

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_Tdechový objem (tidal volume)

V_Dmrtvý prostor (dead volume)

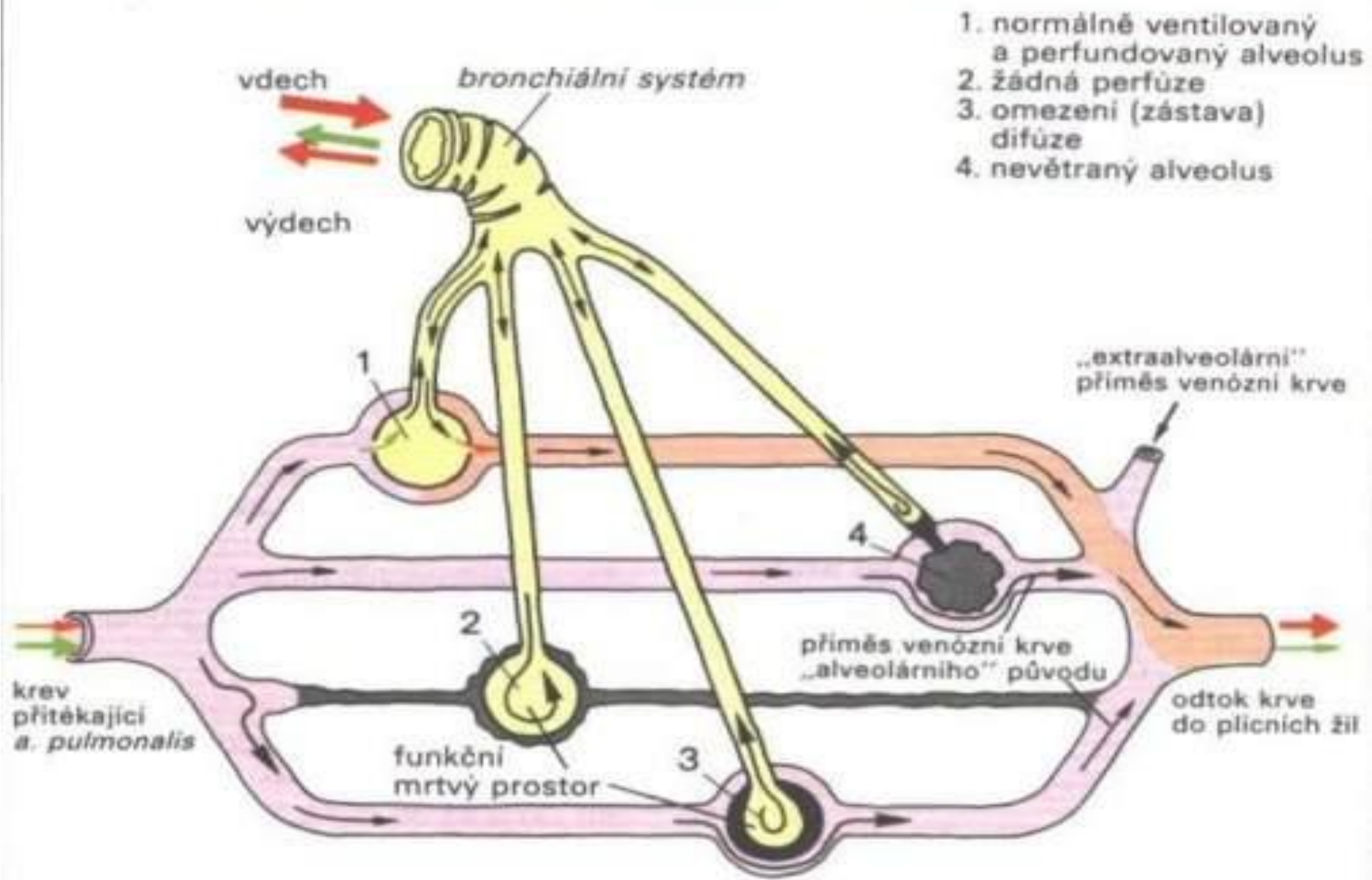
f dechová frekvence

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

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)
 - $\uparrow \dot{V} / \dot{Q} \rightarrow \uparrow \text{mrtvý prostor} \rightarrow \uparrow \text{PaCO}_2$
 - $\downarrow \dot{V} / \dot{Q} \rightarrow \uparrow \text{zkrat} \rightarrow \downarrow \text{PaO}_2$



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

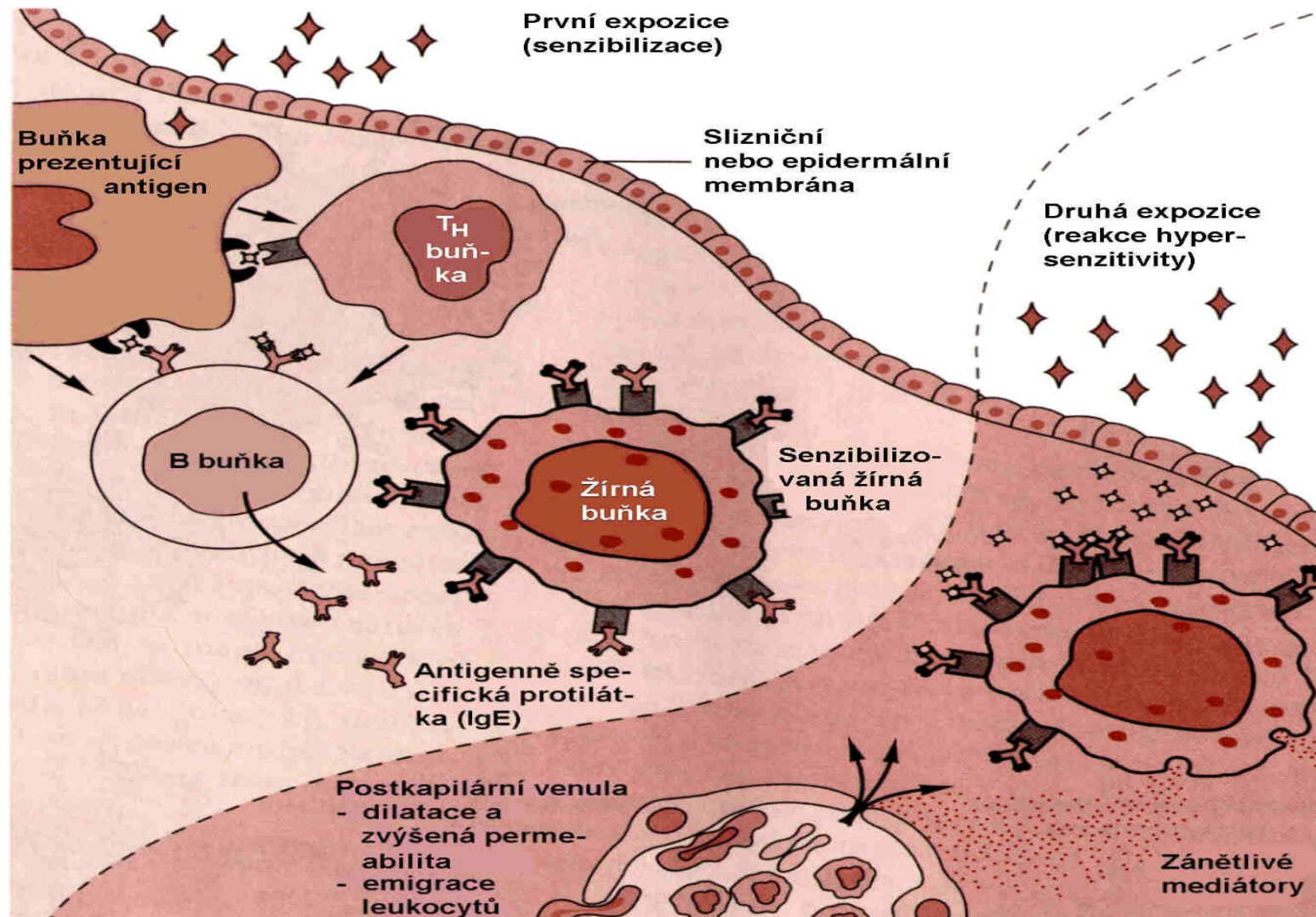
Astma - klinické příznaky

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

Astma - dělení

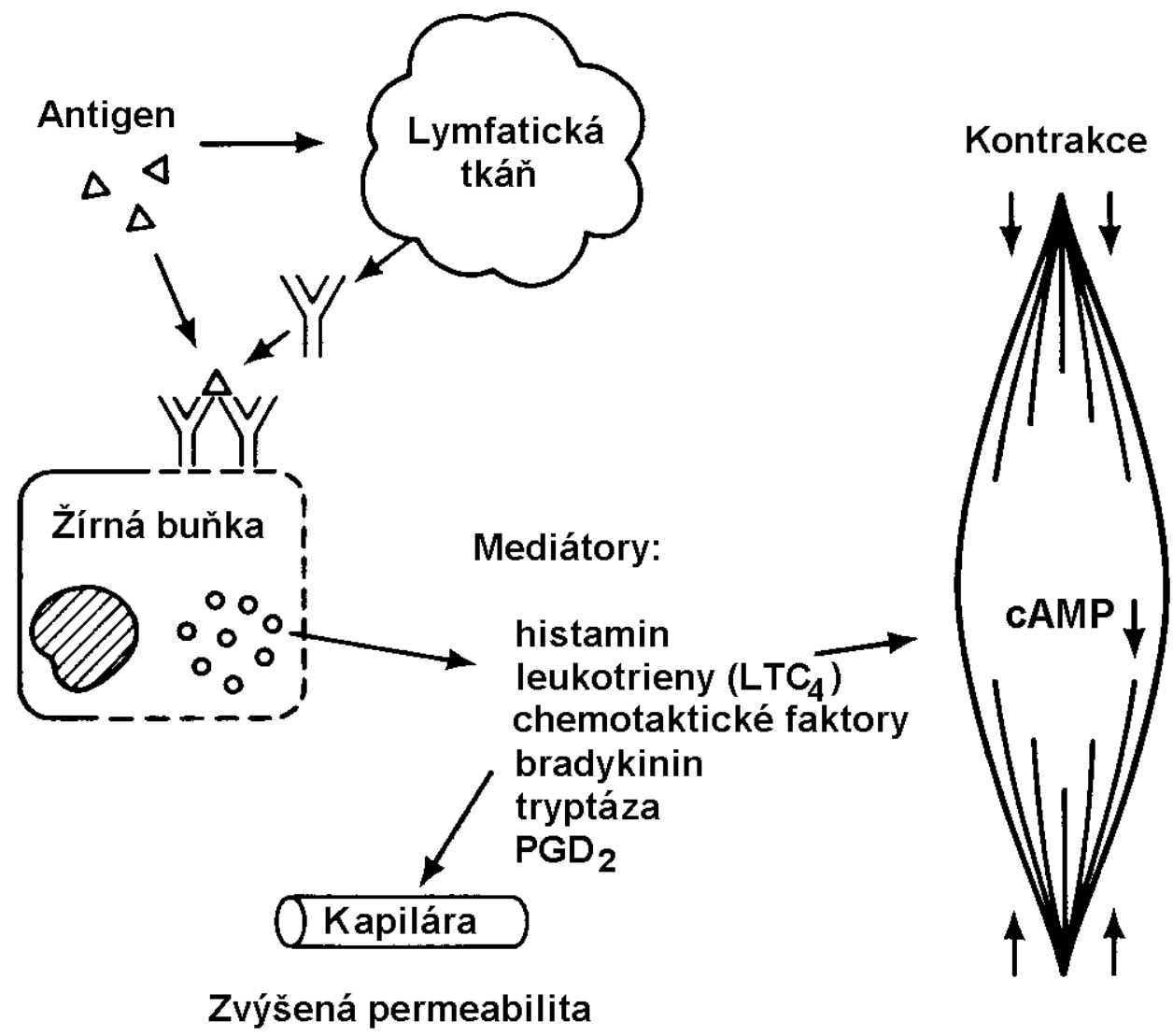
- **Atopické (alergické) astma**
 - genetická predispozice + alergen, I.typ přecitl.
- **Neatopické (nealergické) astma**
 - endogenní a. (bez známé příčiny)
 - námahové a. (tělesná zátěž)
 - iritační a. (chem.látky, teplo, chlad)
 - aspirinové a. (i jiné léky)
- profesionální a. aj.

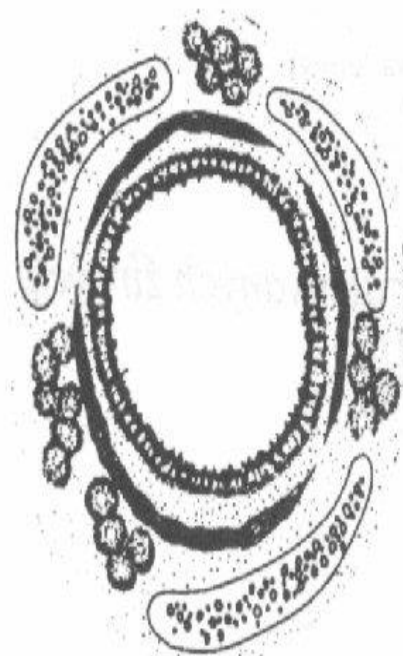
1.typ přecitlivělosti (IgE)



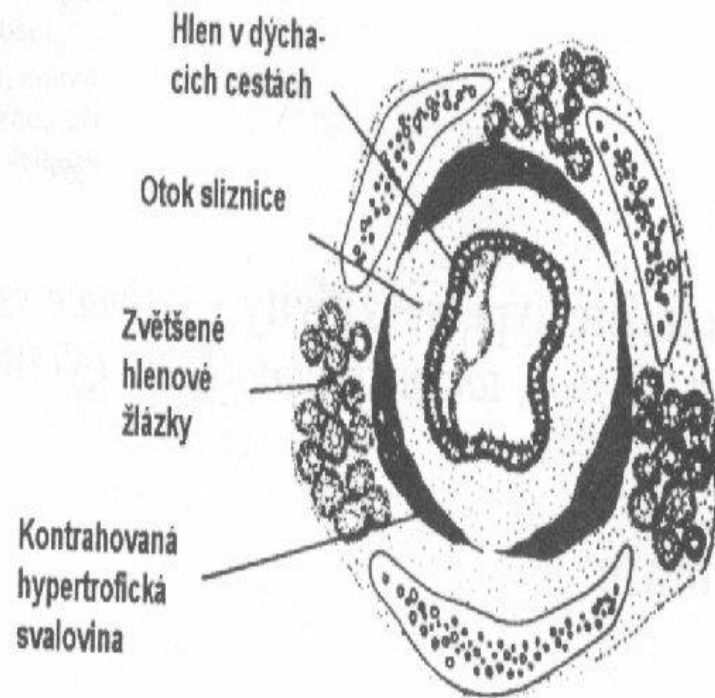
Astma - fáze záchvatu

- **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

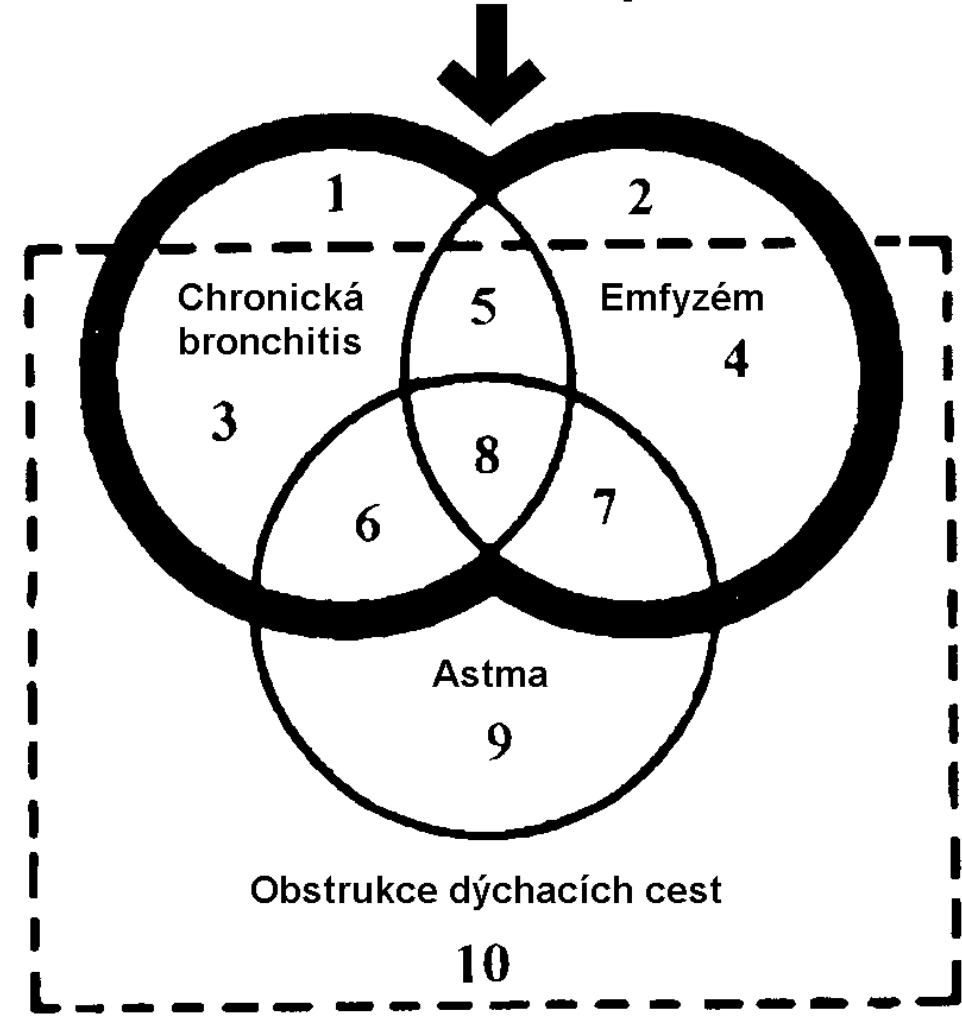
Léčba astmatu

- 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:

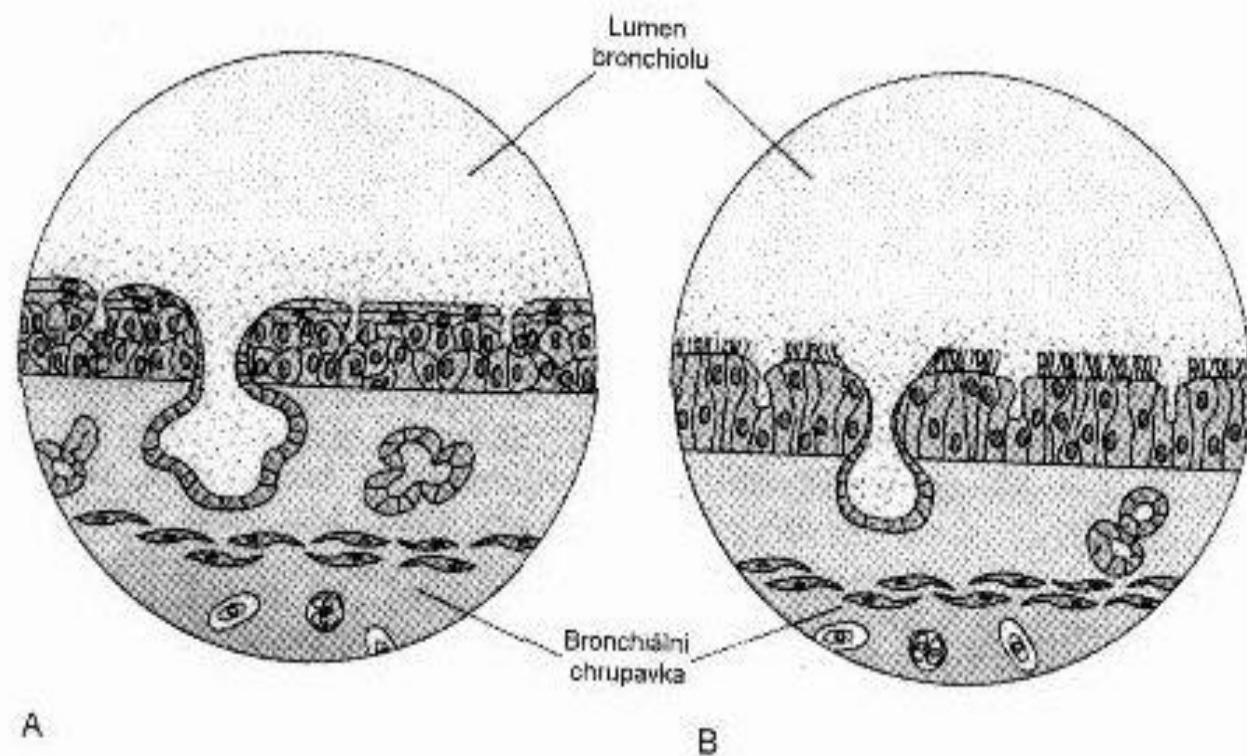
Onemocnění s **hypersekrecí hlenu spolu s chronickým kašlem** nejméně **3 měsíce** v roce, a to **2** po sobě následující **roky**, s vyloučením jiných plicních a kardiálních nemocí.

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 O₂

2. Emfyzém - etiopatogeneze

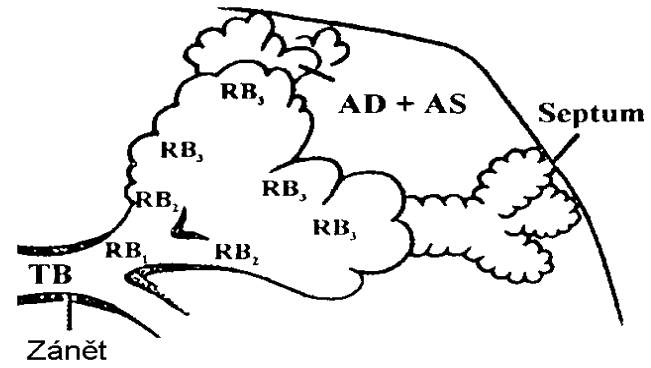
- trvalé rozšíření dýchacích cest distálně od terminálních bronchiolů spojené s úbytkem plicní tkáně
 - nerovnováha **proteáz** a **antiproteáz**
 - ↑**elastáza**
kouření → zánět → neutrofilly
 - ↓**α1-antitrypsin**
kouření
genetický defekt (homozygoti MM do 40 let)
 - **obstrukce** bronchiolů
chronická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

Emfyzém - funkční důsledky

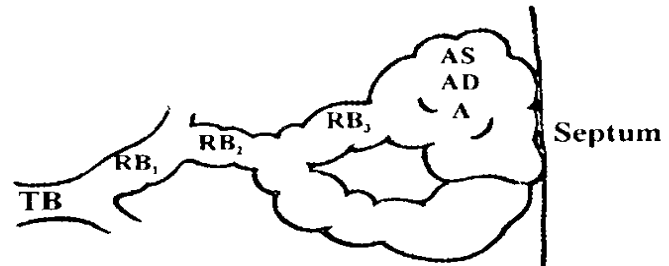
– Destrukce alveolární stěny

- 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 ($\uparrow V'/Q'$)

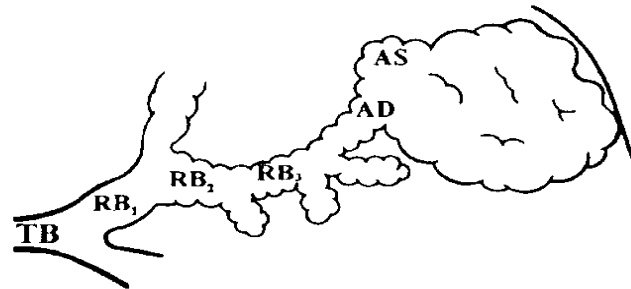
A. Centrilobulární emfyzém



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)
Klinický obraz	vyšší věk (nad 60 roků) astenický habitus úbytek hmotnosti růžový – supějící klidová dušnost hrudník dlouhý, úzký	nižší věk (pod 40 roků) pyknický habitus obezita cyanotický – kašlající kašel s hnisavou expektorací hrudník široký
Rentgenologické vyšetření	zvýšená transparence bránice nízko uložená srdce úzké, svisle uložené	zmnožená kresba bránice v normě srdce normální velikosti
Funkce	objemy plic zvětšené celková kapacita a reziduální objem zvětšený	objemy malé celková kapacita a reziduální objem zmenšený

CHOPN - léčba

- ovlivnění **obstrukce** (bronchodilatancia)
- ovlivnění **infekce** (antibiotika)
- odstranění **hlenu** (expektorancia)
- **oxygenoterapie** (krátkodobá x dlouhodobá)
- rehabilitace, lázně
- chirurgická terapie
- substituce α 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

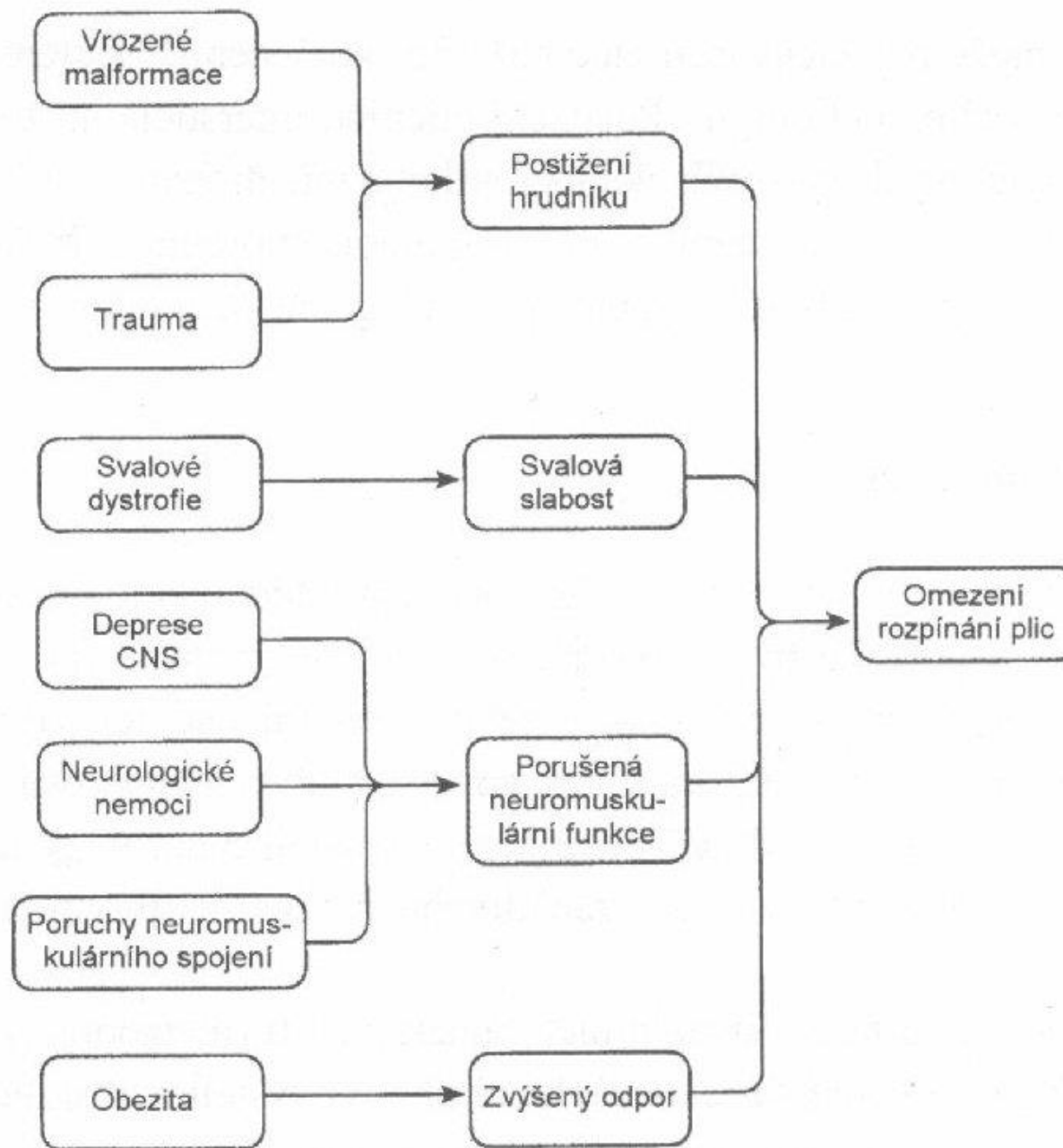
– Restrikce

- 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	ČINITEL
Asbestóza	Asbest
Aspergilóza	Spóry plísní rodu <i>Aspergillus</i>
Berylióza	Sloučeniny berylia
Plíce chovatelů ptáků	Ptačí antigeny
Pneumokonióza uhlokopů	Uhelný prach (sloučeniny Si)
Farmářská plíce	Plísně ze sena a obilí
Silikóza	Sloučeniny křemíku
Svářečská plíce	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 (↓PaCO₂), respirační alkalóza
- námahová hypoxémie (↓PaO₂) 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

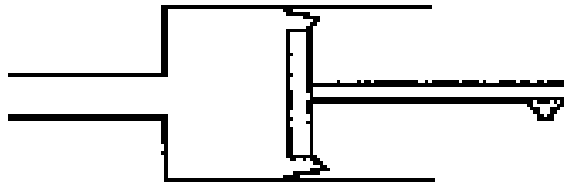
= na čase závislé

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

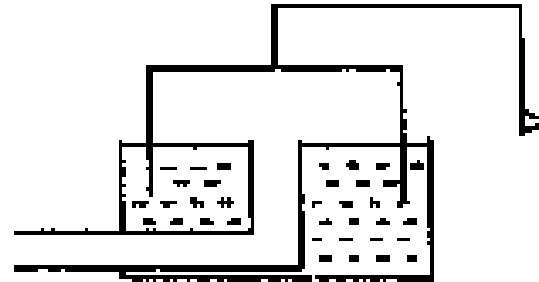


Principy spirometrů

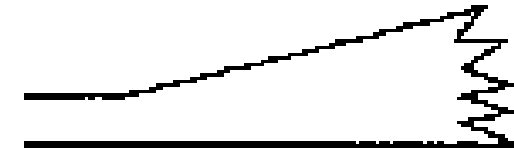
Rolling Seal



Water Sealed

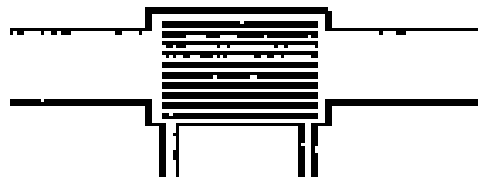


Bellows

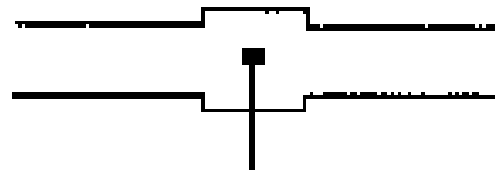


Flow Sensors

Pneumotach



Hot-Wire



Turbine



Terminologie

Statická/ Dynamická	Inspirační/ Expirační	Název parametru
-/F („forced“)	I/E	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“)
- **FEV₁** - expirační sekundová kapacita
- **FEV₁/FVC** - poměr sekundové kapacity k FVC
- **FEF_{25-75%}** - průměrná rychlost toku ve střední polovině FVC
- **PEF** - maximální výdechová rychlost
- **V_{max 50%}, V_{max 25%}** - 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.

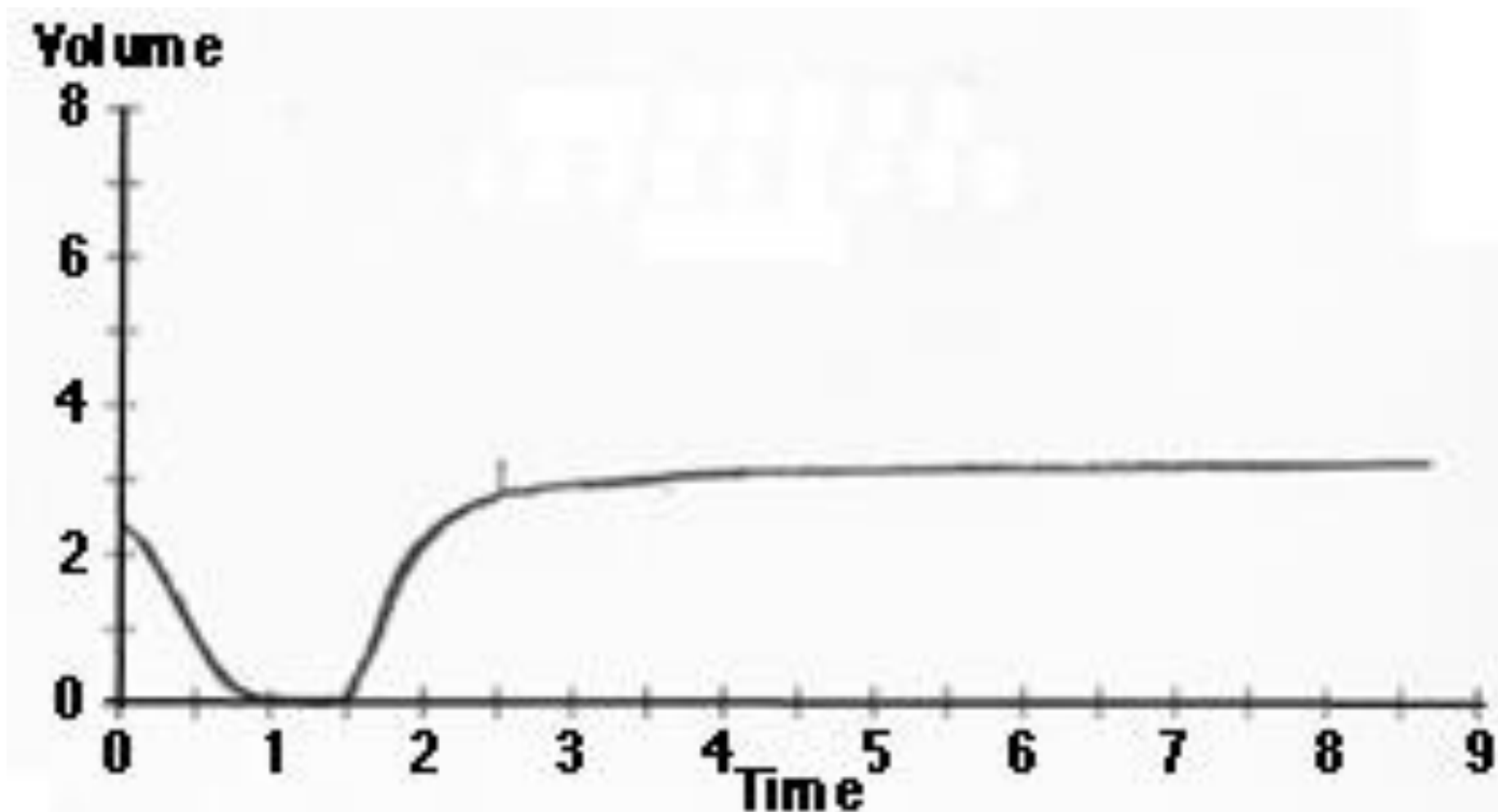
Měří se:

Objem jako funkce času (např. pomocí spirometrického zvonu)

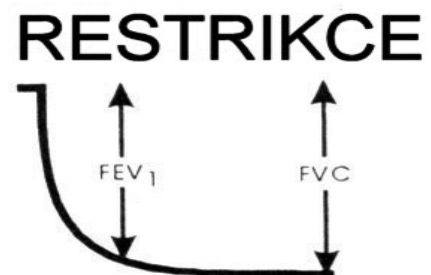
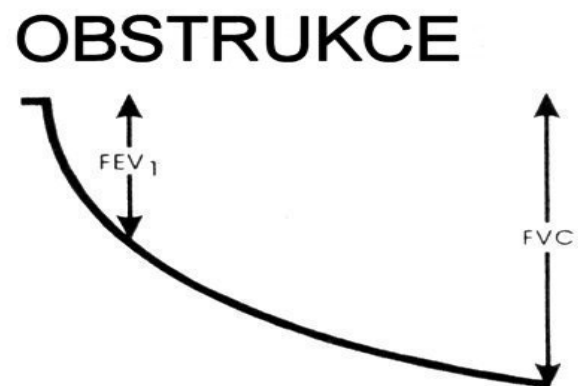
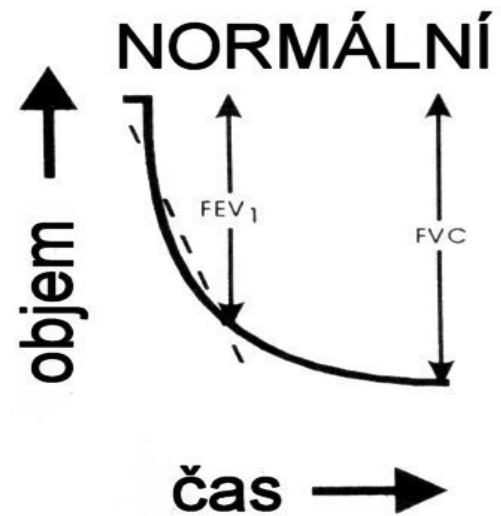
*Název: **volume - time***

Průtoky počítány derivací objemu podle času.

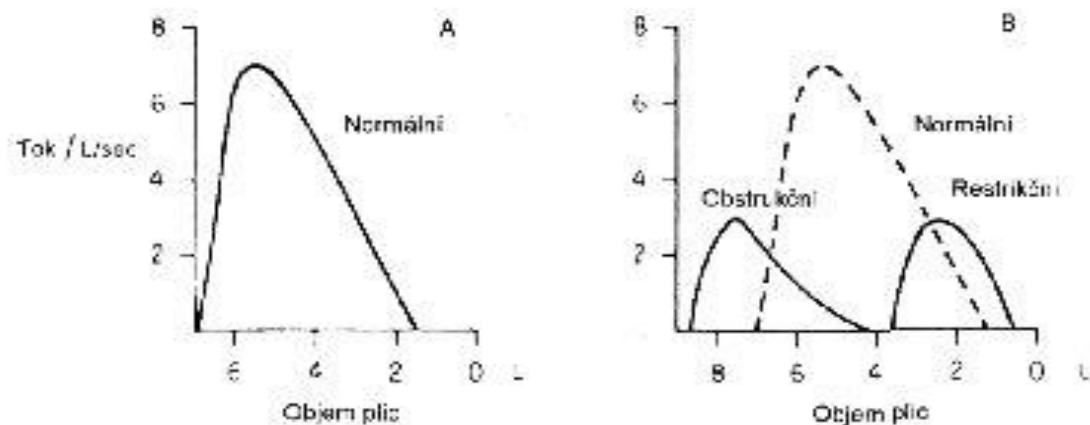
Křivka objem - čas



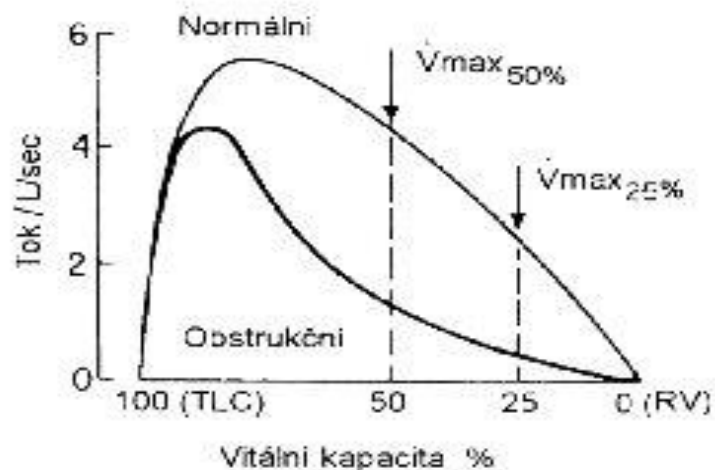
Křivka objem - čas



Smyčka průtok/objem

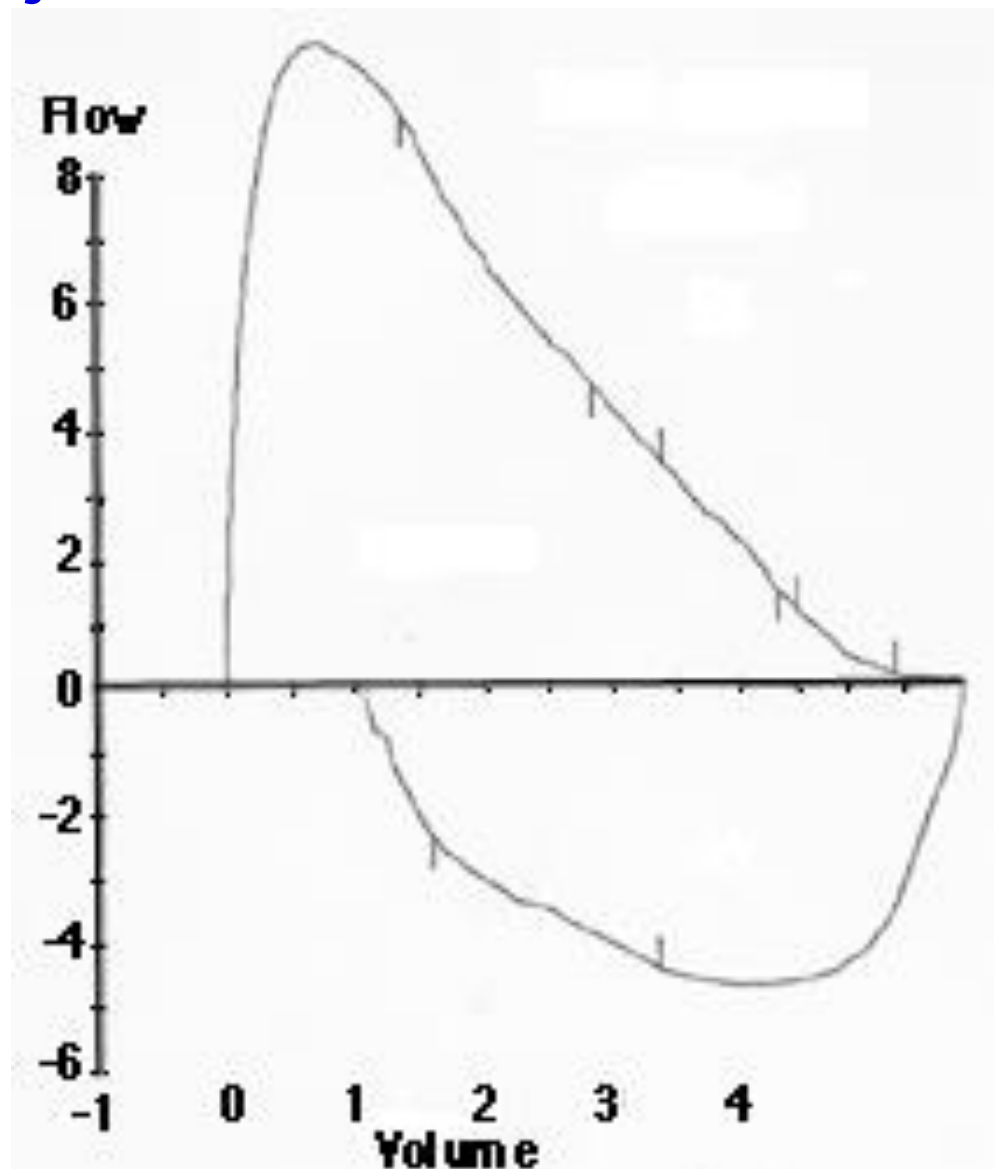


Obr. 20.35 Expirační křivky tok - objem u obstrukčních a restrikčních nemocí. (WPF 1.5)



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_{25-50%}

– 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_{25-50%}

Obstrukční poruchy

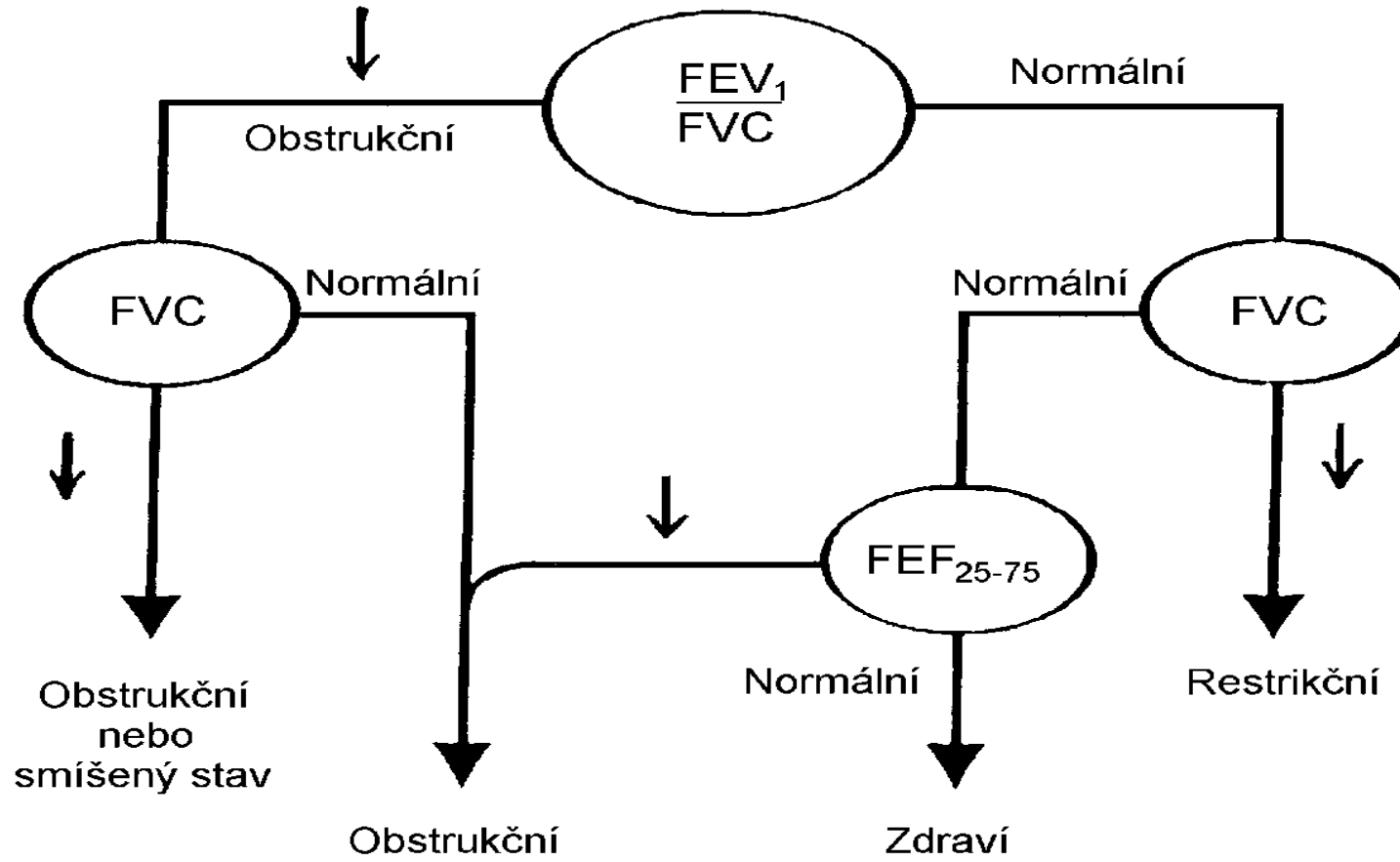
FEV1	> 80% predicted	normal
	65 - 80%	mild
	50 - 65%	moderate
	< 50%	severe

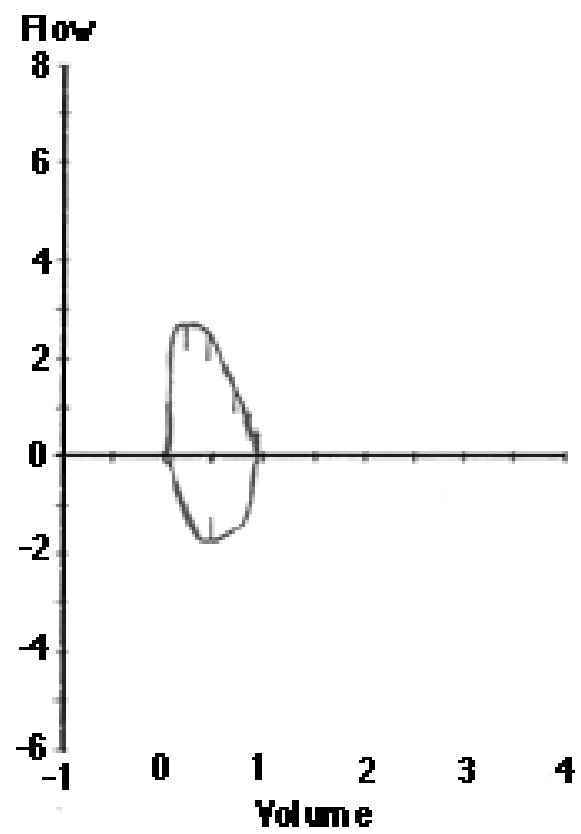
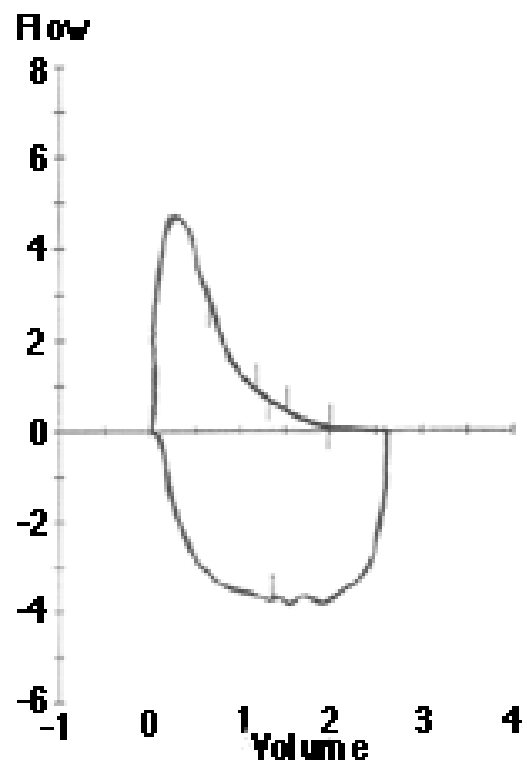
	Meas	Pred	%Pred
FVC	2.63	3.11	84
FEV1	1.58	2.28	69
FEV1/FVC	60	73	
FEF25-75	0.59	2.56	23
PEF	4.90	5.78	85

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