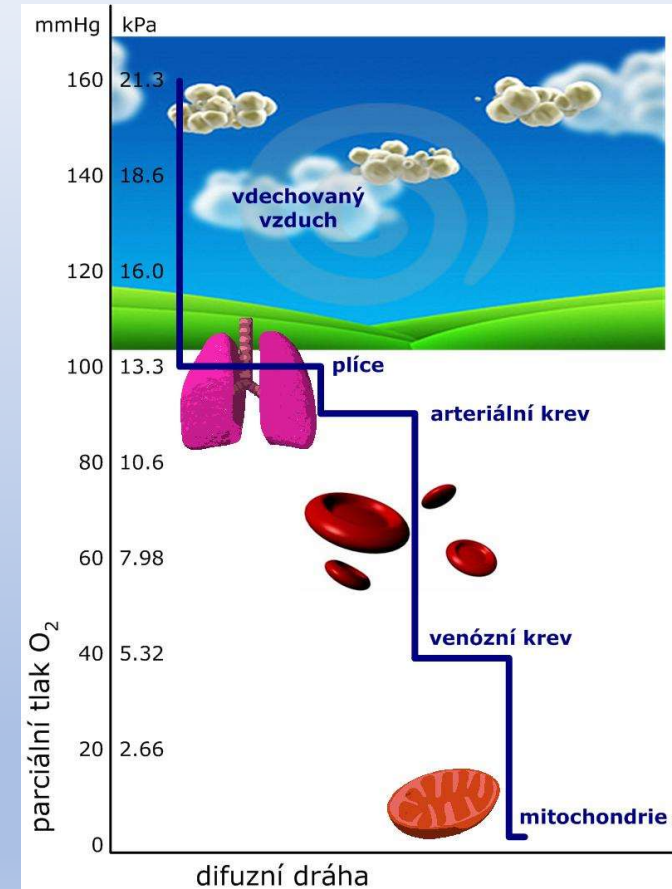
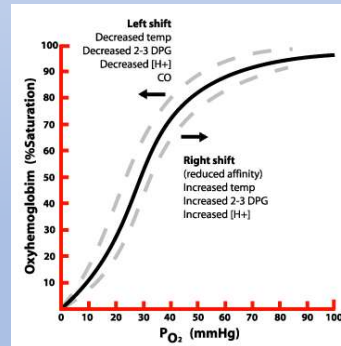


Parciální tlaky

	O_2 (%)	CO_2 (%)	P_{H_2O} (kPa)	P_{N_2} (kPa)	P_{aO_2} (kPa)	P_{CO_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	12,7	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, CO₂ je v krvi přítomen v různých formách (krev je „nesaturovatelná“)
 - HCO₃⁻
 - Volně rozpuštěný CO₂
 - karbaminohemoglobin
 - CO₂ v cytoplasmě erytrocytů

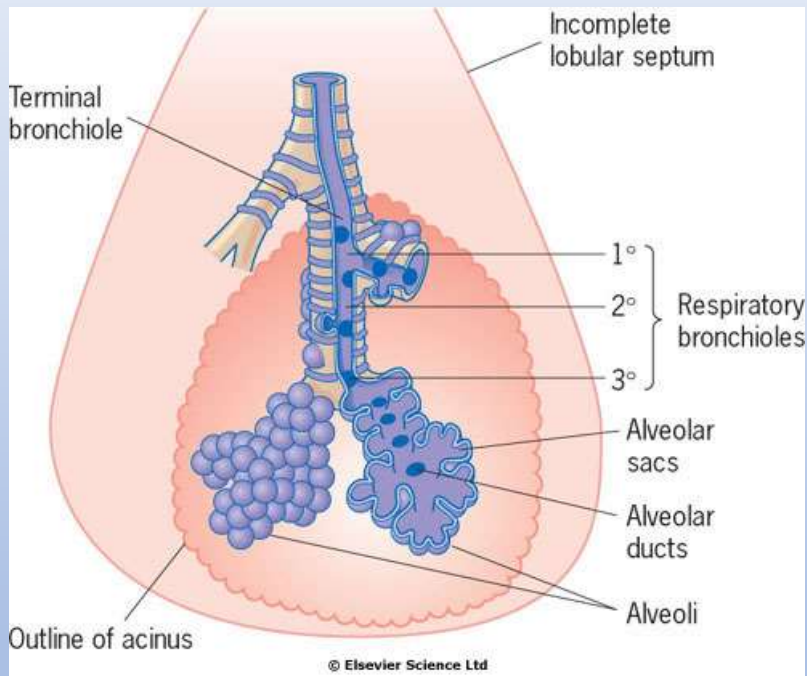


Funkce plic

- Ventilace
- Difúze
- Perfúze

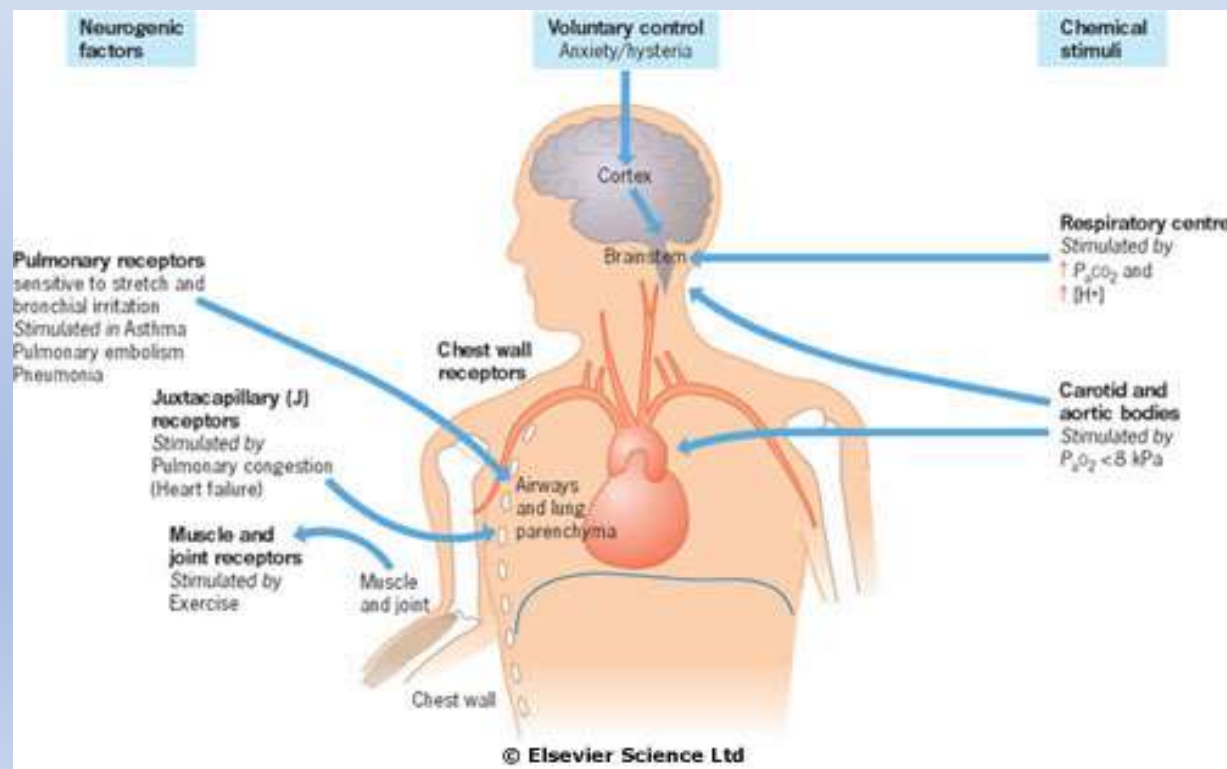
Respirační systém

- pásmo konvekce = anatomický mrtvý prostor
 - neprobíhá výměna plynů, pouze proudění vzduchu
 - 1 – trachea
 - 2 – bronchus
 - 3 – lobární bronchus
 - segmentální bronchus
 - prvních 7 dělení mají bronchy stěnu vybavenou hladkou svalovinou a chrupavkou, dále řasinkové, pohárkové a endokrinní buňky
 - dalších 16-18 dělení – žádná chrupavka, tenká svalová vrstva, řasinkové buňky, produkce surfaktantu
- pásmo respirace
 - výměna plynů
 - respirační bronchiolus – poslední dělení
 - alveolární duktus
 - alveolus

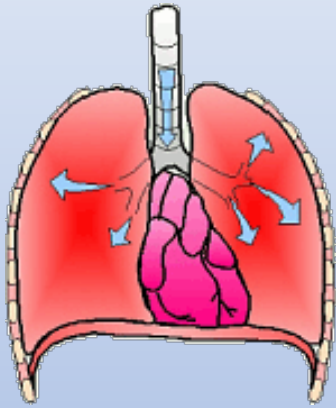


Ventilace

- Ventilace může být chápána dvěma způsoby:
 - Mechanický proces nádechu a výdechu
 - Řízení ventilace v souladu s metabolickými potřebami



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 smrštitost 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

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 smrštivost ("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 inspira 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%!!

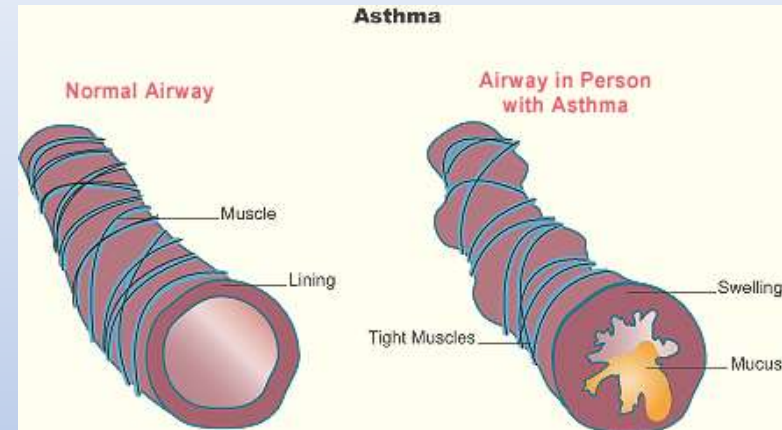


Odpor dýchacích cest

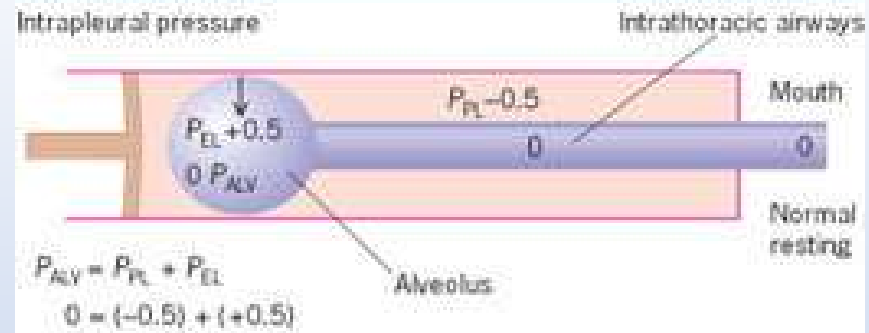
- Od trachey do periferie se dýchací cesty zužují (i když se zvětšuje jejich počet). Celkový průřez dýchacích cest se zvětšuje se zvětšujícím se průřezem. Průtok vzduchu je největší v tracheji a progresivně se zpomaluje směrem do periferie, v souladu s tím, že rychlost průtoku závisí na poměru mezi průtokem a průřezem dýchacích cest. V terminálních dýchacích cestách se plyn pohybuje pouze difúzí.
- Odpor kladený průtoku je velmi nízký (0,1-0,2 kPa/L v případě normálního tracheobronchiálního větvení), a postupně roste od malých k velkým dýchacím cestám. Dýchací cesty se rozšiřují se zvětšujícím se objemem plic, a při maximálním nádechu (*total lung capacity*, TLC) jsou o 30-40% širší než při maximálním výdechu (*residual volume*, RV). U chronické obstrukční plicní nemoci (CHOPN) jsou malé dýchací cesty zúžené a to může být částečně kompenzováno dýcháním při vyšším plicním objemu.

Dynamická komprese dýchacích cest

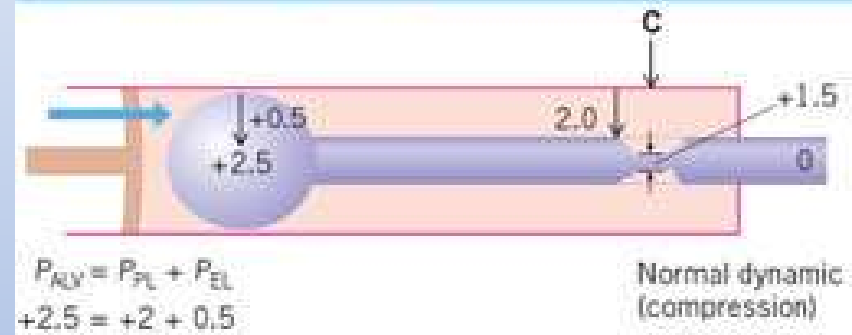
- předčasné uzavírání dýchacích cest
 - intrapleurální tlak není stejný kolem celé plíce (při bazích méně negativní)
 - při hlubokém výdechu (až k RV) se může dostat i do pozitivních hodnot, uzavírá malé dých. cesty (respirační bronchioly) a zachycuje vzduch v alveolech
 - “air trapping”
- fyziologicky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



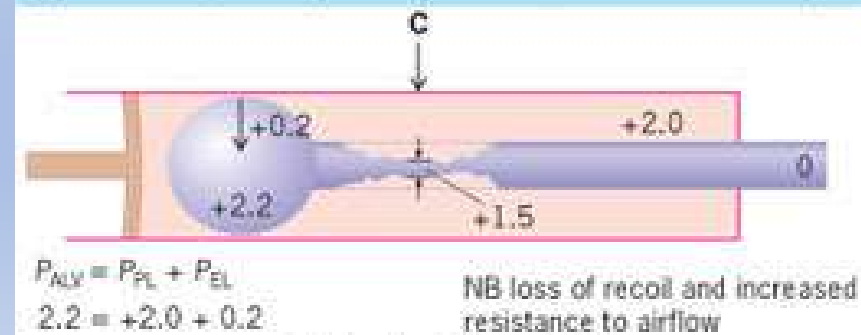
(a) Resting



(b) Forced expiration (normal)

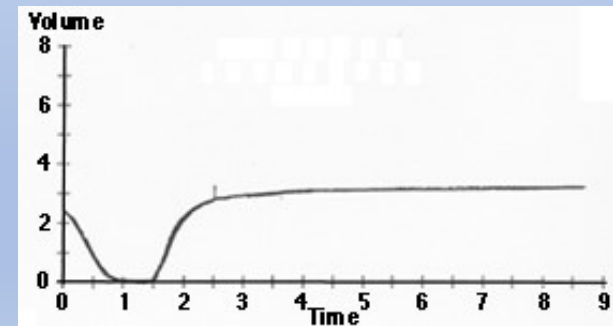
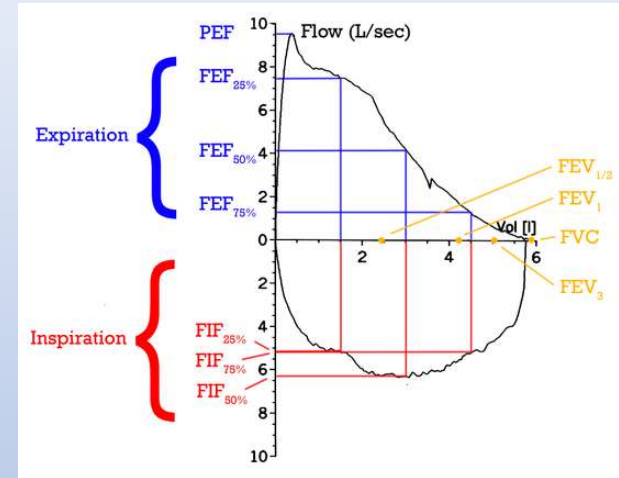


(c) Forced expiration (airflow limitation, asthma and COPD)



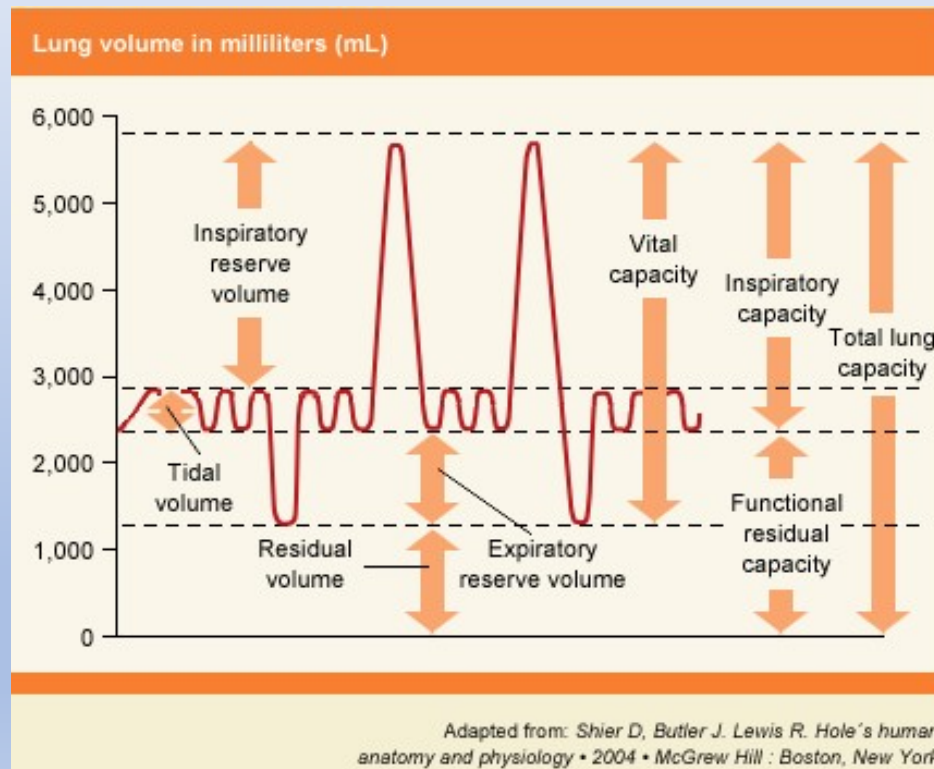
Spirometrie (“měření dechu”)

- nejzákladnější funkční test plicní funkce
 - měří statické a dynamické parametry plic
 - možnosti vyjádření
- 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)



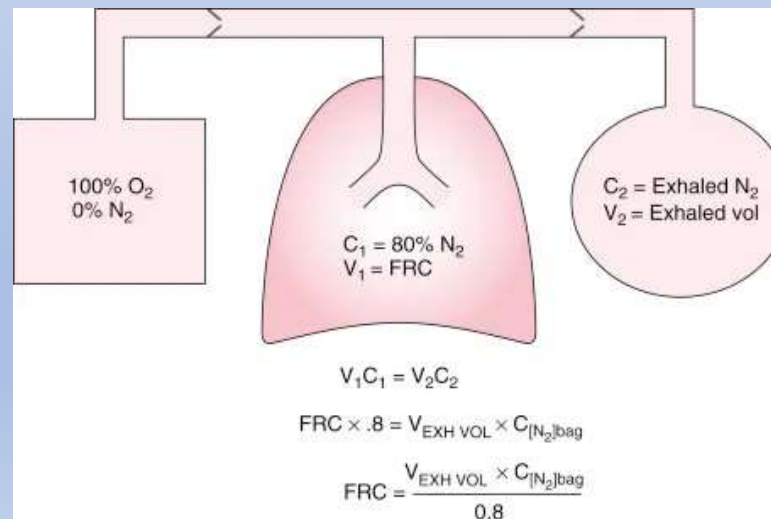
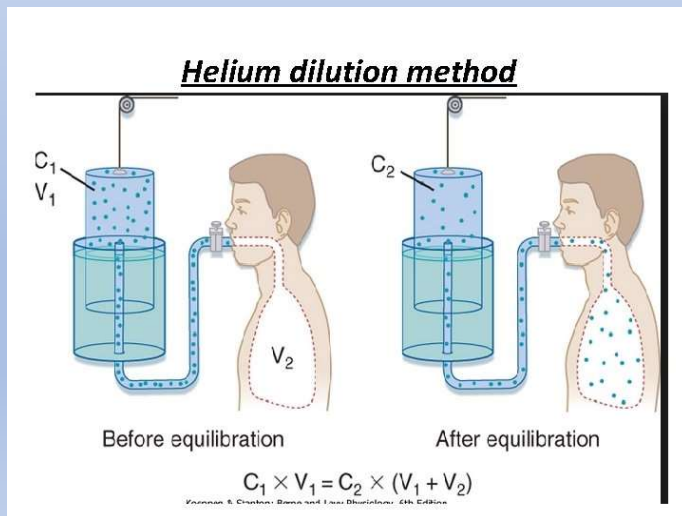
Statická spirometrie

- Parametry jsou nezávislé na čase



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



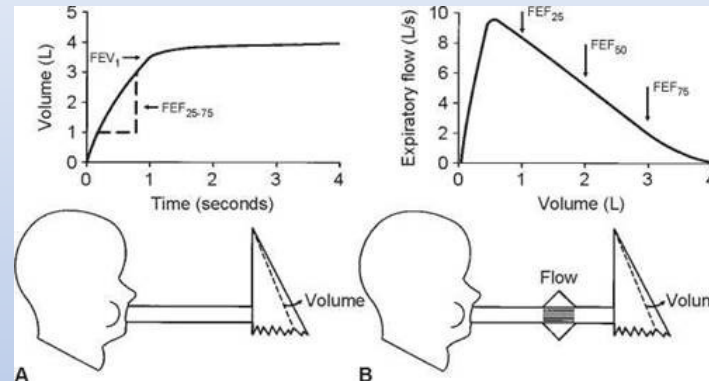
Dynamická spirometrie

- Forced Vital Capacity (usilovná vitální kapacita) – **FVC**
- Forced Expiratory Volume in One Second (expirační jednosekundová kapacita) - **FEV1**
- **Peak respiratory flow (maximální průtoková rychlost) - PEF**
- Poměr FEV1 k FVC (Tiffenauův index)- **FEV1/FVC %**
- **Rychlosti toku ve čtvrtině, polovině, třech čtvrtinách výdechu - FEF 25, FEF 50, FEF 75**
- **Mean Forced Expiratory Flow during the Middle Half of the Forced Vital Capacity (průměrná rychlost toku ve střední polovině) - FEF 25-75%**
- Maximální volní ventilace během 15 sekund - MVV

Dynamická spirometrie - diagramy

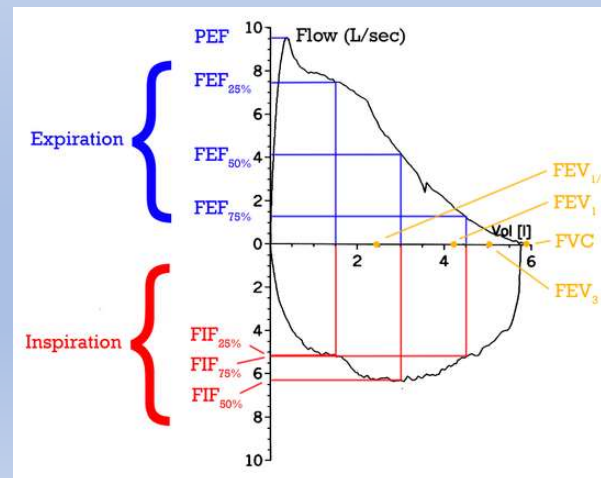
křivka objemů – čas (volume - time)

objem jako funkce času (např. pomocí spirometrického zvonu)
průtoky počítány derivací objemu podle času



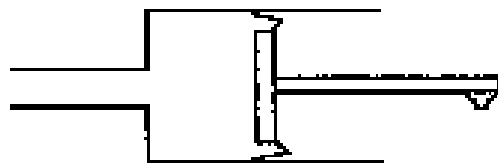
křivka tok – objem (flow - volume)

průtok jako funkce času, kdy průtok je funkcí objemu (pomocí pneumotachografické hlavice)
objemy počítány integrací průtoku podle času

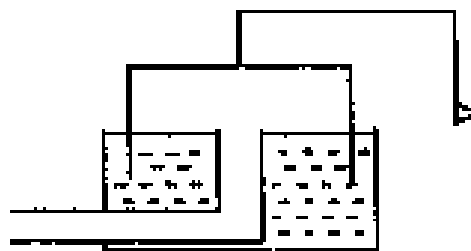


Typy spirometrů

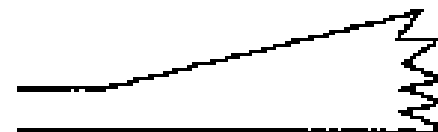
Rolling Seal



Water Sealed

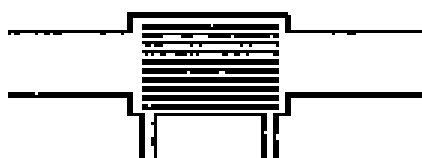


Bellows

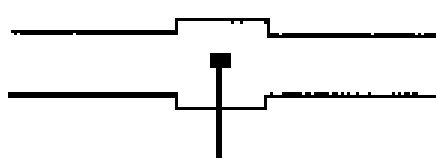


Flow Sensors

Pneumotach



Hot-Wire



Turbine



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

Spirometrie u ventilačních poruch

• obstrukční

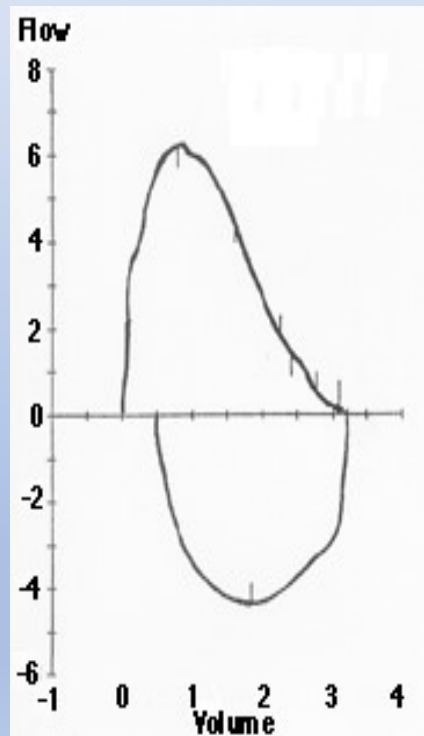
- bronchiální astma (alergické, nealergické), chron. bronchitida, emfyzém, chron. obstrukční plicní nemoc (CHOPN)
- (a) dynamické ventilační parametry ↓
 - objemy při usilovném výdechu: ↓FEV1, ↓FEV1/FVC (norma 80%), FVC ± normální
 - průtoky (rychlosti): ↓PEF, ↓MEF 50%, ↓MEF 75%, ↓MEF 25%, ↓FEF 25-50%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

• restriktivní

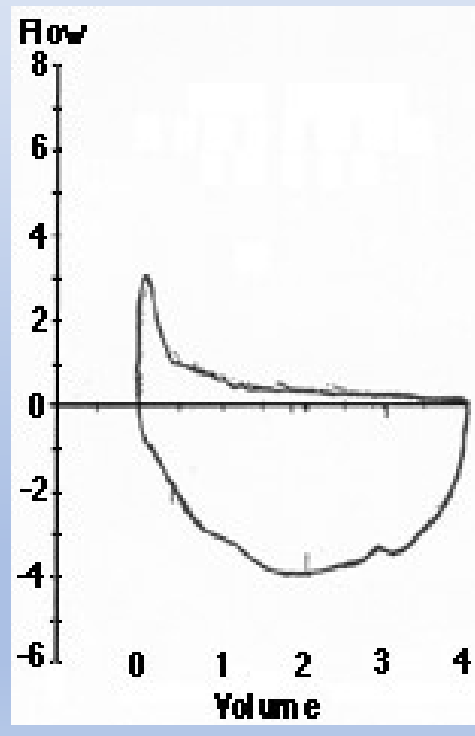
- idiopatická plicní fibróza, sarkoidóza, profesionální intersticiální nemoci, nemoci pleury, pneumotorax, skolióza, neuromuskulární nemoci
- (a) dynamické ventilační parametry ± ↕
 - objemy při usilovném výdechu: FEV1 ± normální, ↑FEV1/FVC (norma 80%), FVC ↓
 - průtoky (rychlosti): ↓PEF, ↓MEF 50%, ↓MEF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

F/V diagramy

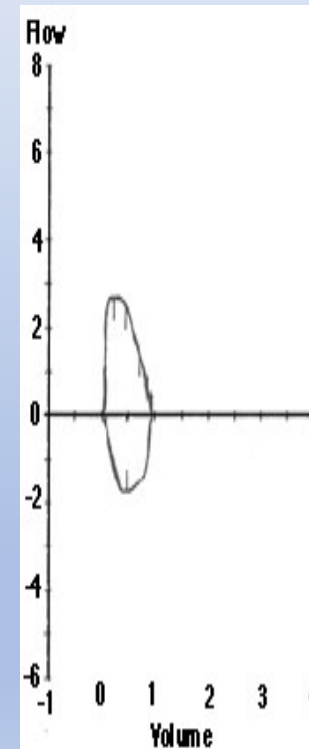
Normální



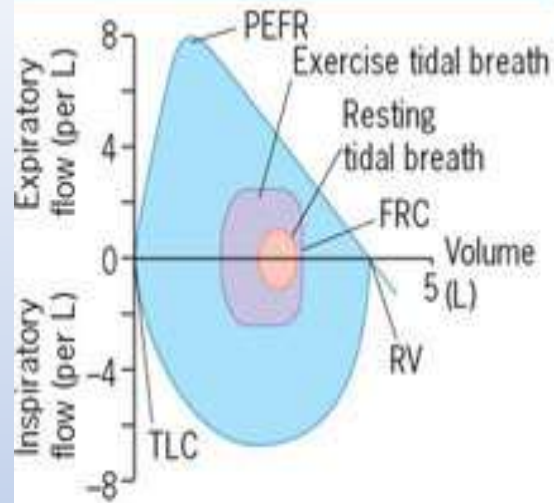
Obstrukční



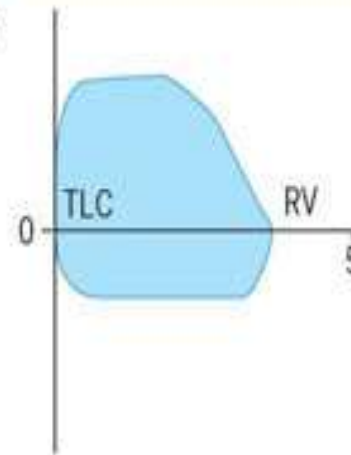
Restrikční



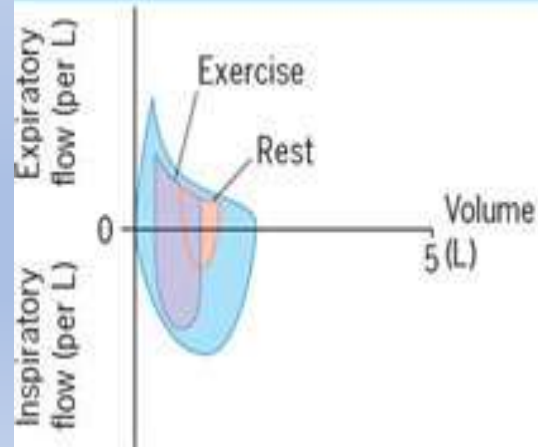
(a) No lung disease



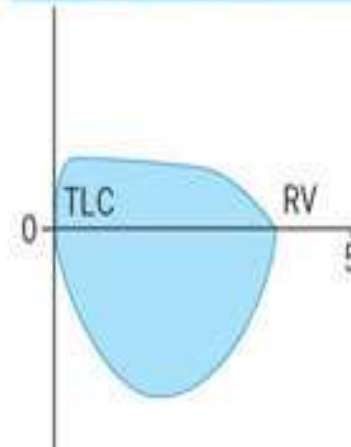
(c) Extrathoracic tracheal obstruction



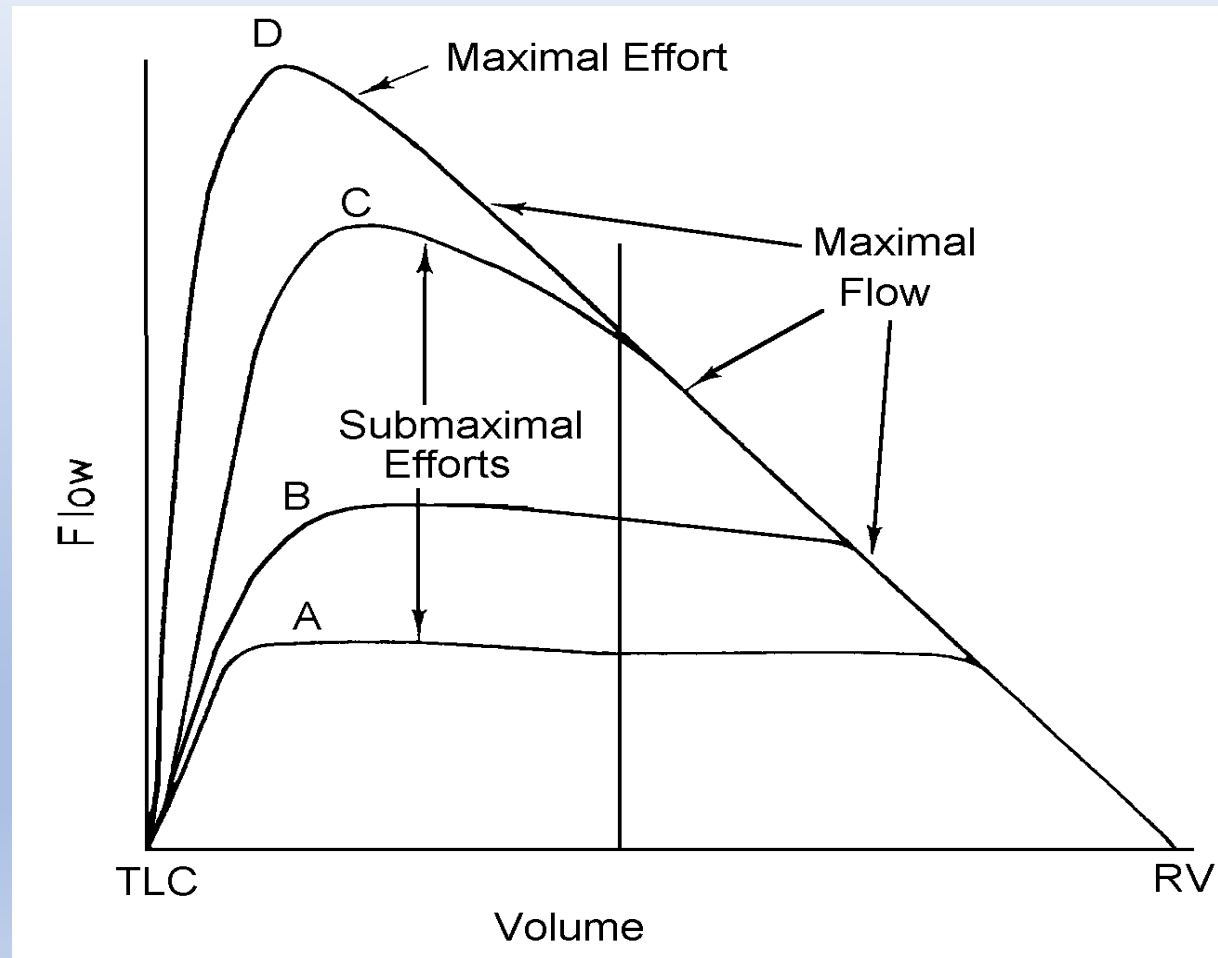
(b) Severe airflow limitation



(d) Intrathoracic large airway obstruction



Snížené úsilí



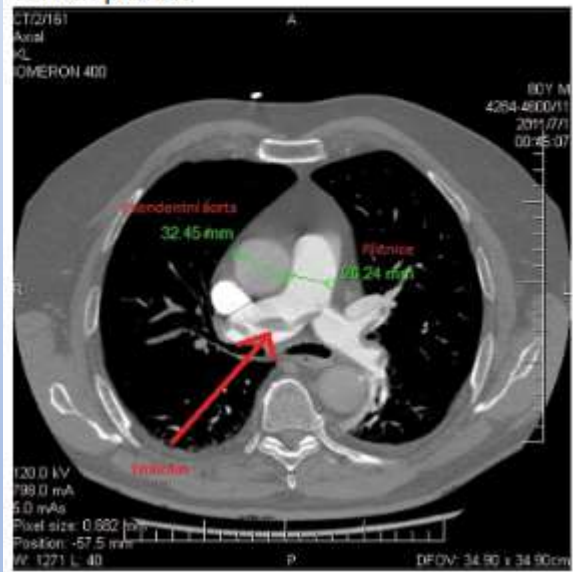
Vyšetření perfúze

- Scintigrafie
 - Perfúzní scintigrafie (např. $^{99m}_{43}\text{Tc}$)
 - Ventilačně-perfúzní scan: kombinace perfúzní a inhalační scintigrafie
- Angiografie
 - Digitální subtrakční angiografie
 - CT angiografie
- Srdeční výdej pravé komory:
 - termodiluce
 - (EDV-ESV) \times HR - např. echokardiografie

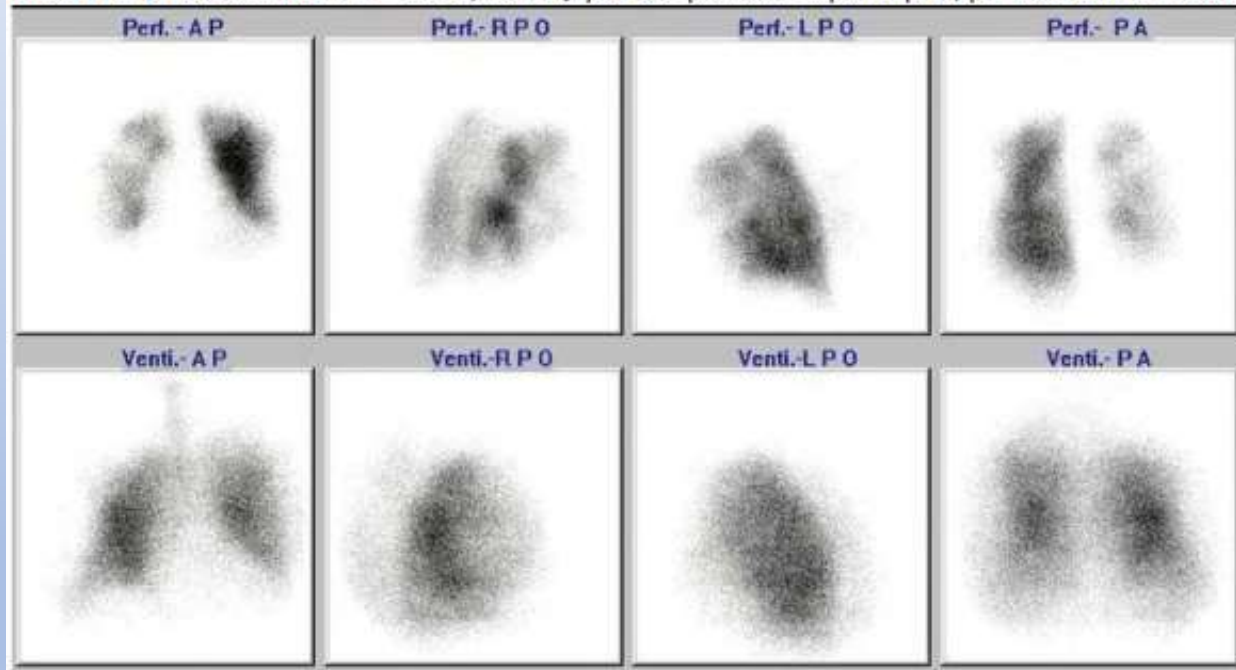
$$\text{CO} = \frac{\text{Indicator}}{\int_0^{\infty} \Delta C(t) dt}$$

Perfúze plic a V-P scan

Obrázek 2. Měření ascendentní aorty a plicnice, šipka ukazuje na embolus v bifurkaci a obou větvích plicnice

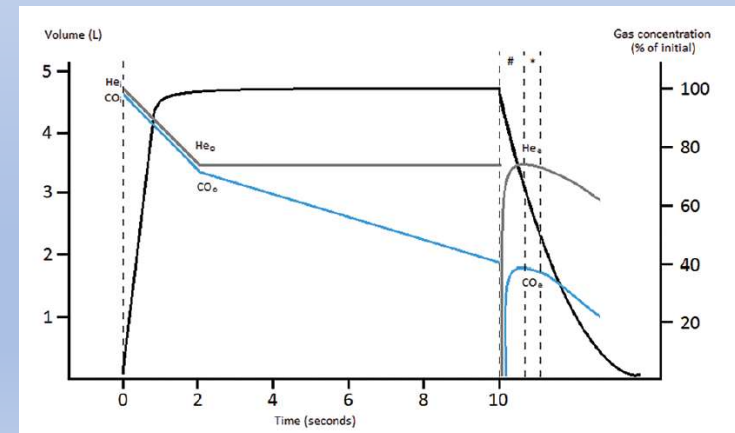
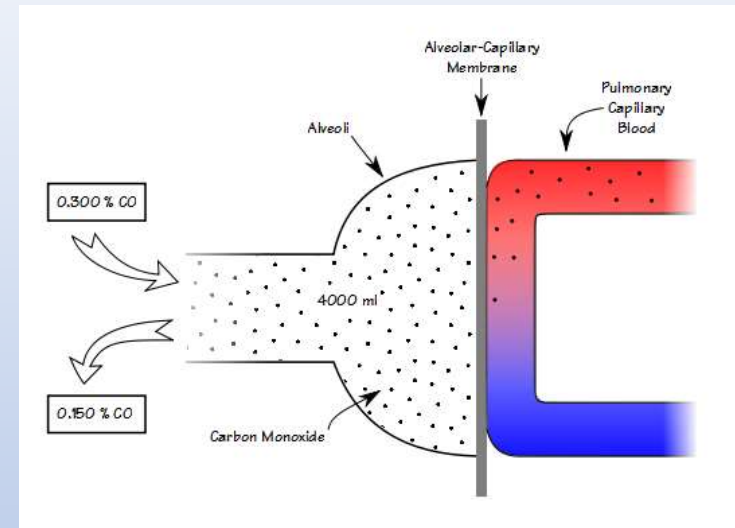


Obrázek 4. Pozitivní nález V-P scanu, defekty perfuze převážně v pravé plicí, při normální ventilaci



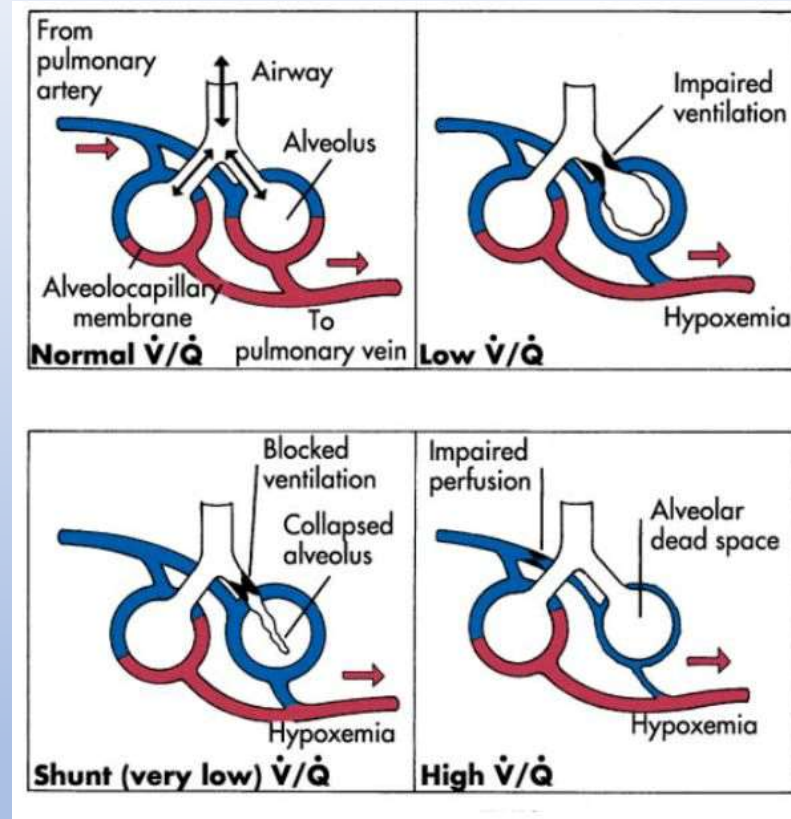
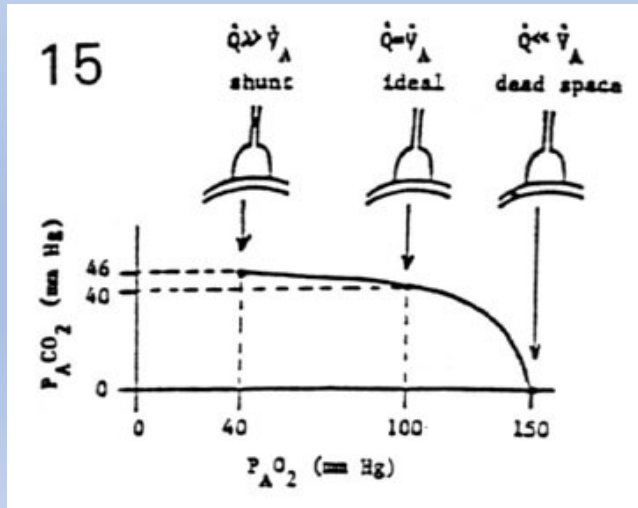
Vyšetření difúze

- Transfer faktor plic pro CO (TLCO)
 - Lze jej vypočítat z poklesu koncentrace CO (vysoká afinita k Hb) a inertního plynu (např. He – viz diluční metody), což umožňuje zohlednit reziduální volum
 - Většinou single breath method – srovnávají se koncentrace CO a He ve vdechovaném vzduchu a po zadržení dechu, dalším faktorem ve výpočtu je doba zadržení dechu

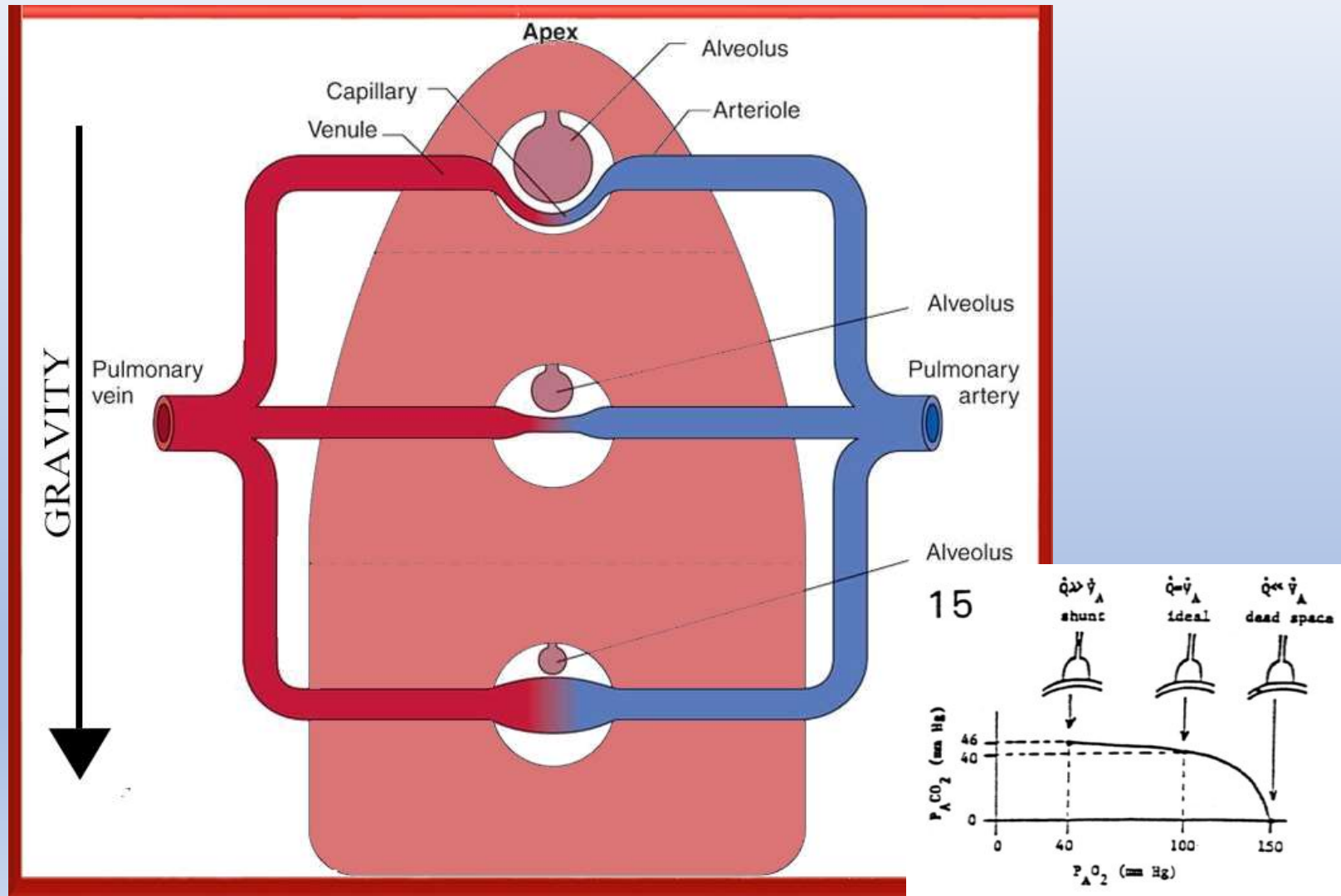


V_A/Q (ne)poměr

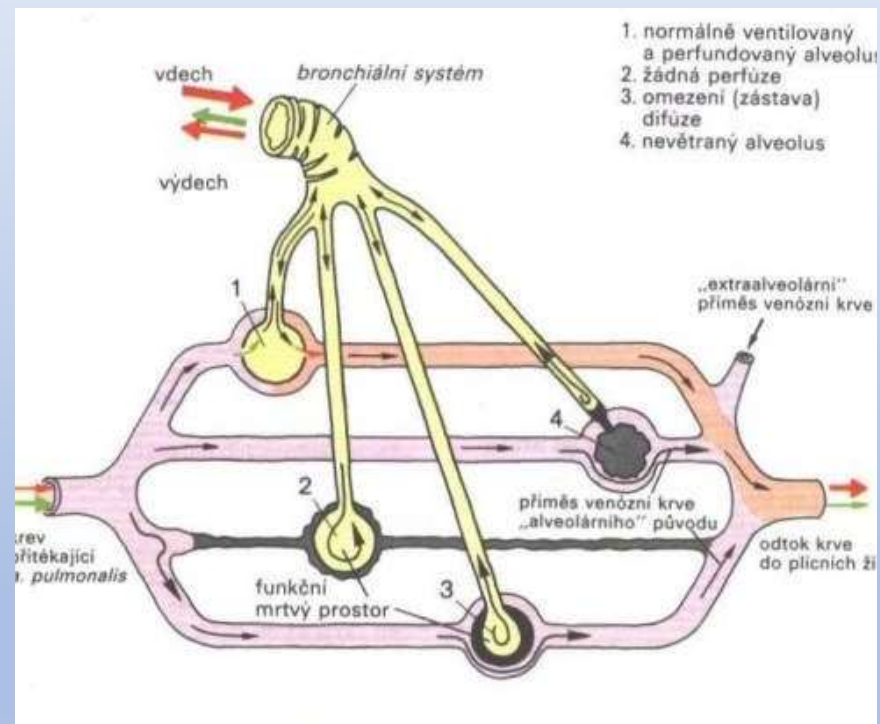
- reálně plíce není homogenní
 - alveoly s vysokým, normálním a nízkým V_A/Q poměrem
 - výslednicí je fyziologická ventilačně-perfuzní nerovnováha



Zkrat a mrtvý prostor

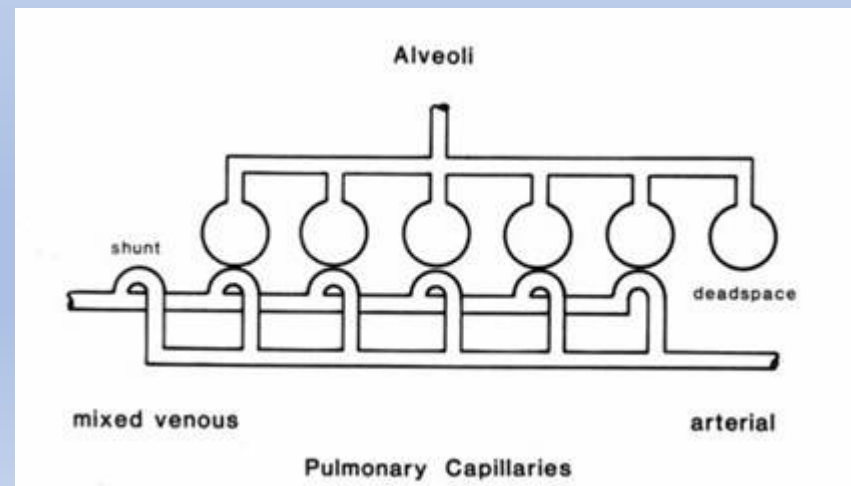


Typy respiračních poruch



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)

Parciální tlaky plynů v arteriální kvi

- 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
 - poruchy difuze
 - ventilačně-perfuzní nerovnováha
 - zkrat
- hyperkapnie ($\text{PaCO}_2 > 40\text{mmHg}$ [5.3kPa])
 - čistá hypoventilace
 - ventilačně-perfuzní nerovnováha
 - zvýšení dechové práce
 - CO_2 ve vdechovaném vzduchu
- Hypokapnie
 - hyperventilace

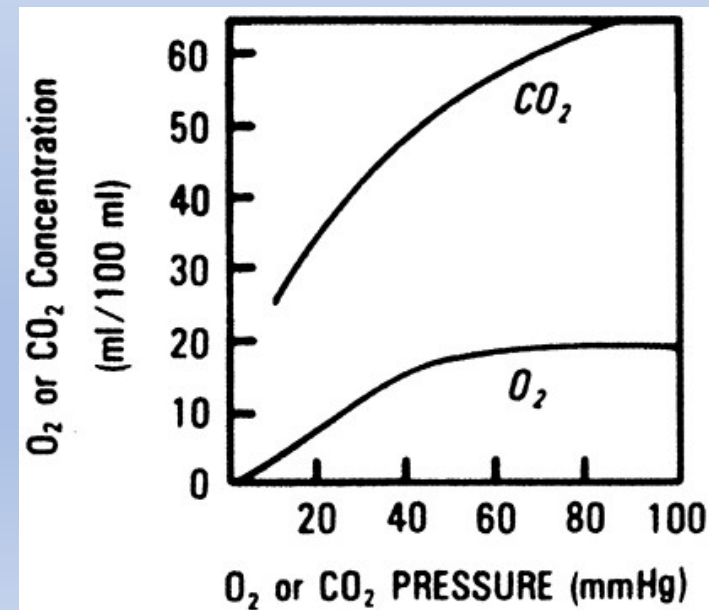
Respirační insuficience

- 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 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 snižena výměna O_2 i CO_2



Chronická obstrukční plicní nemoc

- Pink puffers

- převaha emfyzému
- kolaps bronchiolů a alveolárních sept
- dominuje především mrtvý prostor
- dlouho bez respirační insuficience, ale nutné velké dechové úsilí k překonání mrtvého prostoru
- deficience α 1-antitrypsinu (vrozená či získaná – kouření)

- Blue bloaters

- převaha chronické bronchitidy
- obstrukce bronchiolů
- dominuje zkrat
- parciální, později globální resp. insuficience
- dlouho není hyperkapnie – není dechové úsilí
- těžká hypoxie – vysoký deoxyHb
- většinou kuřáci

Narrowing of small airways in chronic bronchitis



Centri-acinar emphysema



Pan-acinar emphysema



© Elsevier Science Ltd

Emfyzém a chronická bronchitida.

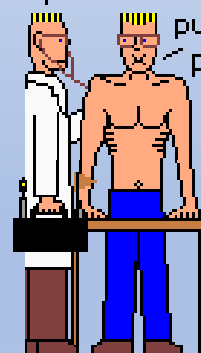
pink puffers vs. blue bloaters

Emphysema

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

Usual cause: Tobacco smoking

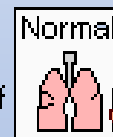
Hmm, 'emphysema'



puff puff puff puff
puff puff puff
puff puff puff puff

Strong hypercarbic drive

"Pink puffer" Struggles.



Same disease



...gurgle...
...gurgle...
...hack...

Lost hypercarbic drive

"Blue Bloater" Doesn't struggle

Hmm, "chronic bronchitis"

