

M U N I

M E D

# **Spirometrické vyšetření**

# Respirační systém - fyziologie

**Hlavní funkce na úrovni plic:**

- **Ventilace**
- **Difuze**
- **Perfuze**

# Alveolární ventilace

$$V_A = (V_T - V_D) \times f$$

$V_T$  ....dechový objem (tidal volume)

$V_D$  ....mrtvý prostor (dead volume)

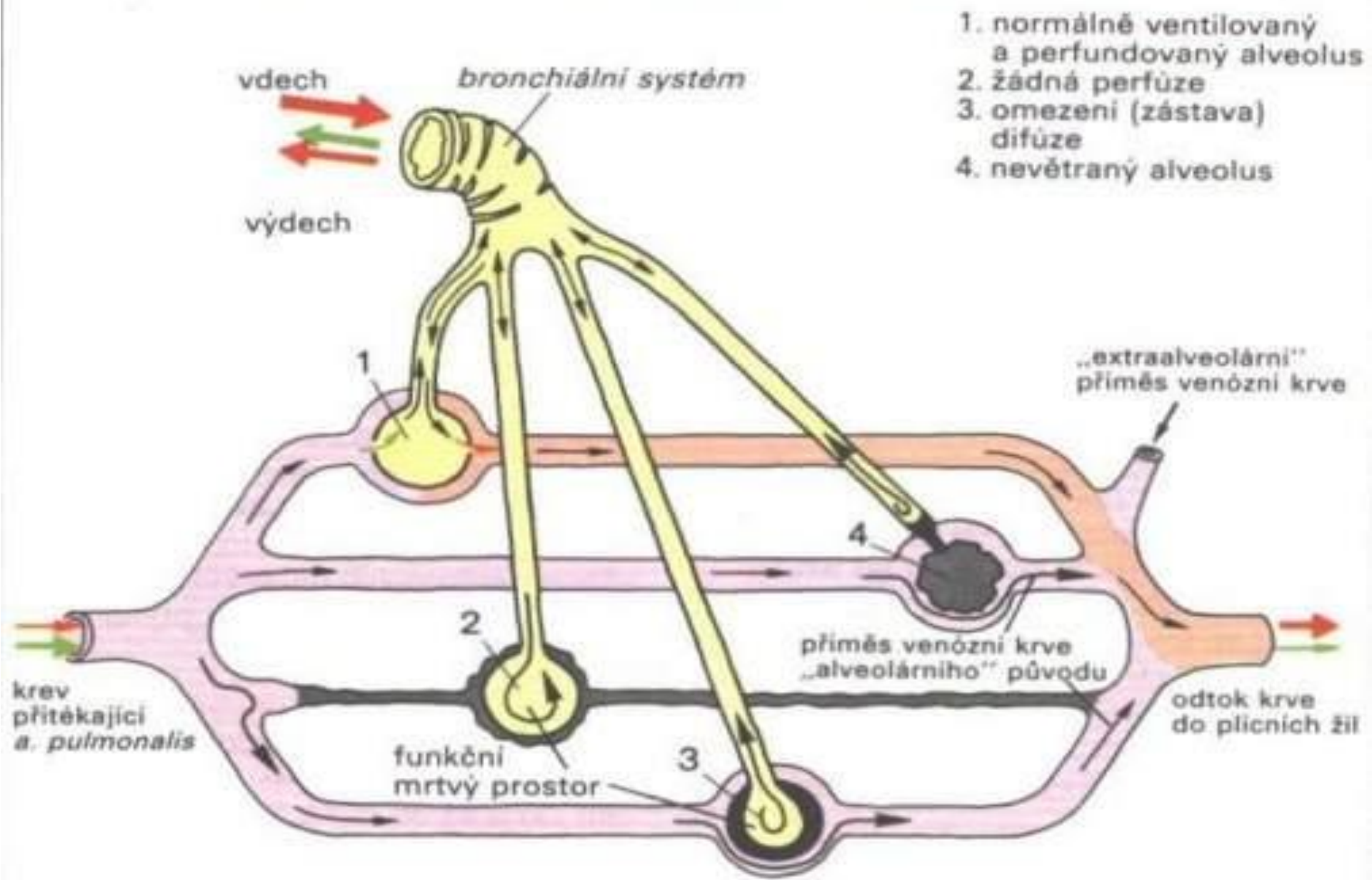
$f$  ....dechová frekvence

$$V_A = (500\text{ml} - 150\text{ml}) \times 15/\text{min} = 5250\text{ml}/\text{min}$$

# Ventilačně perfuzní poměr

Nestejný poměr průtoku plynu a krve u jednotlivých sklípků  $\dot{V} / \dot{Q}$

- i za fyziologických podmínek
  - plicní báze:  $\dot{V} / \dot{Q} = 0,7$
  - plicní hroty:  $\dot{V} / \dot{Q} = 3,3$
- zvýšena za patologických stavů (téměř všech)
  - $\uparrow \dot{V} / \dot{Q} \rightarrow \uparrow \text{mrtvý prostor} \rightarrow \uparrow \text{PaCO}_2$
  - $\downarrow \dot{V} / \dot{Q} \rightarrow \uparrow \text{zkrat} \rightarrow \downarrow \text{PaO}_2$



1. normálně ventilovaný a perfundovaný alveolus
2. žádná perfúze
3. omezení (zástava) difúze
4. nevětraný alveolus

B. Respirační plicní poruchy

# Poruchy ventilace

- **Prostá hypoventilace**
- **Obstrukční** ventilační poruchy  
(zúžení dýchacích cest)
- **Restrikční** ventilační poruchy  
(redukce funkčního parenchymu plic  
nebo omezení dýchacích pohybů)
- **Smíšené** ventilační poruchy

# Prostá hypoventilace

- Zpravidla mimoplicní příčina
  - CNS (otravy, léky, úrazy)
  - nervosvalová onemocnění (myastenia gravis)
  - obstrukce horních dýchacích cest
- Snížení  $V'_A = (V_T - V_D) \times f$
- Hypoxemie, hyperkapnie



# Obstrukční poruchy plic

## – Lokalizovaná obstrukce

- bronchiální obstrukce (cizí těleso, nádor, zánět, uzliny..)  
absorpční atelektáza, zkrat

## – Generalizovaná obstrukce

- *reverzibilní* - asthma bronchiale
- *ireverzibilní* - CHOPN (emfyzém, chronická bronchitida), mukoviscidóza
- jiné - infekční bronchitida, bronchiolitida)

# Asthma bronchiale

- **Chronická zánětlivá choroba** dýchacích cest, charakterizovaná **zvýšenou reaktivitou** na různé stimuly vedoucí k variabilní **bronchiální obstrukci**, která je **reverzibilní** buď spontánně nebo po terapii.
- 2,3-3,3 % populace
- bez závislosti na pohlaví
- vzrůstající výskyt
- multifaktoriální onemocnění

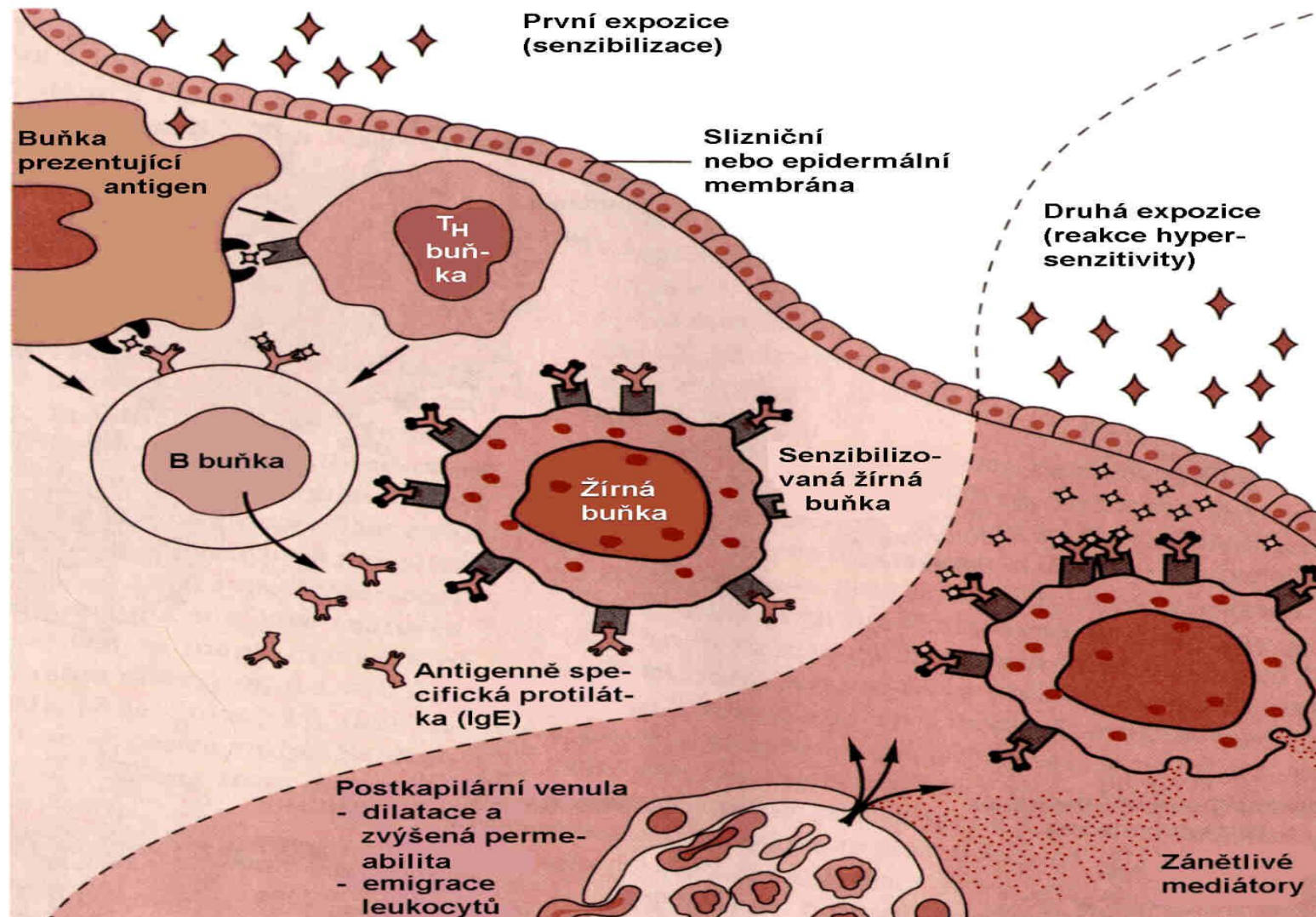
# Astma - klinické příznaky

- Dechové obtíže, hvízdavý dech, dráždivý kašel
- záchvaty se střídají s obdobím klidu
- variabilita
  - sezónní
  - diurnální (noční a ranní záchvaty)
  - zátěžová (námahové astma)

# Astma - dělení

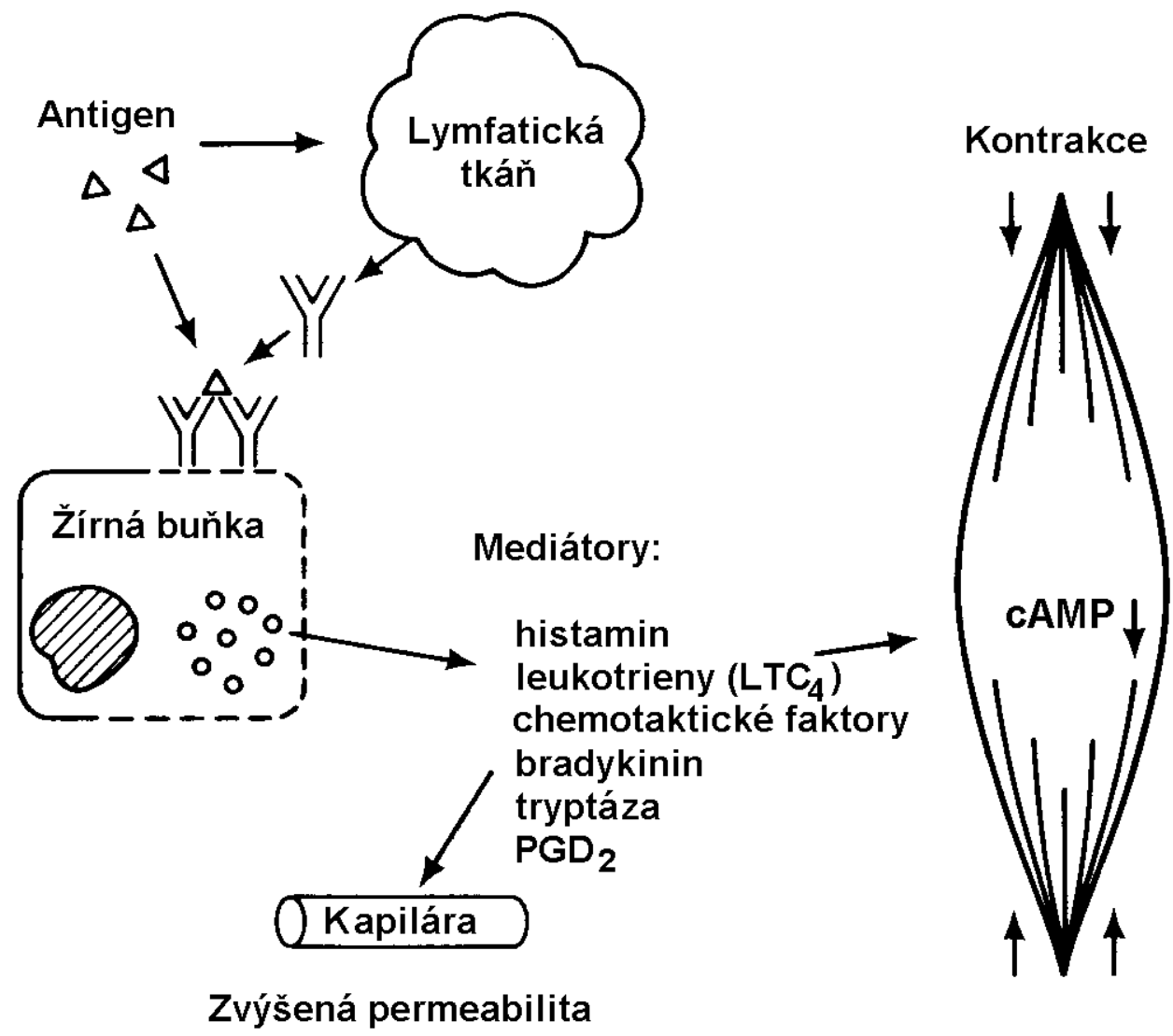
- **Atopické (alergické) astma**
  - genetická predispozice + alergen, I.typ přecitl.
- **Neatopické (nealergické) astma**
  - endogenní a. (bez známé příčiny)
  - námahové a. (tělesná zátěž)
  - iritační a. (chem.látky, teplo, chlad)
  - aspirinové a. (i jiné léky)
- profesionální a. aj.

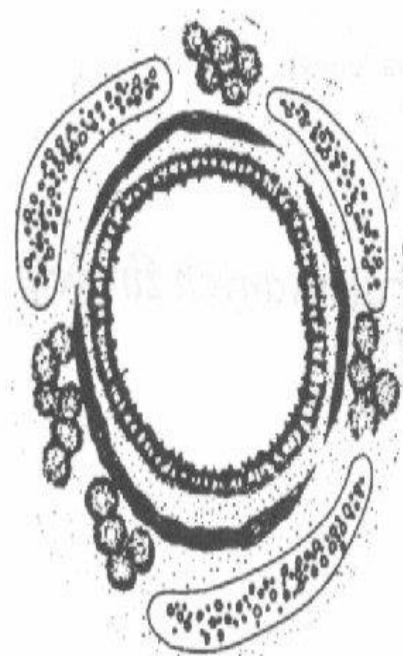
# 1.typ přecitlivělosti (IgE)



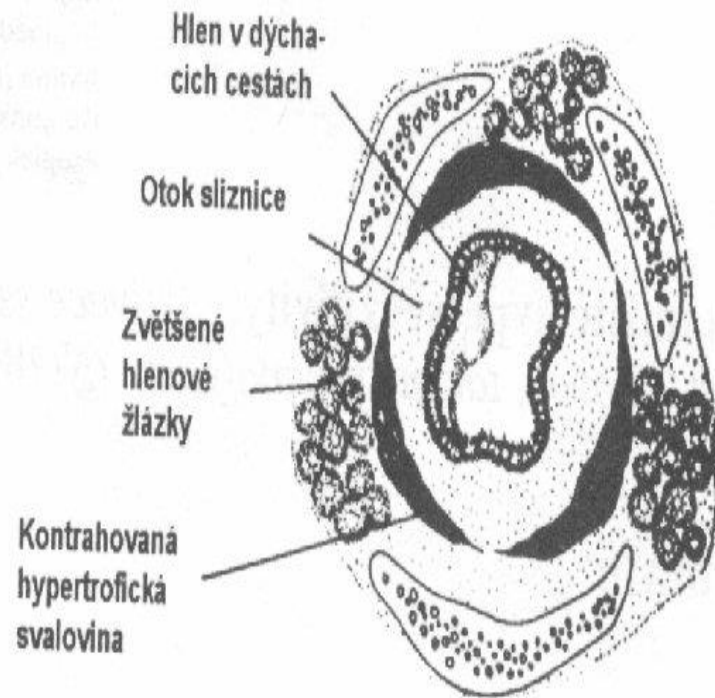
# Astma - fáze záchvatu

- **Časná** (bezprostřední odpověď)
  - do 30 min, mediátory žírných buněk
  - zvýšená **sekrece** hlenu, **otok** sliznice
  - **kontrakce hladkých svalů** (bronchospasmus)
- **Pozdní** odpověď
  - po 4-6 hod, mediátory neutrofilů, eozinofilů
  - zánět, příp. destrukce epitelu





NORMÁLNÍ



ASTMA

Obr. 20.53 Bronchiální stěna u astmatu (schematicky). Hypertrofovaná a kontrahovaná hladká svalovina, edém, hypertrofie hlenových žlázek, sekrece do lumen. (WPF 4.13)



# Astma - plicní funkce

- V klidu
  - někdy i bez známek obstrukce
  - bronchoprovokační testy
- V záchvatu **známky obstrukce**
  - **snížené dynamické ventilační parametry**
  - zvýšené statické parametry
  - zlepšení po podání bronchodilatátorů

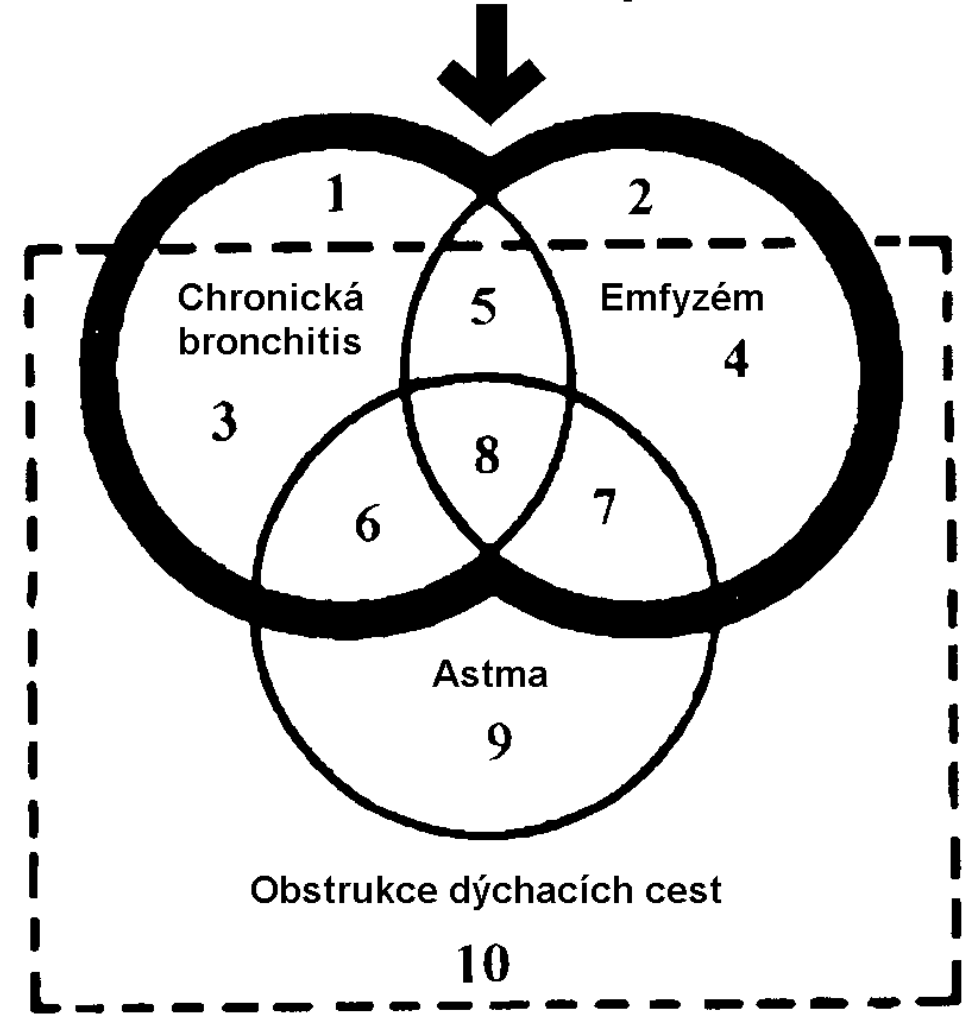
# Léčba astmatu

- odstranění nebo omezení provokujících faktorů
- protizánětlivá terapie
- bronchodilatační terapie
- hyposenzibilizace
- speleoterapie aj.

# Chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN) (COPD)

- 5-20% dospělé populace
- převaha u mužů
- **30 x častější u kuřáků**
- mortalita - 5.místo
- zahrnuje:
  - **chronickou bronchitidu**
  - **plicní emfyzém**

# Chronická obstrukční plicní nemoc



# 1. Chronická bronchitida

Klinická definice:

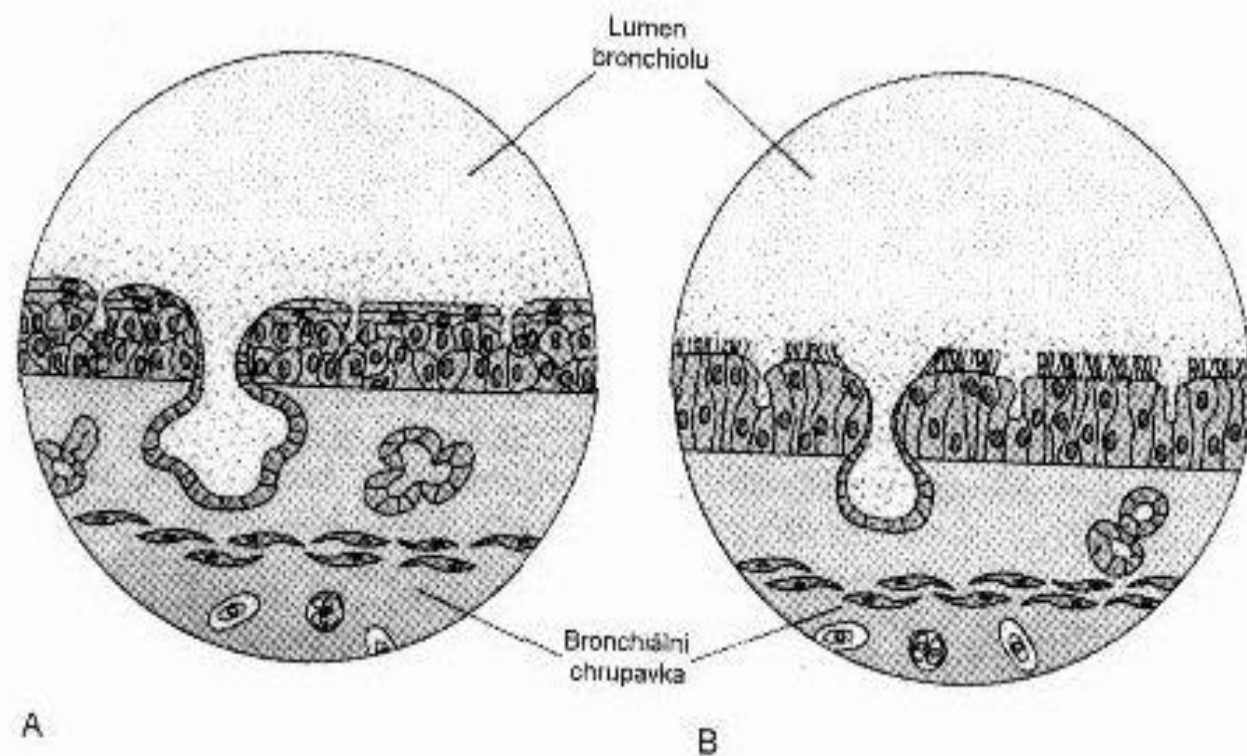
Onemocnění s **hypersekrecí hlenu spolu s chronickým kašlem** nejméně **3 měsíce** v roce, a to **2** po sobě následující **roky**, s vyloučením jiných plicních a kardiálních nemocí.

# Chronická bronchitida - etiologie

- kouření cigaret
- profesionální expozice (oxidy S,N, formaldehyd)
- znečištěné ovzduší
- opakované infekce dýchacích cest

# Chronická bronchitida - morfologie

- hyperplazie a hypertrofie hlenových žlázek
- nadměrné množství **hlenu** v dýchacích cestách  
(příp. uzávěr)
- **zánětlivá infiltrace a otok** stěny dýchacích cest  
(zúžení)



*Obr. 20.48 Sliznice dýchacích cest v normě (vpravo) a u chronické bronchitis (vlevo). U chronické bronchitis je patrný zvýšený počet žlázek v submukóze, zánětlivý otok a nadbytečný hlen, dále metaplázie epitelu k plochému typu. (NOW 12.15)*



# Chronická bronchitida - funkční důsledky

- Zúžení malých dýchacích cest
  - expirační obstrukce -↓ dynamické parametry
  - plicní hyperinflace → ↑RV/TLC
  - ventilačně perfuzní nerovnováha (↓V'/Q')
  - hypoxemie (cyanóza), hyperkapnie, respirační acidóza
  - vazokonstrikce → plicní hypertenze
  - normální difúzní plicní kapacita pro O<sub>2</sub>

## 2. Emfyzém - etiopatogeneze

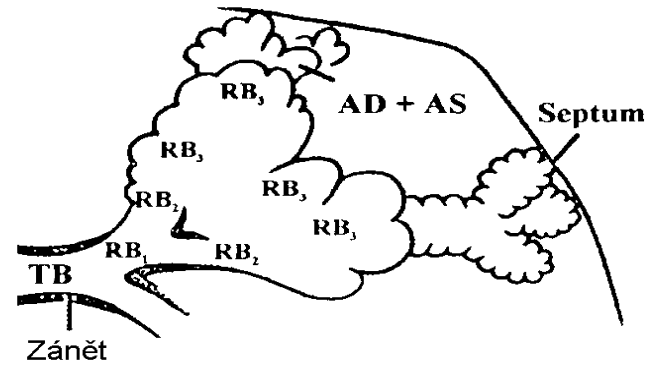
- trvalé rozšíření dýchacích cest distálně od terminálních bronchiolů spojené s úbytkem plicní tkáně
  - nerovnováha **proteáz** a **antiproteáz**
    - ↑**elastáza**  
*kouření* → zánět → neutrofilny
    - ↓**α1-antitrypsin**  
*kouření*  
genetický defekt (homozygoti MM do 40 let)
  - **obstrukce** bronchiolů  
chronická bronchitis (*kouření*)

# Emfyzém - funkční důsledky

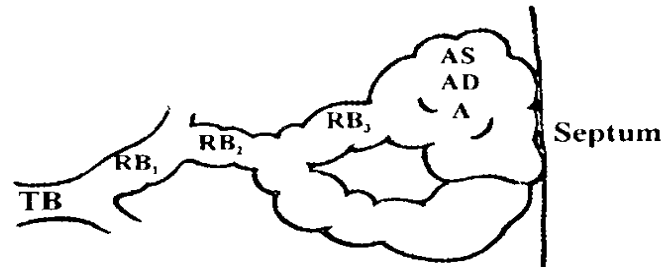
## – Destrukce alveolární stěny

- ztráta plicní elasticity → expirační obstrukce (**↓ dynamické parametry**)
- plicní hyperinflace →  $\uparrow RV/TLC$  (nevýhodné postavení inspiračních svalů)
- redukce kapilárního řečiště
  - $\downarrow$  difúzní plicní kapacita
  - plicní hypertenze
- ventilačně perfuzní nerovnováha ( $\uparrow V'/Q'$ )

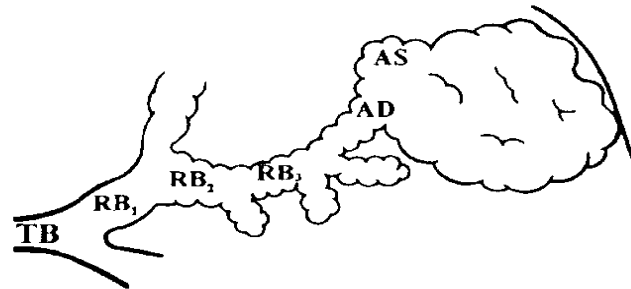
## A. Centrilobulární emfyzém



## B. Panacinární emfyzém



## C. Distální acinární emfyzém



# CHOPN - klinické příznaky

- narůstající dechové obtíže (roky)
- dušnost, produktivní kašel
- v pokročilém stadiu hmotnostní deficit
- poloha v předklonu s podepřenými pažemi
- našpulení rtů při výdechu
- převážně bronchitida x převážně emfyzém

Tab. 10.6. Rozdělení CHOPN

	A. Převážně emfyzém (pink-puffer)	B. Převážně bronchitida (blue-bloater)
<b>Klinický obraz</b>	<p>vyšší věk (nad 60 roků)            astenický habitus            úbytek hmotnosti            růžový – supějící            klidová dušnost            hrudník dlouhý, úzký</p>	<p>nižší věk (pod 40 roků)            pyknický habitus            obezita            cyanotický – kašlající            kašel s hnisavou expektorací            hrudník široký</p>
<b>Rentgenologické vyšetření</b>	<p>zvýšená transparence            bránice nízko uložená            srdce úzké, svisle uložené</p>	<p>zmnožená kresba            bránice v normě            srdce normální velikosti</p>
<b>Funkce</b>	<p>objemy plic zvětšené            celková kapacita a reziduální objem            zvětšený</p>	<p>objemy malé            celková kapacita a reziduální objem            zmenšený</p>

# CHOPN - léčba

- ovlivnění **obstrukce** (bronchodilatancia)
- ovlivnění **infekce** (antibiotika)
- odstranění **hlenu** (expektorancia)
- **oxygenoterapie** (krátkodobá x dlouhodobá)
- rehabilitace, lázně
- chirurgická terapie
- substituce  $\alpha$ 1-antitrypsinu

# Obecné důsledky bronchiální obstrukce

- **ztížený výdech**
- **↓ dynamických ventilačních parametrů**
  - potřeba více času k vydechnutí VC, ↓ $V'_A$
- **hyperinflace plic**
  - ↑ residuální objemy (FRC, RV, TLC)
- **ventilačně perfuzní nerovnováha, ↑ $V_D$ , ↓ $V'_A$**
- **zánik interalveolárních sept**
  - porucha difúze pro kyslík
- **hypoxemie, hyperkapnie, respirační acidóza**



# Restrikční poruchy plic

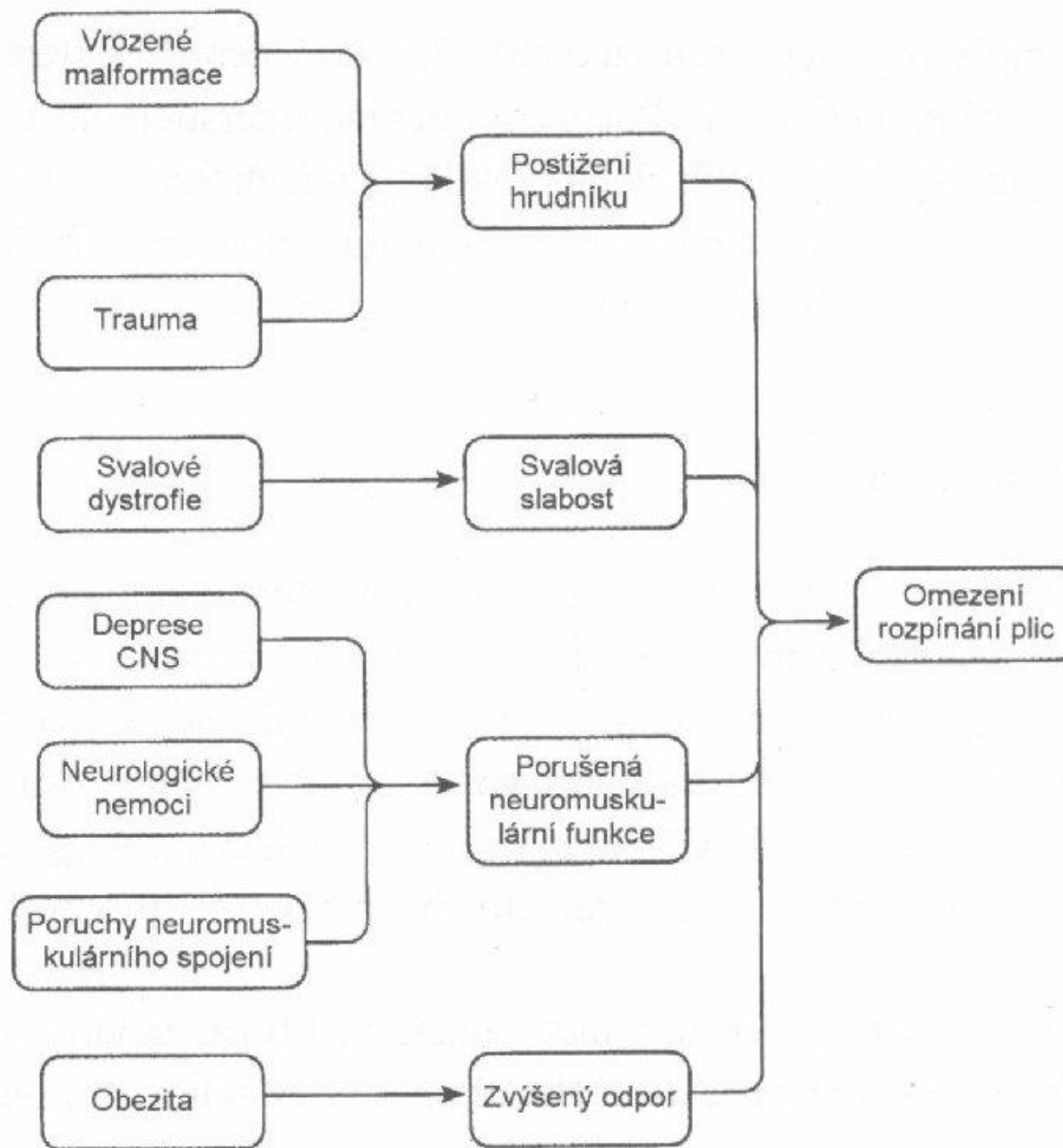
## – Restrikce

- redukce funkčního parenchymu plic nebo omezení dýchacích pohybů

### Omezeno rozpínání plic:

- **z vnějších příčin** (resekce, onemocnění pleury, hrudní stěny, neuromuskulárního aparátu, extrémní obezita.....)
- **změnou plicního parenchymu** (zánět, nádor, intersticiální nemoci plic  
- zpravidla kombinováno s poruchou difúze)

# Restrikční nemoci z vnějších příčin



# Nemoci pleury

## Pneumotorax

- vzduch v pleurálním prostoru (z plic nebo skrz hrudní stěnu) => kolaps plíce
- spontánní - prasknutí malé bubliny na povrchu plic v blízkosti apexu
- tenzní (ventilový) - komunikace mezi plicí a pleurálním prostorem - jednostranná záklopka – vzduch vniká do pleurálního prostoru, ale nemůže zpět => vyžaduje urgentní lékařskou pomoc
- pneumotorax komplikující plicní nemoci (cysty)

# Pleurální výpotek

- tekutina uvnitř pleurálního prostoru – důsledek lokálního nebo systémového onemocnění
- na základě koncentrace bílkovin a LD se dělí:
  - transsudát – např. u chron. srdeční selhání
    - (↑ hydrostatický tlak v kapilárách)
    - hypoalbuminémie (jaterní cirhóza)
    - (↓ onkotický tlak)
  - exsudát – ↑ bílkoviny např. zánět, nádor

# Ostatní vnější příčiny restričních nemocí

- skolióza – vychýlení páteře do boku
- kyfóza – vychýlení páteře dozadu
- neuromuskulární nemoci (myastenia gravis, poliomyelitida)
- extrémní obezita
- resekce plic (nádor)

# Změna plicního parenchymu

## Intersticiální nemoci plic

- tkáň mezi výstelkou alveolu a endotelem plicních kapilár => zmnožení vaziva => zesílení interalveolárních sept => **porucha difúze pro kyslík**
- klesá propustnost pro kyslík a zvyšuje se rozdíl parc. tlaku v alveolech  $PAO_2$  a v plicních kapilárách  $\downarrow PaO_2$
- snižuje se poddajnost (compliance) plic

# Patogeneze intersticiálních nemocí plic

- ukládání fibrinu podél alveolárních stěn => v alveolech se vytvoří tzv. hyalinní membrána
- zánětlivá fáze s infiltrací neutrofilů a později makrofágy a lymfocyty => reparační procesy a fibróza
- proliferace alveolárních buněk, organizace fibrinózního exsudátu, ukládání kolagenu => reparace nebo fibróza

# Důsledky intersticiálních nemocí plic (fibróz)

- hypoxémie ( $\downarrow PaO_2$ ) zejména námahová již v počátečních stádiích s hyperventilací s tendencí k respirační alkalóze ( $\downarrow PaCO_2$ )
- později klidová hypoxémie ( $\downarrow PaO_2$ ) a hypoventilace (snížená poddajnost plic => malé dechové objemy)
- plicní hypertenze (vysoký tlak v malém oběh) => cor pulmonale



# Nozologické jednotky

## Idiopatická plicní fibróza

- neznáme příčinu (imunitní reakce?)

## Sarkoidóza

- typická granulomatózní tkáň v různých orgánech, etiologie imunitní?

## Profesionální intersticiální nemoci

- expozice dráždivým látkám po dlouhá časová období (prach, plyn, léky, infekce)

# Profesionální intersticiální nemoci

## NEMOC

Asbestóza

Aspergilóza

Berylióza

Plíce chovatelů ptáků

Pneumokonióza uhlokopů

Farmářská plíce

Silikóza

Svářečská plíce

## ČINITEL

Asbest

Spóry plísní rodu *Aspergillus*

Sloučeniny berylia

Ptačí antigeny

Uhelný prach (sloučeniny Si)

Plísně ze sena a obilí

Sloučeniny křemíku

Oxidy železa a jiné látky

# Klinické projevy

## Subjektivní

Dyspnoe

Kašel

## Objektivní

Tachypnoe

Chrůpky

Cyanóza

Cor pulmonale

## Laboratorní data

Zvýšený  $P(A-a)O_2$

Normální nebo nízký  $PaCO_2$

EKG- cor pulmonale

Spirometrie - restriční typ

(↓**VC**, **normál FEV1/FVC**)

Snížená difuzní kapacita plic  
pro oxid uhelnatý

# Terapie

- závisí na etiologii, pokud je známa
- zastavit expozici škodlivým vdechovaným činitelům
- proti infekci antibiotika
- u nejasné etiologie (sarkoidóza, idiop. plicní fibróza) kortikosteroidy
- podávání kyslíku

# Obecné důsledky restrikce

- ↓ **statických ventilačních parametrů**
  - ↓ objemy (FRC, TLC, FVC)
- **kompensace hyperventilací**
- hypokapnie (↓PaCO<sub>2</sub>), respirační alkalóza
- námahová hypoxémie (↓PaO<sub>2</sub>) později i klidová

# **Vlastní spirometrické vyšetření**

# 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)

# Spirometrické veličiny

se dělí na

***Statické***

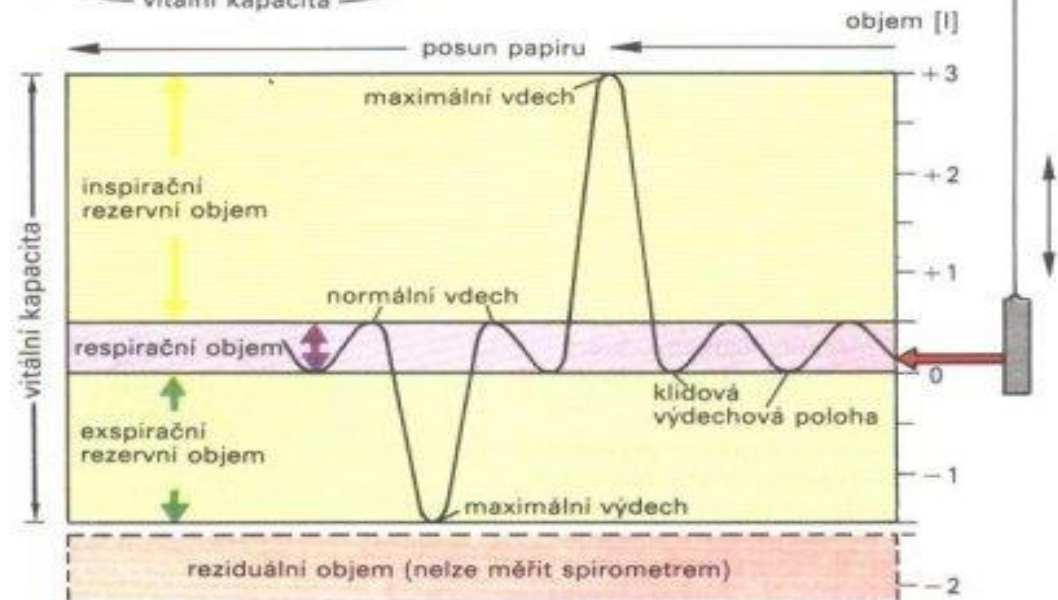
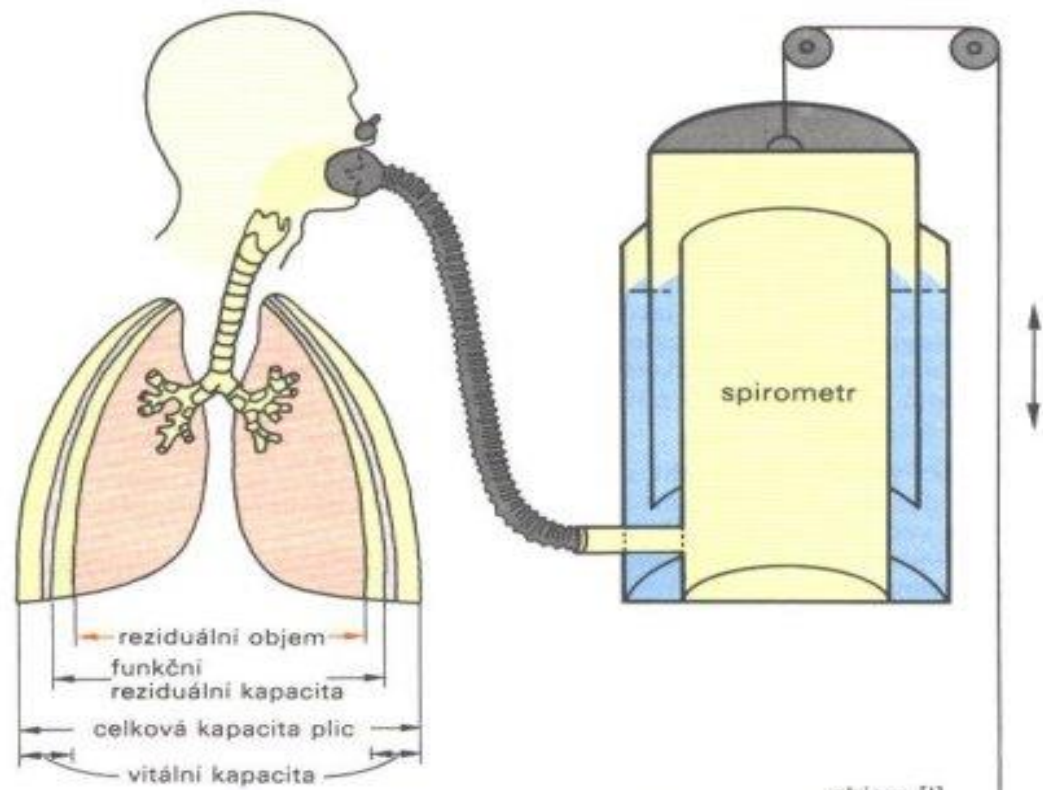
= na čase nezávislé

***Dynamické***

= na čase závislé

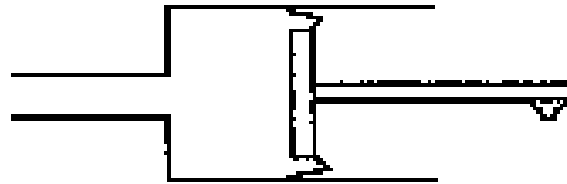
Čas může být obsažen v  
definici veličiny ( $FEV_1$ ), nebo se  
uplatňovat jako podmínka  
měření ( $FEVC$ )



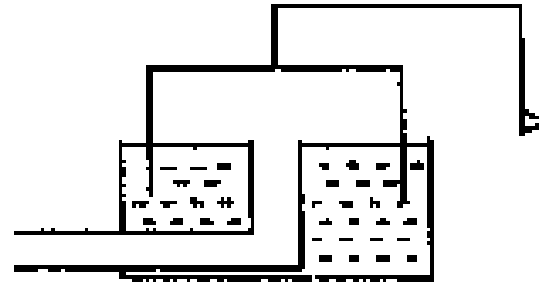


# Principy spirometrů

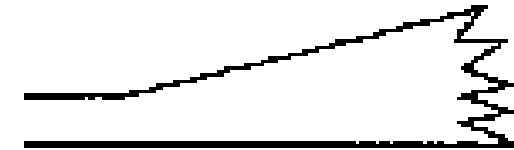
Rolling Seal



Water Sealed

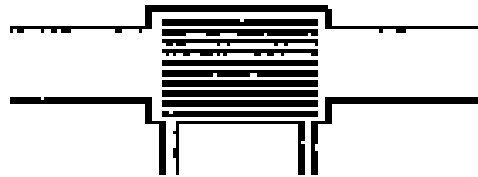


Bellows

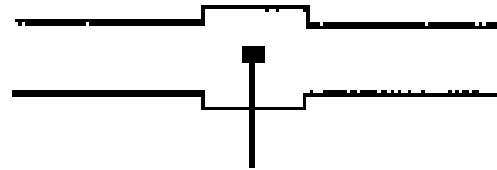


## Flow Sensors

Pneumotach



Hot-Wire



Turbine



# Terminologie

Statická/ Dynamická	Inspirační/ Expirační	Název parametru
-/F („forced“)	<b>I/E</b>	Objemy, kapacity Např. VC

Pozn. Kapacita je objem, který je definován jako součet několika objemů.

# Spirometrie - statické plicní objemy

- **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  $TLC-RV$
- **Dechový objem** cca 0,5 l

# Spirometrie – dynamické parametry

- **FVC** - usilovná vitální kapacita („co nejvíce a co nejrychleji“)
- **FEV<sub>1</sub>** - expirační sekundová kapacita
- **FEV<sub>1</sub>/FVC** - poměr sekundové kapacity k FVC
- **FEF<sub>25-75%</sub>** - průměrná rychlost toku ve střední polovině FVC
- **PEF** - maximální výdechová rychlost
- **V<sub>max 50%</sub>, V<sub>max 25%</sub>** - maximální tok po vydechnutí 50% resp. 75% vitální kapacity

# Metody stanovení dynamických parametrů

*Měří se:*

Průtok jako funkce času, kdy čas je funkcí objemu (pomocí pneumotachografické hlavice).

*Název: **flow - volume***

Objemy počítány integrací průtoku podle času.

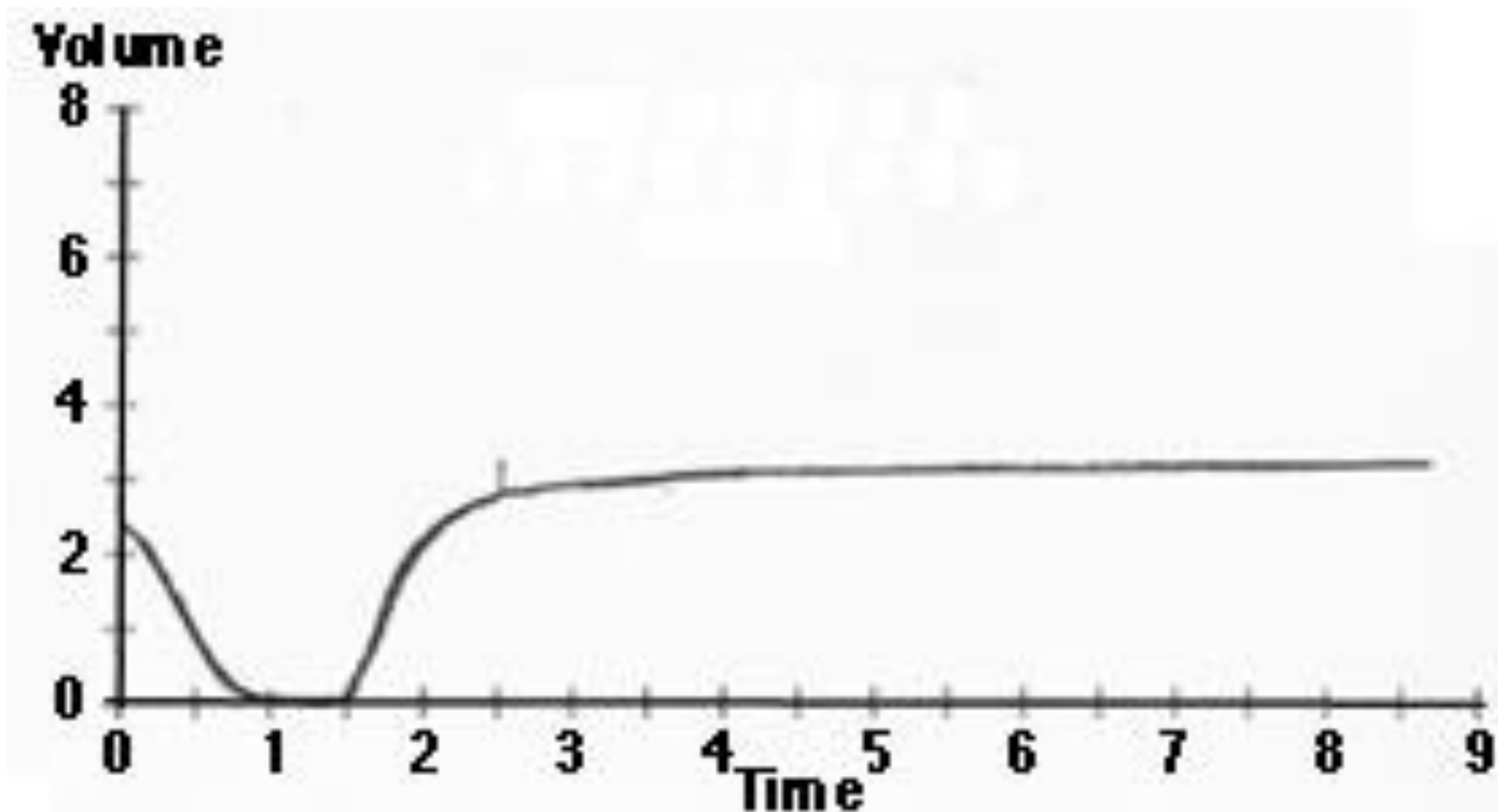
*Měří se:*

Objem jako funkce času (např. pomocí spirometrického zvonu)

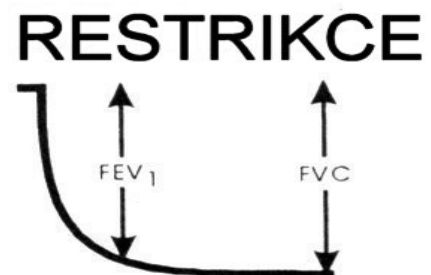
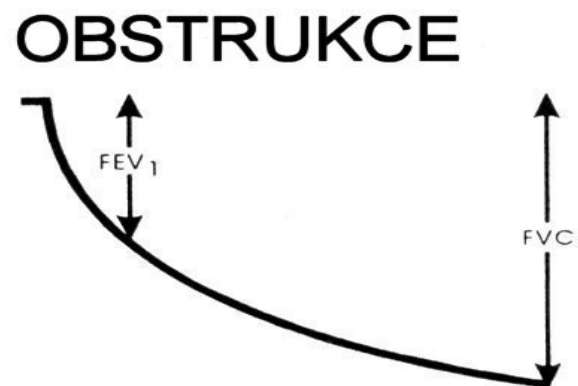
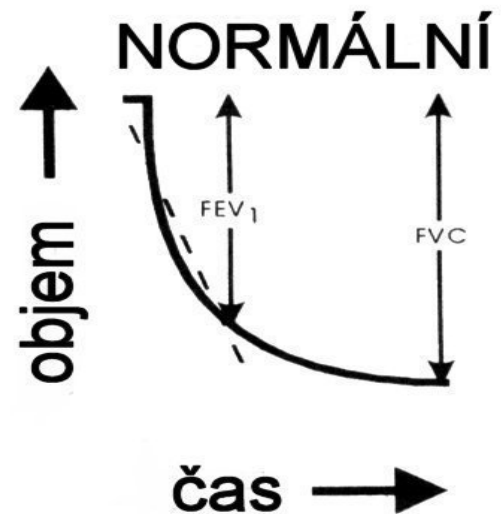
*Název: **volume - time***

Průtoky počítány derivací objemu podle času.

## Křivka objem - čas

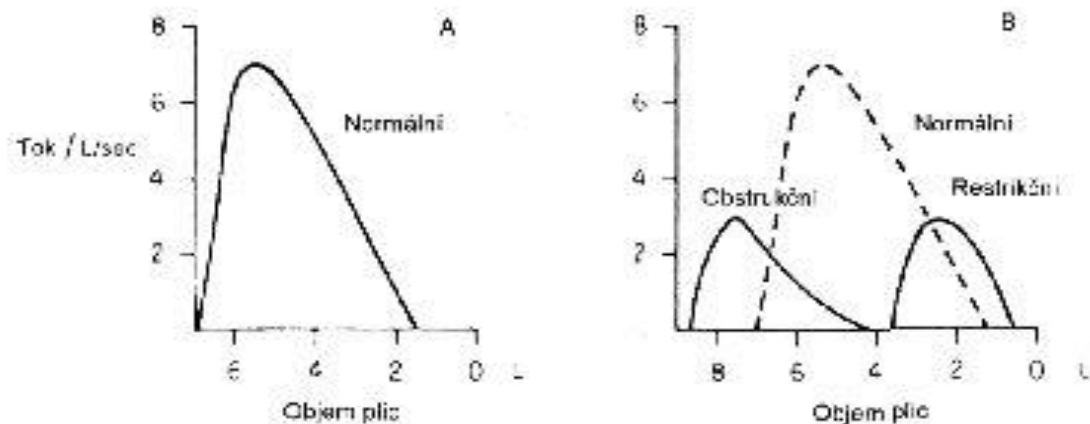


# Křivka objem - čas

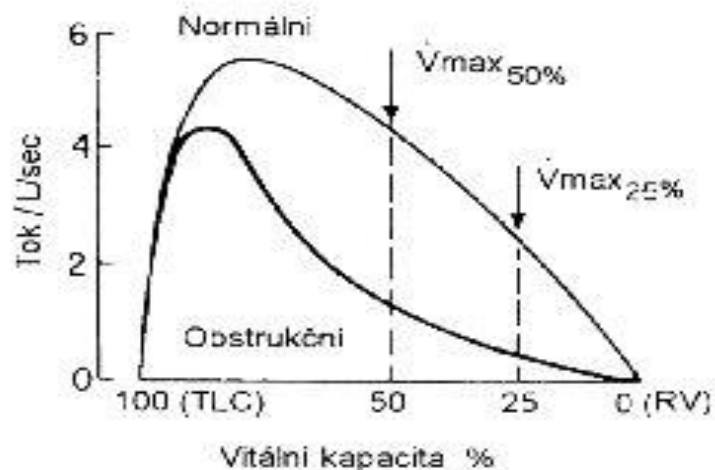




# Smyčka průtok/objem

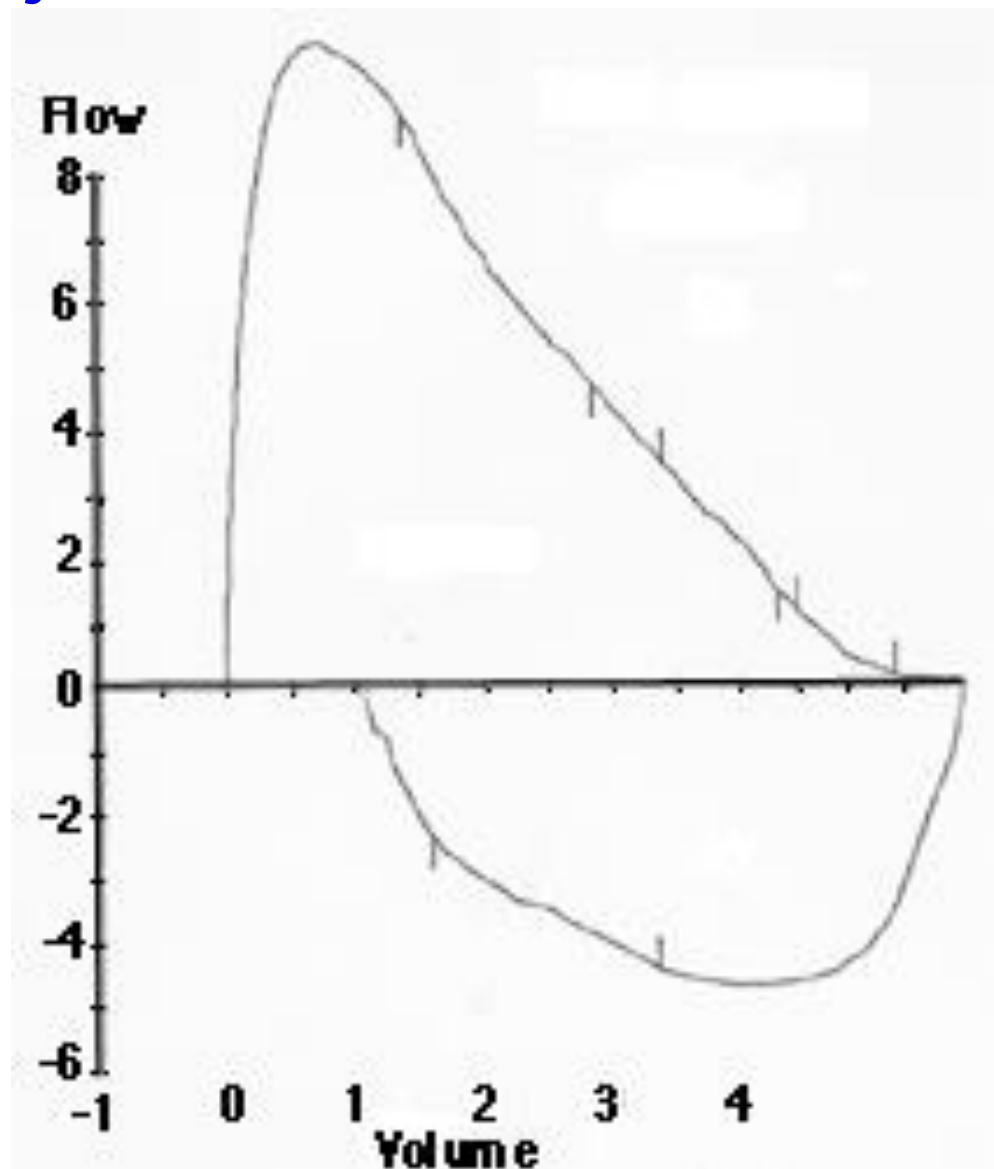


Obr. 20.35 Expirační křivky tok - objem u obstrukčních a restrikčních nemocí. (WPF 1.5)



Obr. 20.36 Příklad expirační křivky tok - objem u chronické obstrukční plicní nemoci. Křivka má typický konkávní tvar. Šipky ukazují maximální tok  $V_{max}$  poté, co bylo vydechnuto 50% nebo 75% vitální kapacity (= zbyvá 25% TLC). (WPF 1.8)

## Křivka průtok-objem



# Hodnocení ventilačních poruch

- *Typ poruchy*: obstrukční, restriční, smíšená
- *Stupeň*: lehký (<60,80), středně těžký (<40,60)  
těžký méně než 40 [% referenční hodnoty]
- *Reverzibilita*: reverzibilní, ireverzibilní, částečně  
reverzibilní
- *Přítomnost respirační insuficience* hypoxemie,  
hyper(hypo) kapnie

# Spirometrie u obstrukčních poruch

## – Dynamické ventilační parametry ↓

– objemy při usilovném výdechu

↓ FEV1, ↓ FEV1/FVC (%), norma 80 %, FVC ±↓

– průtoky (rychlosti)

↓ PEF, ↓ MEF 50%, ↓ MEF 75%, ↓ MEF 25%

↓ FEF<sub>25-50%</sub>

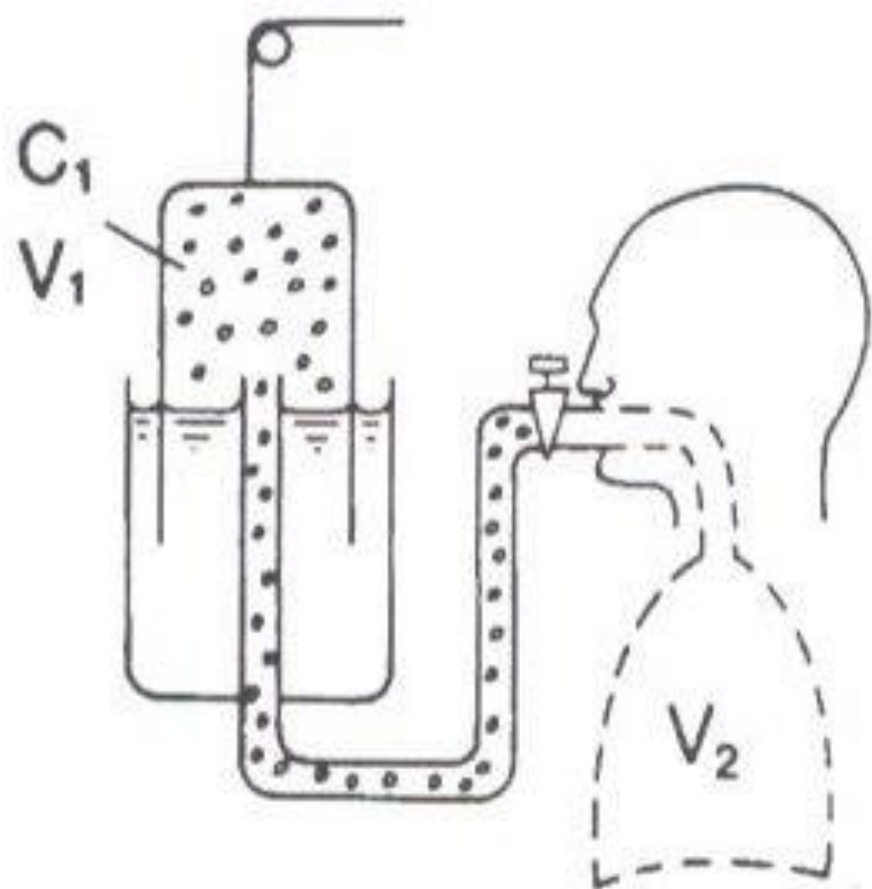
## – Statické plicní objemy ↑

– reziduální objemy

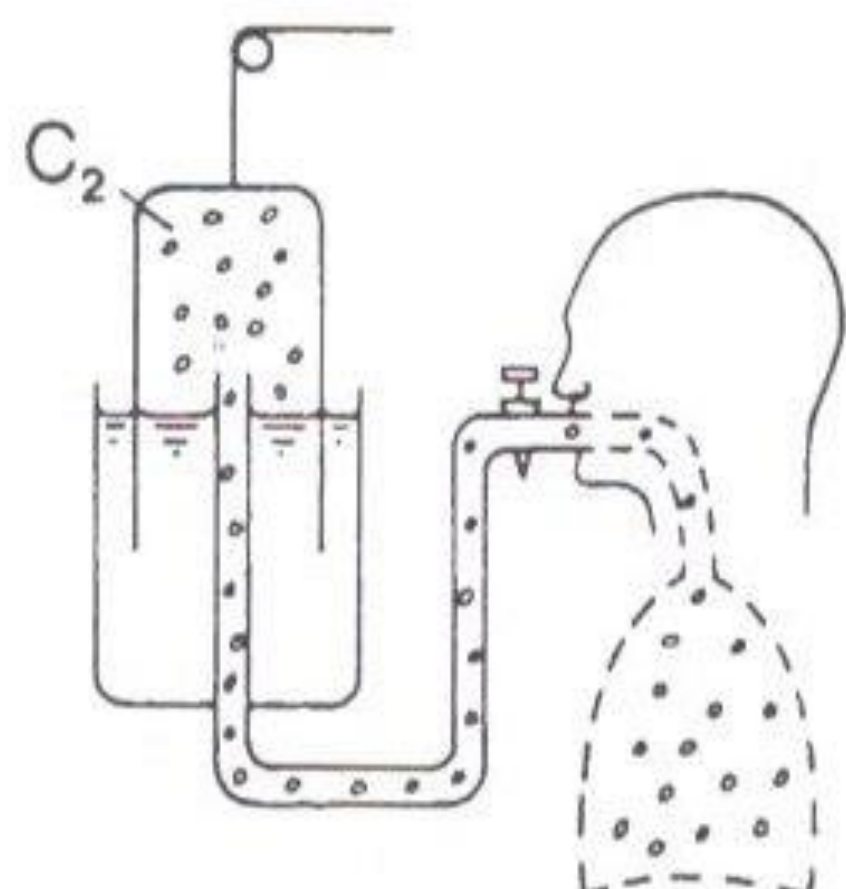
↑ RV, ↑ FRC, ↑ TLC

# Spirometrie u restričních poruch

- **Statické** plicní objemy ↓
  - reziduální objemy
    - ↓ RV, ↓ FRC, ↓ TLC
- **Dynamické** ventilační parametry ± ⇅
  - **objemy** při usilovném výdechu
    - ↓ FEV1, ± ↑ FEV1/FVC (%), norma 80 %, FVC ↓
  - **průtoky** (rychlosti)
    - ↓ PEF, ↓ MEF 50%, ↓ MEF 75%, ↓ MEF 25%
    - ± ↑ FEF<sub>25-50%</sub>



Před ekvilibrací



Po ekvilibraci

$$C_1 * V_1 = C_2 * (V_1 + V_2)$$

## Obstrukční poruchy

FEV1	> 80% predicted	normal
	65 - 80%	mild
	50 - 65%	moderate
	< 50%	severe

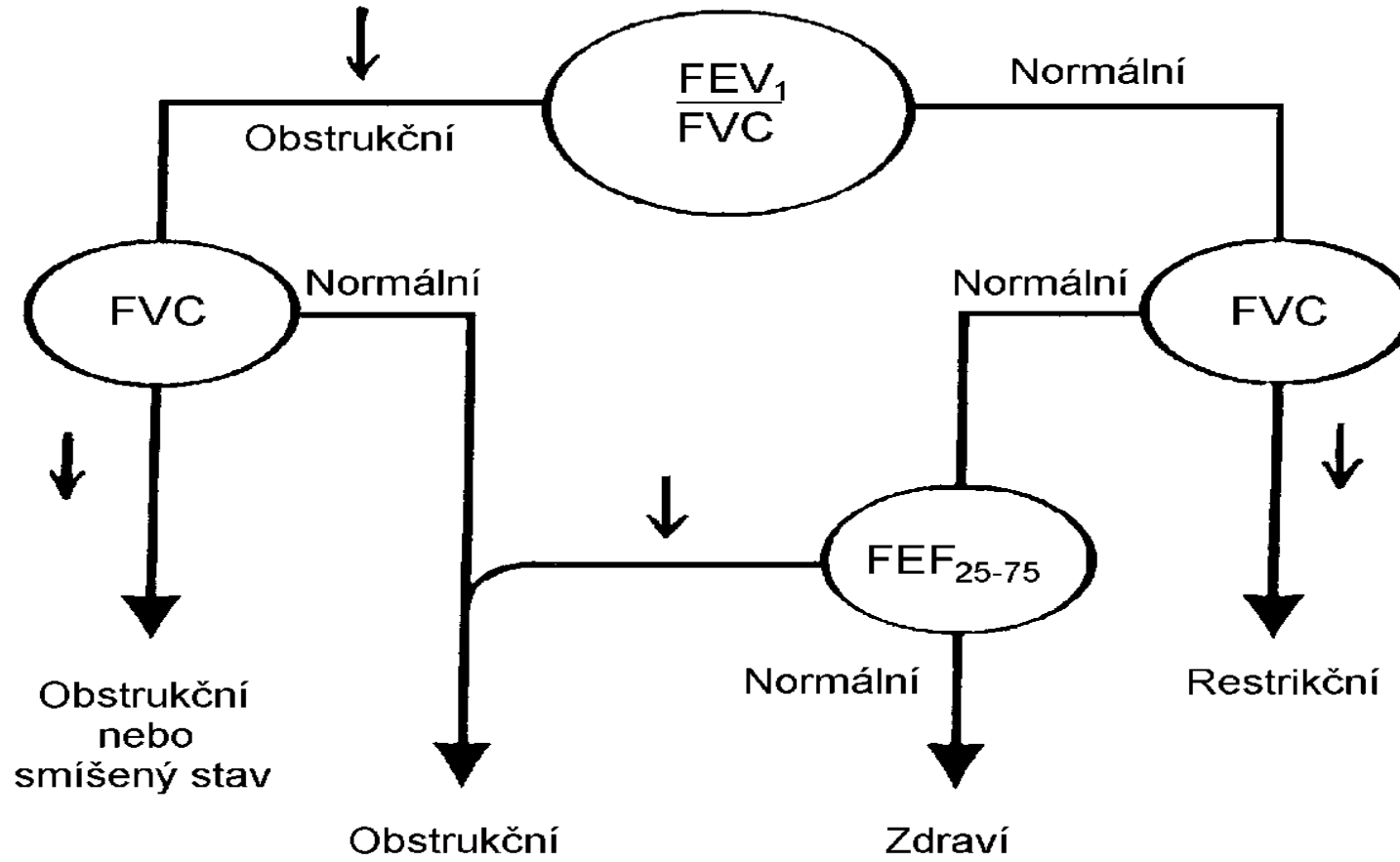
	Meas	Pred	%Pred
FVC	2.63	3.11	84
FEV1	1.58	2.28	69
FEV1/FVC	60	73	
FEF25-75	0.59	2.56	23
PEF	4.90	5.78	85

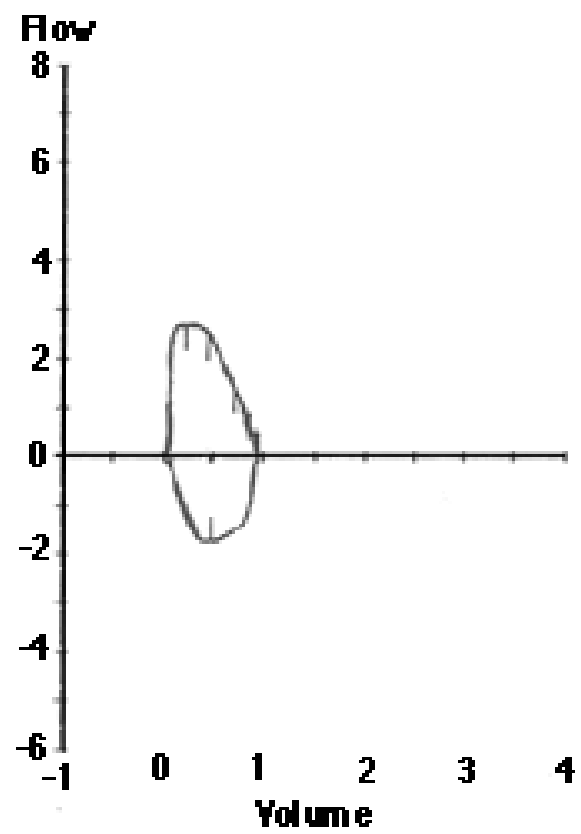
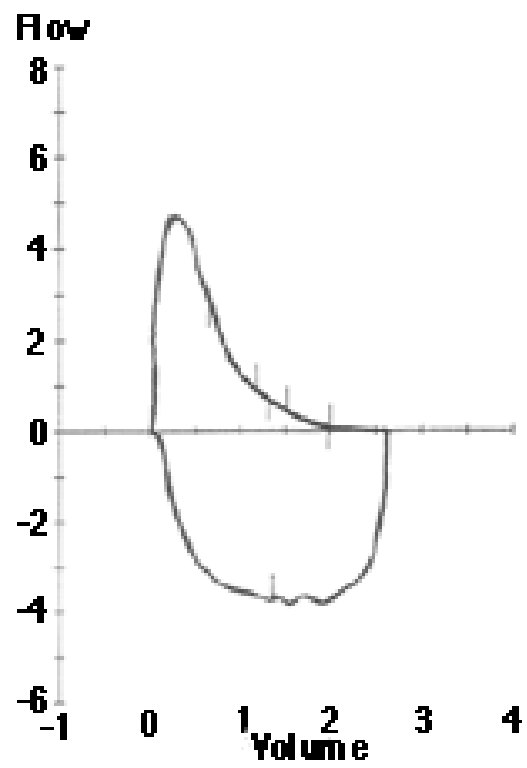
## Restrikční choroby

	Meas	Pred	%Pred
FVC	0.96	2.75	35
FEV1	0.94	1.90	49
FEV1/FVC	98	69	
FEF25-75	2.25	2.11	107
PEF	2.98	5.40	55



# Algoritmus pro interpretaci spirometrie





M U N I

M E D