

Funkční vyšetření plic

Marek Plutinský

**Statické plicní objemy a kapacity,
dynamické ventilační parametry**

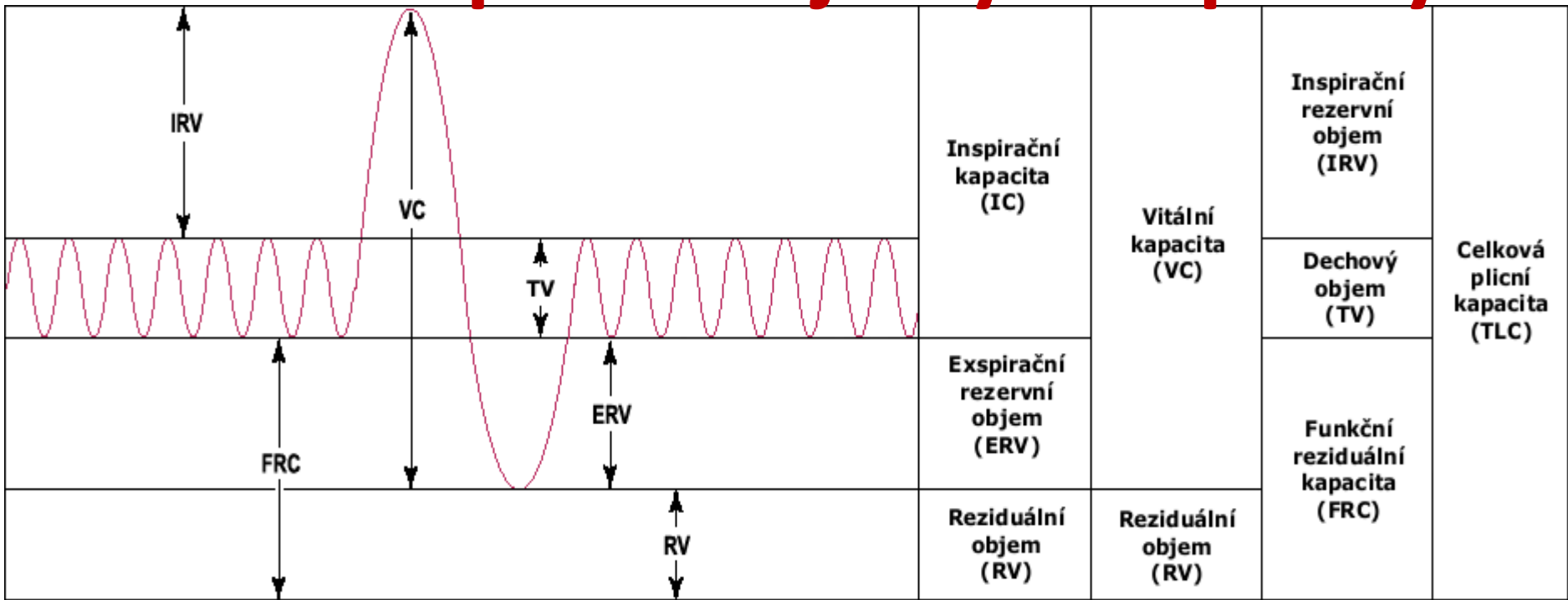
- **Plicní objem** = objemy prostorů, které zabírá vzduch v plicích během dýchání.
Kombinací jednotlivých objemů vznikají tzv. **plicní kapacity**.

- Měřené parametry dělíme:

1. Statické – informují o případných restričních poruchách

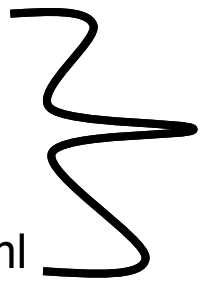
2. Dynamické – informují o obstrukčních poruchách

Statické plicní objemy a kapacity



KŘIVKA OBJEM/ČAS

- VT (dechový objem) = 500ml
- IRV (inspirační rezervní objem) = 2500ml
- IC (inspirační kapacita = VT+IRV) = 3000ml
- ERV (expirační rezervní objem) = 1500ml
- VC (vitální kapacita = VT+IRV+ERV) = 4500ml
- RV (reziduální objem) = 1500ml
- FRC (funkční reziduální kapacita = ERV + RV) = 3000ml
- TLC (celková plicní kapacita) = 6000ml



spirometrie



bodypletysmografie
anebo difuze

Dynamické ventilační parametry

- **Dechová frekvence (DF)**

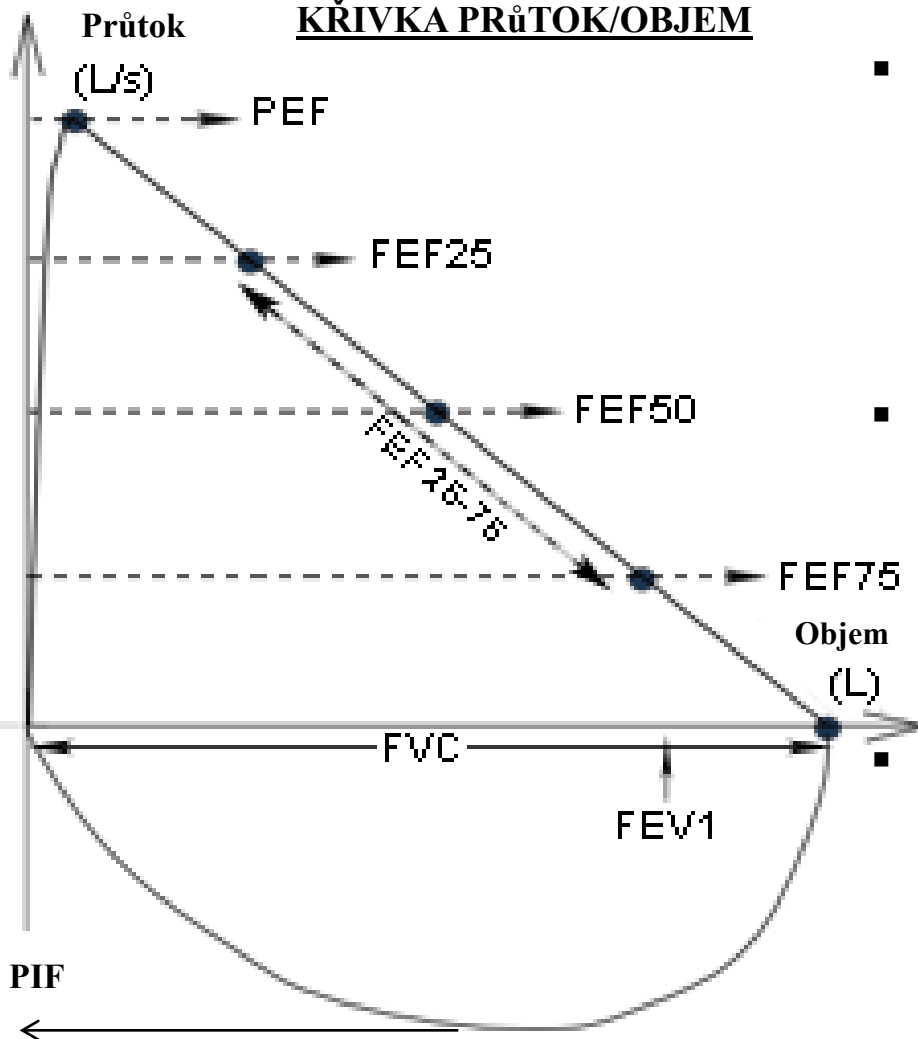
- u běžné populace pohybují okolo 16 dechů/min, max. hodnoty závislé na intenzitě zatížení okolo 40-60 dechů/min

- **Minutová ventilace plic (VE)** – $VT \times DF$ za minutu, v klidu je to asi 8 l/min

- **Maximální minutová ventilace (MMV)**

- největší možnou minutovou výměnu dýchacích plynů, MVV 120l/min u netrénovaných jedinců, trénovaný jedinci až 180l/min
 - MVV 40-50l/min již jedinec dýchá otevřenou pusou

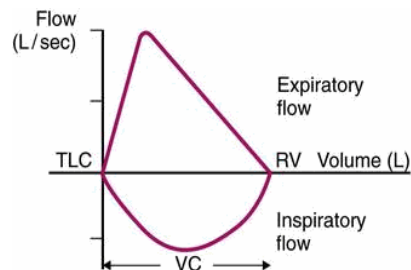
KŘIVKA PRŮTOK/OBJEM



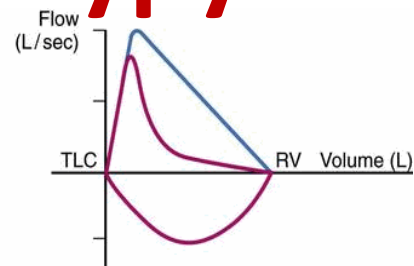
- **Jednovteřinová vitální kapacita (FEV1)**
 - objem vzduchu, který je vydechnutý při usilovném výdechu za první sekundu
- **Vrcholový expirační průtok (PEF)**
 - nejvyšší rychlost na vrcholu usilovného výdechu
- **Vrcholový inspirační průtok (PIF)**
 - nejvyšší rychlost na vrcholu usilovného nádechu

- **Max. průtok vydechnutého vzduchu v různých úrovních již vydechnuté VC (MEF 25, MEF 50, MEF 75)**
 - parametr obstrukce v periferních DC

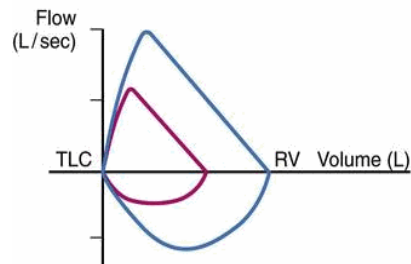
Spirometrie – typy křivek



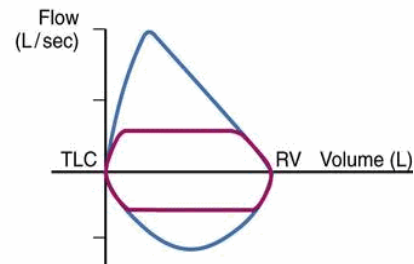
A. Normal



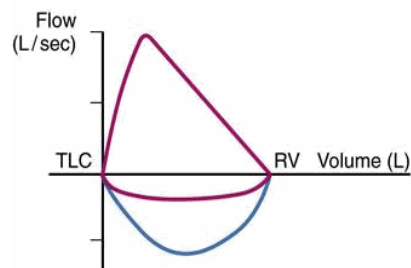
B. Emphysema



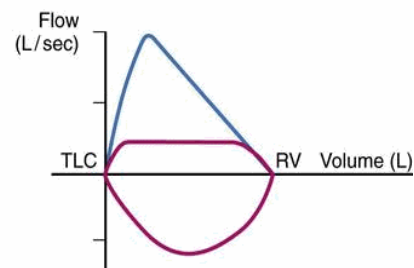
C. Unilateral main-stem bronchial obstruction



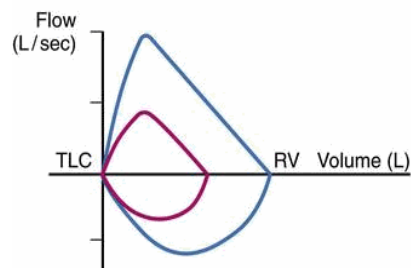
D. Fixed UAO



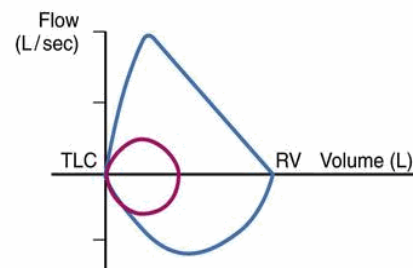
E. Variable extrathoracic UAO



F. Variable intrathoracic UAO



G. Restrictive parenchymal lung disease



H. Neuromuscular weakness

Vyšetření ventilace a interpretace výsledků

Spirometrie - indikace

- Předoperační vyšetření + dg. obstrukčních ventilačních poruch
- Odhad prognózy respiračních onemocnění
- Monitoring léčby a detekce nežádoucích účinků léků a chemických látek toxicky působících na plicní tkáň, ke komplexnímu pohledu na systémové choroby postihující plíce (např. RA, SLE, sklerodermie)
- Posudkové účely (lázně, pracovní lékařství, efekt plicní rehabilitace, atd.)
- Epidemiologické studie a klinický výzkum

Spirometrie – akceptovatelnost měření

- **Standardizace spirometrie a odpovídající přístrojové vybavení dle ATS/ERS**
- **Výška/váha → 15min klid → vždy vsedě → alespoň 3 měření (max 8x)**
 1. **Zpětně extrapolovaný objem (EV) < 5% FVC nebo <150ml**
 2. **PEF musí být dosaženo do 120 ms od zahájení usilovného výdechu**
 3. **Dobré úsilí a křivka bez artefaktů**
 4. **Délka výdechu alespoň 6 s (děti do 10 let 3 s)**
 5. **Variabilita FEV1 a FVC do 150ml (při FVC < 1000ml je to 100ml)**

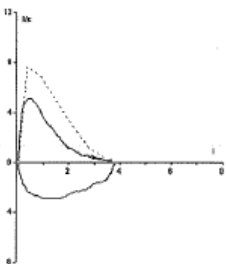
Spirometrie - hodnocení

Lehká	$60 \% \leq FEV_1 < LLN$ nebo $60 \leq FEV_1/SVC < LLN$
Středně těžká	$45 \% \leq FEV_1 (FEV_1/SVC) < 60 \%$
Těžká	$FEV_1 (FEV_1/SVC) < 45 \%$

- **Obstrukce** pokud FEV_1/SVC (anebo FEV_1/IVC , FEV_1/FVC , FEV_1/VC_{max}) je $< LLN$ (75%, resp. 70% u starších lidí)
- **MEF 25, MEF 50, MEF 75** - parametr obstrukce v periférních DC

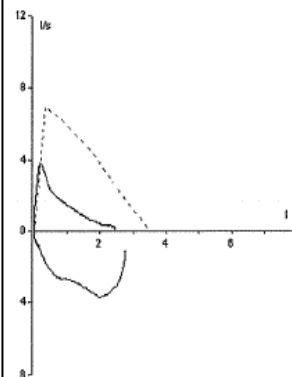
Smyčka průtok / objem

Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
VC	l	3.86	3.83	99
ERV	l	0.97	1.10	113
IRV	l		1.62	
IC	l	3.12	2.72	87
IC/TLC	%	41	32	79
FVCex	l	3.73	3.67	99
	%	74		86
	%	74		83
PEF	l/s	7.63	5.08	67
MEF75	l/s	6.86	4.00	58
MEF50	l/s	3.94	1.51	38
MEF25	l/s	1.28	0.60	47
MEF25-75	l/s	2.92	1.23	42
Aex	l*/l/s		7.51	



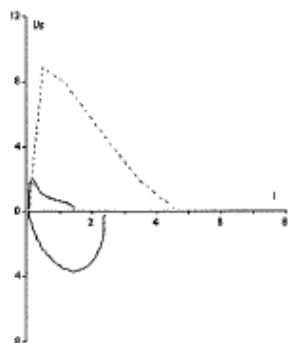
Smyčka průtok / objem

Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
VC	l	3.53	2.74	78
ERV	l	1.31	1.47	112
IRV	l			
IC	l	2.19	1.27	58
IC/TLC	%	51	100	197
FVCex	l	3.55	2.47	70
	%	84		78
	%	84		70
PEF	l/s	6.94	3.85	56
MEF75	l/s	6.13	2.08	34
MEF50	l/s	4.45	1.22	27
MEF25	l/s	2.16	0.56	26
MEF25-75	l/s	4.07	1.06	26
Aex	l*/l/s		3.48	



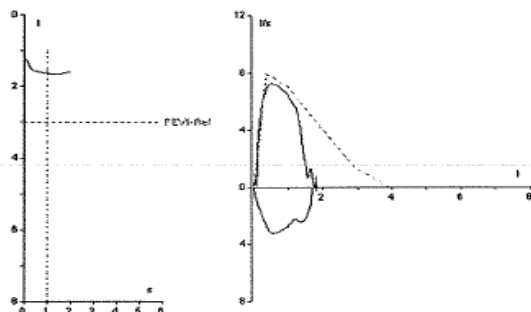
Smyčka průtok / objem

Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
VC	l	4.90	2.42	49
ERV	l	1.24	0.88	71
IRV	l		0.69	
IC	l	3.90	1.54	40
IC/TLC	%	43	16	36
FVCex	l	4.70	1.42	30
	%	76		96
	%	76		57
PEF	l/s	8.84	1.97	22
MEF75	l/s	7.83	1.35	17
MEF50	l/s	4.74	0.82	17
MEF25	l/s	1.88	0.60	32
MEF25-75	l/s	3.62	0.83	23
Aex	l*/l/s		1.38	



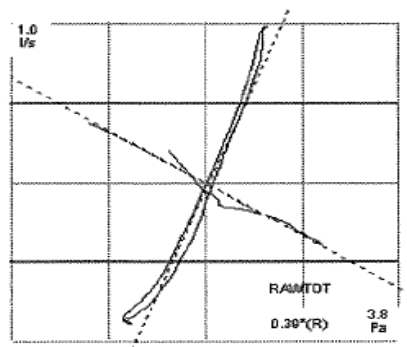
Plicní funkce: Spirometrie + Pletyzmografie + Krevní plyny

Smyčka průtok / objem



Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
VC	l	4.09	1.74	43
ERV	l	1.05	0.60	58
IRV	l		0.18	
IC	l	3.27	1.14	35
IC/TLC	%	42	25	60
FVCex	l	3.95	1.82	46
FEV1	l	3.04	1.79	59
FEV1/FVC	%	75	98	131
FEV1/IVC	%	75	103	137
PEF	l/s	7.93	7.30	92
MEF75	l/s	7.08	7.14	101
MEF50	l/s	4.14	6.65	160
MEF25	l/s	1.43	3.91	273
MEF25-75	l/s	3.13	6.19	198
Aex	l*/s		8.43	

Pletyzmografické plicní objemy a proudové odpory dýchacích cest



Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
FRC(TGV)	l	3.63	3.42	94
TLC	l	6.90	4.55	66
VC	l		1.82	
RV	l	2.58	2.81	109
TGV/TLC	%	58	75	129
RV/TLC	%	41	62	151
Raw	kPa/(l/s)	0.30	0.39	131
sGAW	l/kPa/s	1.29	0.75	58

Krevní plyny

Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
----------	----------	-------------	--------	-------

Plicní objemy a kapacity

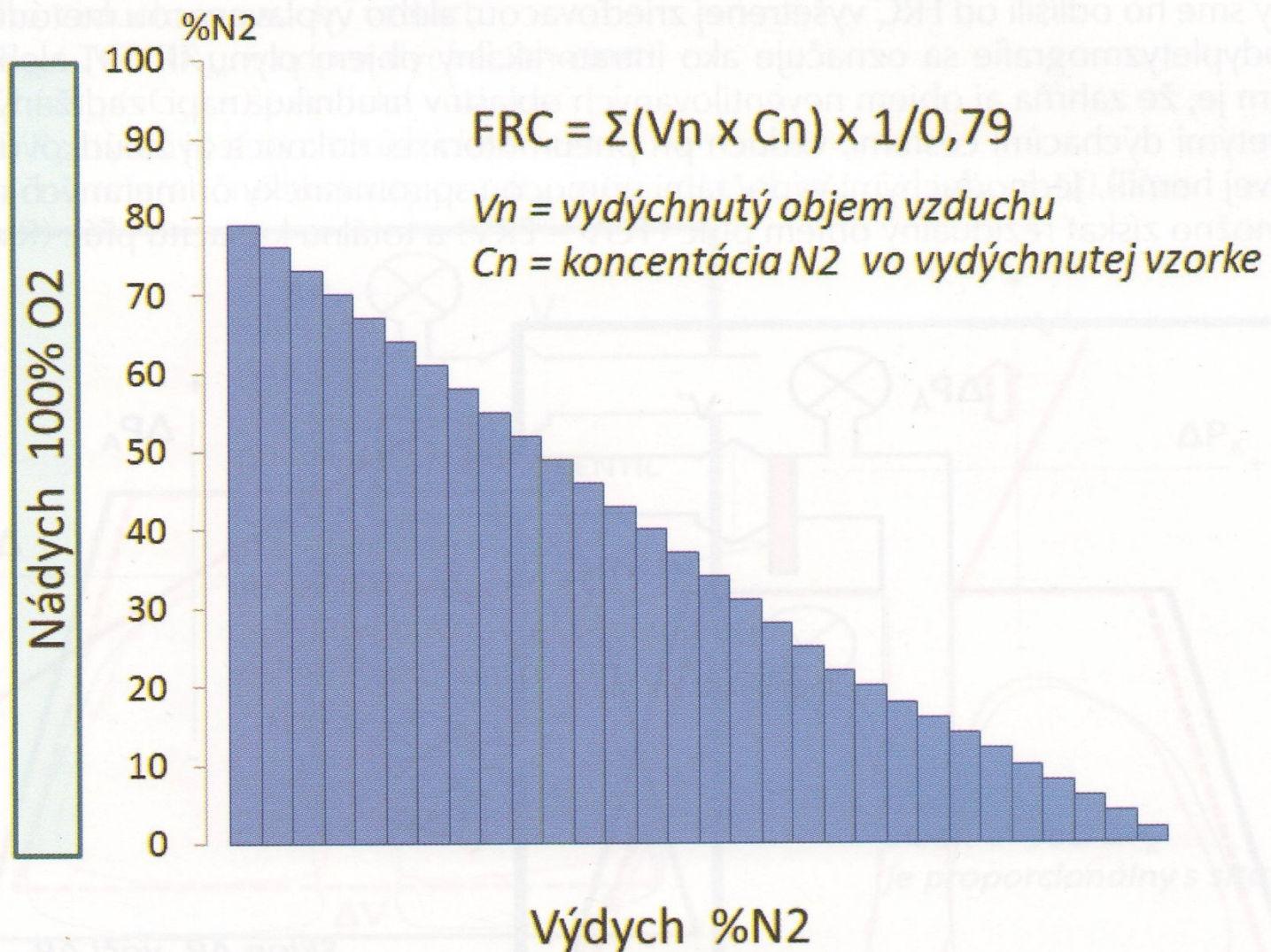
- **TLC, RV a FRC (TGV)**

1. Nepřímé metody

- a. Metoda vyplavování N_2 kyslíkem
- b. Diluční metoda s pomocí inertního plynu (He)

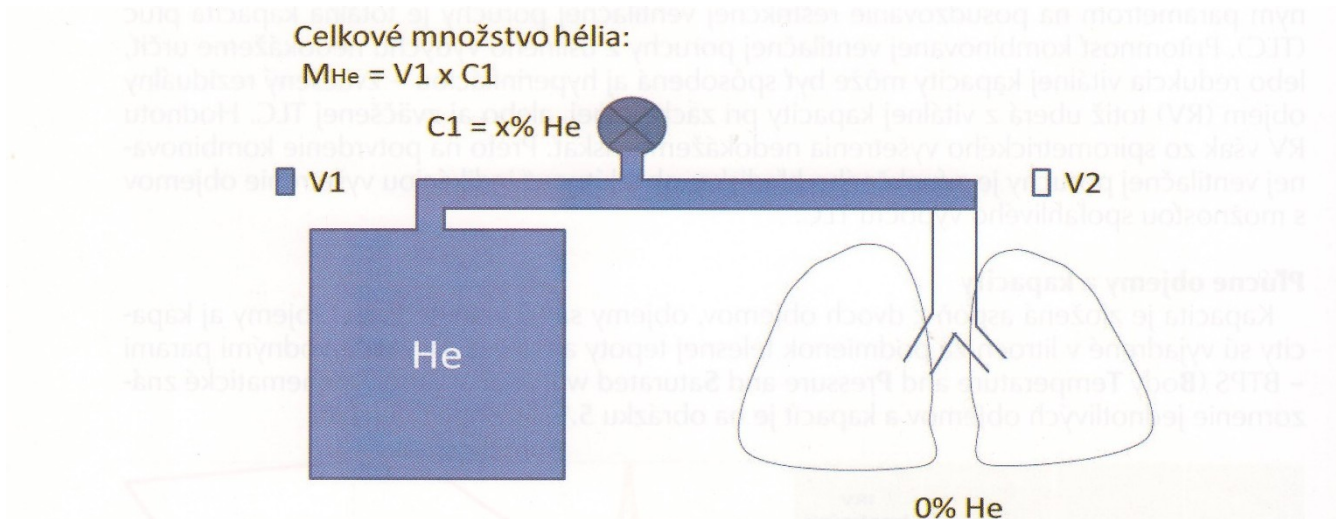
2. Bodypletyzmografie

Metoda vyplavování N₂ kyslíkom



Obr. 5.4. Princíp vyšetrenia FRC pľúc vyplavovaním dusíka kyslíkom. $\Sigma(Vn \times Cn)$ = objem vyplaveného N₂ z pľúc vypočítaný ako súčet objemov N₂ v každom výdychu (objem N₂ = objem každého výdychu x koncentrácia N₂ v každej vydýchnutej vzorke). Objem vyplaveného N₂ predstavuje 79 % FRC.

Diluční metoda s pomocí hélia



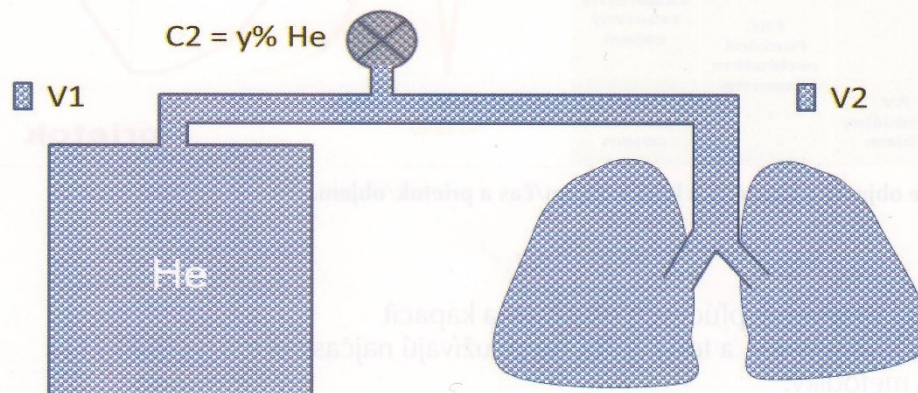
Obr. 5.2. Schéma diluční metody pomocou inertného plynu (He) – východiskový stav.

Celkové množství hélia:

$$M_{He} = V_1 \times C_1$$

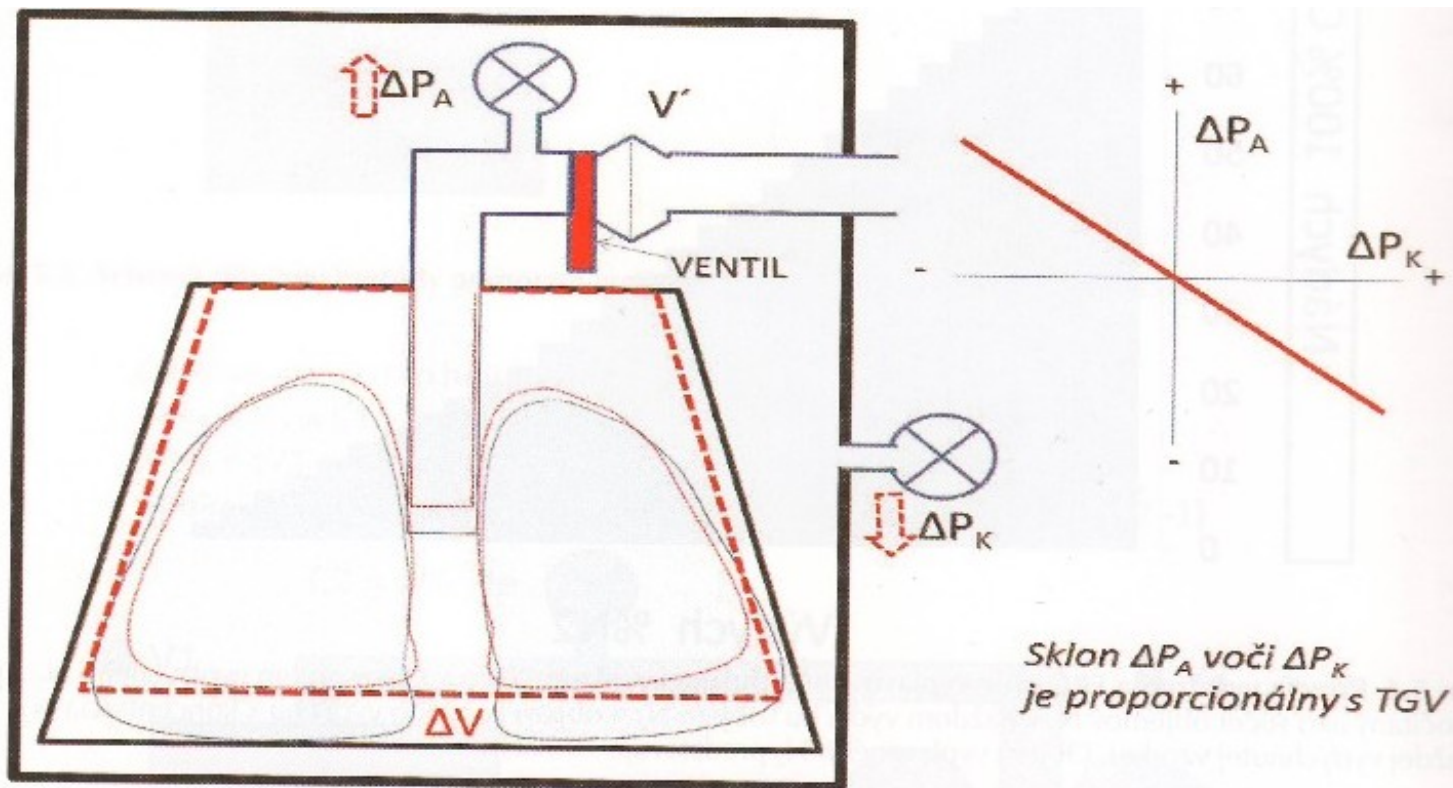
$$M_{He} = (V_1 + V_2) \times C_2$$

teda: $V_1 \times C_1 = (V_1 + V_2) \times C_2$, po úprave: $V_2 = V_1 \times (C_1/C_2 - 1)$



Obr. 5.3. Dilučná metóda, stav po vyrovnaní koncentrácií He. Po otvorení ventilu a po dýchaní vzorky vzduchu zo zásobníka sa postupne zriedi He do celého priestoru zásobník + pľúca ($V_1 + V_2$), čím dôjde k zmene koncentrácie He v závislosti od veľkosti objemu V_2 .

Bodypletyzmografie



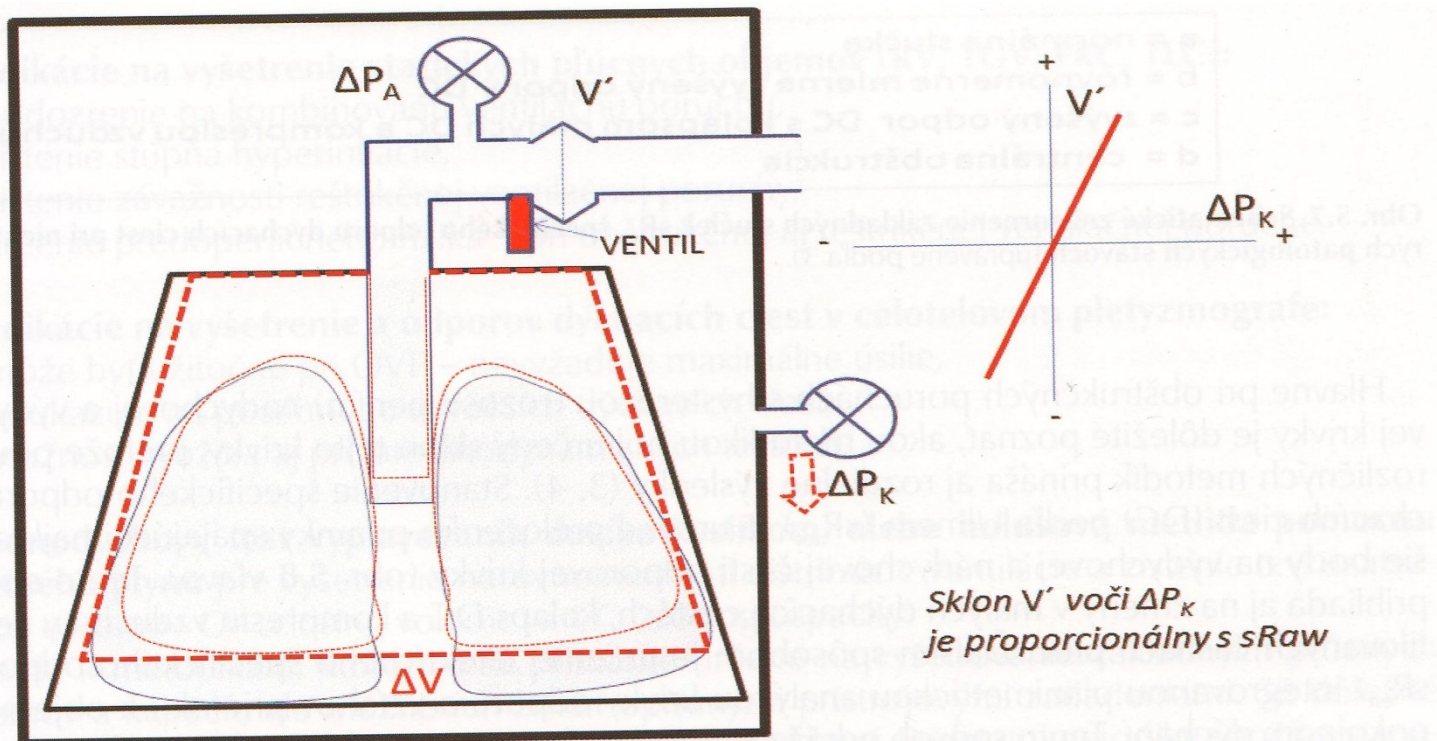
Sklon ΔP_A voči ΔP_K je proporcionálny s TGV

Pri pokuse o výdych pri zavretom ventile pri ústach sa zvýši tlak pri ústach (ΔP_A), stlačí sa vzduch v pľúcach a zmenší objem hrudníka (ΔV), a tým klesne tlak v kabíne (ΔP_K)

Obr. 5.5. Princíp vyšetrenia vnútrohrudníkových objemov celotelovou pletyzmografiou. V' = prietok vzduchu ktorý je pri zavretom ventile nulový, ΔP_A = zmeny tlaku pri ústach, ktorý v uzavretom systéme zodpovedá tlaku v alveolách, ΔP_K = zmena tlaku v kabíne, ktorá je proporcionálna zmene objemu hrudníka (ΔV) v uzavretej kabíne, TGV = vnútrohrudníkový objem na úrovni pokojného výdychu (FRC). Výpočty:
 Boylov - Mariottov zákon: súčin $P \times V$ = konštantný za izotermických podmienok
 $P_A \times TGV = (P_A - \Delta P_A) \times (TGV + \Delta V)$, po úprave: $TGV = (\Delta V / \Delta P_A) \times (P_A - \Delta P_A)$, pretože ΔP_A je v porovnaní s P_A veľmi malý (< 2 %), možno ho zanedbať, preto zjednodušená rovnica je: $TGV = (\Delta V / \Delta P_A) \times P_A$. V rovniciach pre prehľadnosť nie je uvedený tlak vodných pár, ktorý sa odpočítava od tlakov.



Bodypletyzmografie - odpory

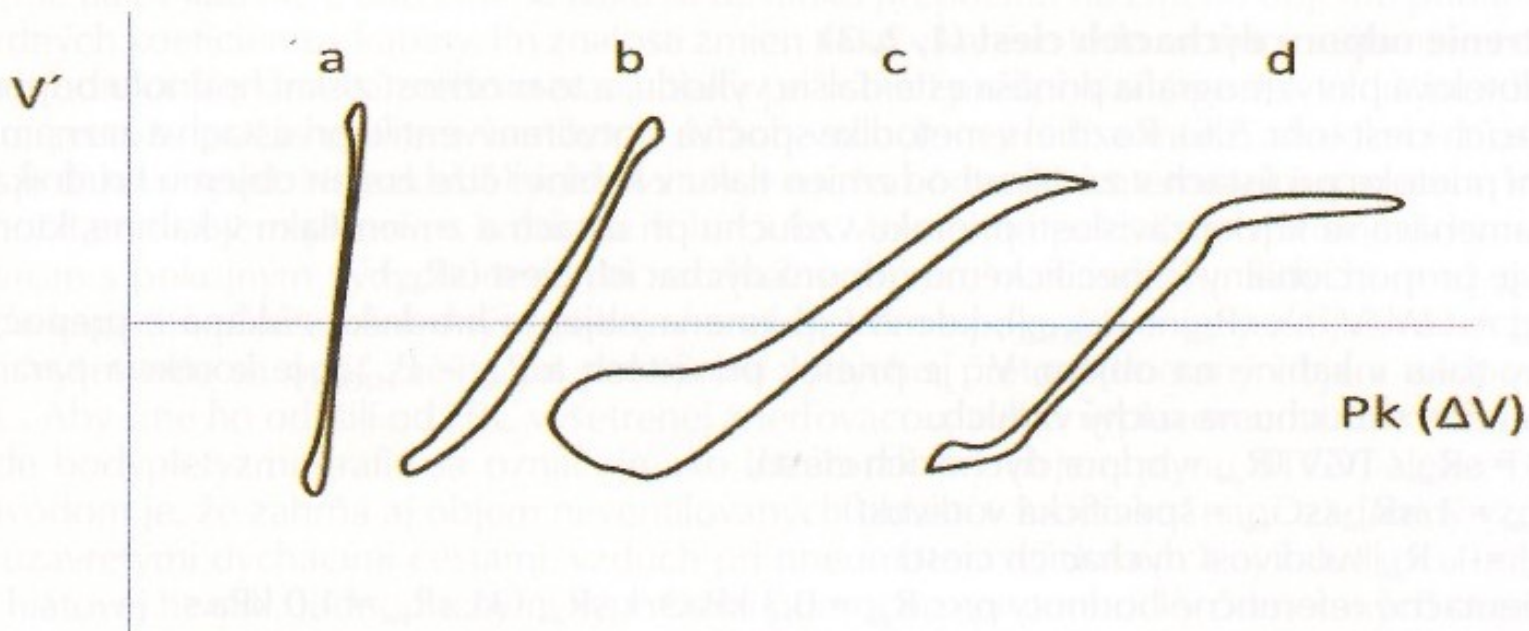


Pri dýchaní pri otvorenom ventile pri ústach sa mení prietok (V'), zároveň sa mení objem hrudníka (ΔV), a tým sa mení aj tlak v kabíne (ΔP_K)

Obr. 5.6. Princíp vyšetrenia odporu dýchacích ciest celotelovou pletyzmografiou. Skratky ako na obrázku 5.5. Zaznamenáva sa vzťah prietoku vzduchu (V') a zmien tlaku v kabíne ΔP_K , ktorý odráža špecifický odpor dýchacích ciest (sR_{aw}). Pri malých prietokoch a veľkých zmenách hrudníka je odpor vysoký a naopak.

- **sRaw** (specifický odpor DC) **1kPa.s** **Raw** (odpor DC) **0.3kPa.s/l**
- **sGaw** (specifická vodivosť) **Gaw** (vodivosť DC)

Schématické znázornenie základných slučiek sRaw

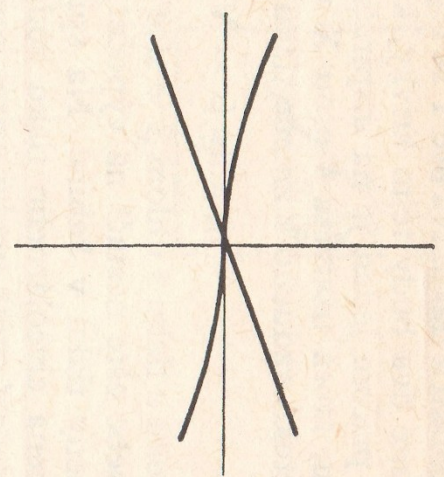
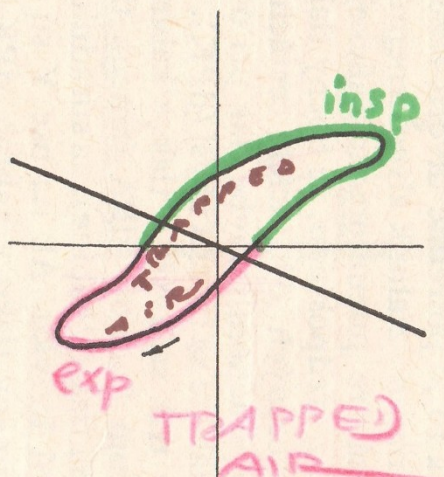
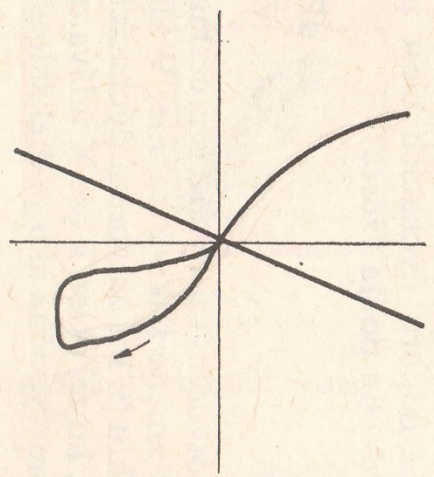
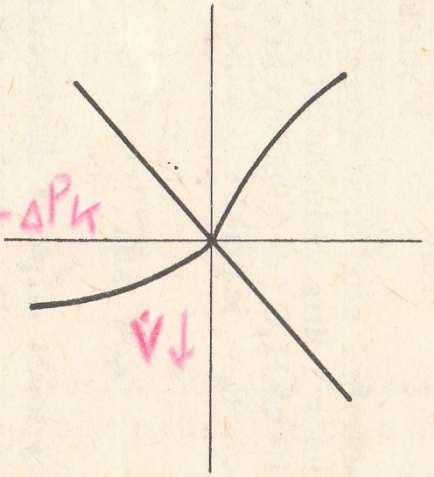
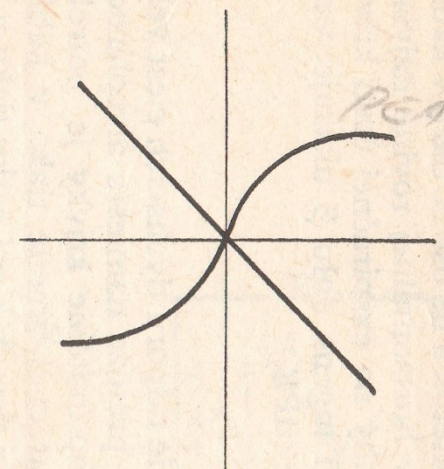
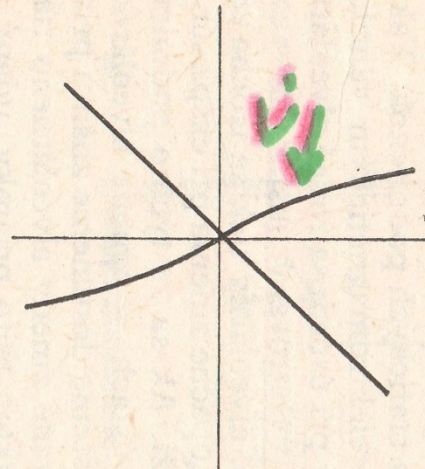
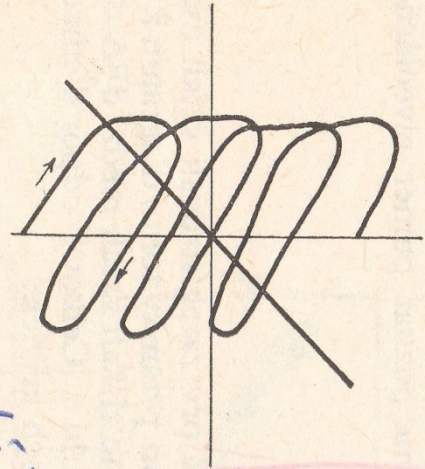
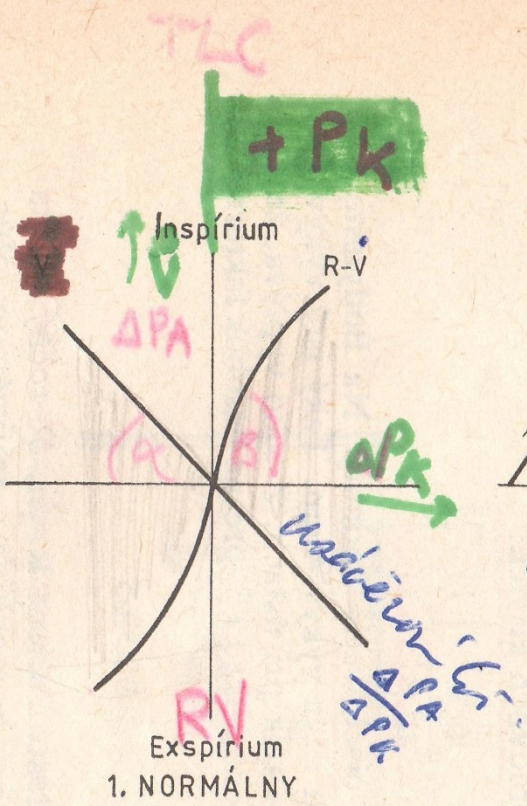


a = normálna slučka

b = rovnomerne mierne zvýšený odpor v DC

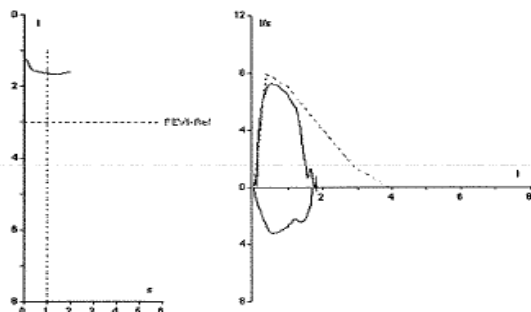
c = zvýšený odpor DC s kolapsom malých DC a kompresiou vzduchu

d = centrálna obštrukcia



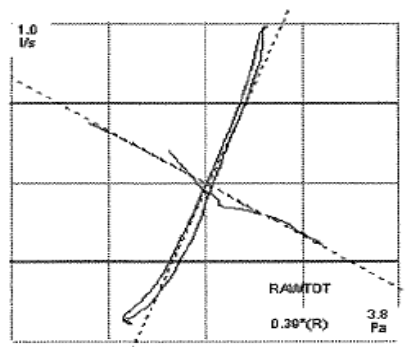
Plicní funkce: Spirometrie + Pletyzmografie + Krevní plyny

Smyčka průtok / objem



Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
VC	l	4.09	1.74	43
ERV	l	1.05	0.60	58
IRV	l		0.18	
IC	l	3.27	1.14	35
IC/TLC	%	42	25	60
FVCex	l	3.95	1.82	46
FEV1	l	3.04	1.79	59
FEV1/FVC	%	75	98	131
FEV1/IVC	%	75	103	137
PEF	l/s	7.93	7.30	92
MEF75	l/s	7.08	7.14	101
MEF50	l/s	4.14	6.65	160
MEF25	l/s	1.43	3.91	273
MEF25-75	l/s	3.13	6.19	198
Aex	l*/s		8.43	

Pletyzmografické plicní objemy a proudové odpory dýchacích cest



Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
FRC(TGV)	l	3.63	3.42	94
TLC	l	6.90	4.55	66
VC	l		1.82	
RV	l	2.58	2.81	109
TGV/TLC	%	58	75	129
RV/TLC	%	41	62	151
Raw	kPa/(l/s)	0.30	0.39	131
sGAW	l/kPa/s	1.29	0.75	58

Krevní plyny

Parametr	Jednotka	Náležitá h.	Měřená	%Nál.
----------	----------	-------------	--------	-------

Indikace

- Diagnóza restriční ventilační poruchy
- Diferenciace restriční / obstrukční poruchy a plicní hyperinflace
- Posouzení odpovědi na léčebné intervence
- Předoperační vyšetření

■ Tabulka 10.3 Hodnocení tíže restriční ventilační poruchy

Lehká	$60 \leq \text{SVC (TLC)} < \text{LLN}$
Středně těžká	$45 \leq \text{SVC (TLC)} < 60 \%$
Těžká	$\text{SVC (TLC)} < 45 \%$

■ Tabulka 10.4 Posouzení hyperinflace

RV – norma	do ULN
RV/TLC – norma	do ULN

■ Tabulka 10.5 Hodnocení tíže hyperinflace

Plicní hyperinflace	RV	RV/TLC
Lehká	ULN–175 %	ULN –50 %
Středně těžká	176–250 %	51–65 %
Těžká	nad 250 %	nad 65 %

Vyšetření plicní difúze a interpretace výsledků

Terminologie

- **Transferfaktor (TLco – mmol/kPa/min)** označuje schopnost plic vyměňovat dýchací plyny přes alveolokapilární membránu
- **Difúzní kapacita plic (DLCO – ml/mmHg/min)** – pojem používaný v USA)
- **Koeficient difúze (Kco - mmol/kPa/min/l)**
- **Alveolární objem (VA)** – objem, do kt. se zředí vzorek inertního plynu zmenšený o mrtvý prostor

$$TLco = Kco \times VA$$

Princip vyšetření

- O₂ (stejně jako CO) musí přestoupit z alveolárního plynu alveolárním epitelem, tkáňovým intersticiem, kapilárním endotelem, plazmou a membránou+cytoplazmou Ery do krve než se naváže na molekulu HGB
- Transfer O₂ (resp. difuze) závisí od:
 - **Velikosti plochy**
 - **Tlakového spádu mezi PAO₂ (alveol. prostor) a PcO₂ (kapil. krve v plicích)**
 - **Časového intervalu**
- V praxi stanovení PcO₂ je nemožné → proto se používá stanovení PACO

Indikace vyšetření

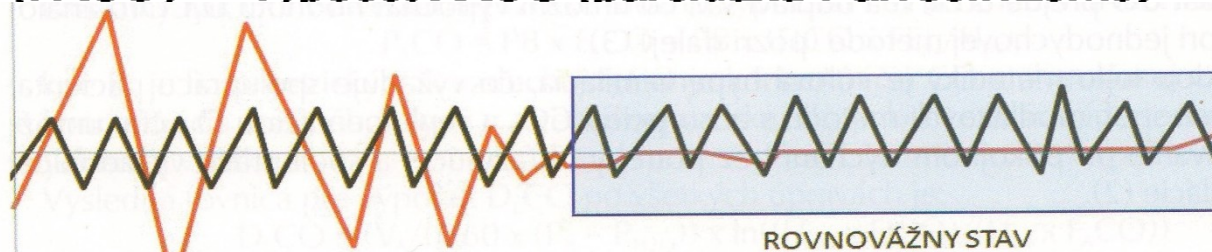
- Dif.dg. dušnosti (zvláště v případě normálních ventilačních parametrů)
- IPP
- Postižení plicních cév / plicní hypertenzi
- Restrikční ventilační porucha
- Předoperační vyšetření
- Komplexní posouzení funkčních změn při emfyzému plic

1. Metoda rovnovážného stavu (SS – Steady state)

▪ Najjednoduchší metóda

- bez potreby inertného plynu, pro deti, těžce nemocné pacienty

- Vdechuje sa vzorka se známým obsahem CO → výdechova koncentrace (FECO) + koncentrace CO na konci výdechu (FET-CO), kt. opovída alveol.koncentraci CO (FACO) → výpočet PACO (parc.tlaku v alveol.vzorke)



$$TL_{CO} = \frac{V'_{CO}}{PACO}$$

— Koncentrácia CO plynu po vdychovaní vzorky z rezervoára, po istom čase dôjde k vyrovnaniu koncentrácií medzi pľúcami a rezervoárom

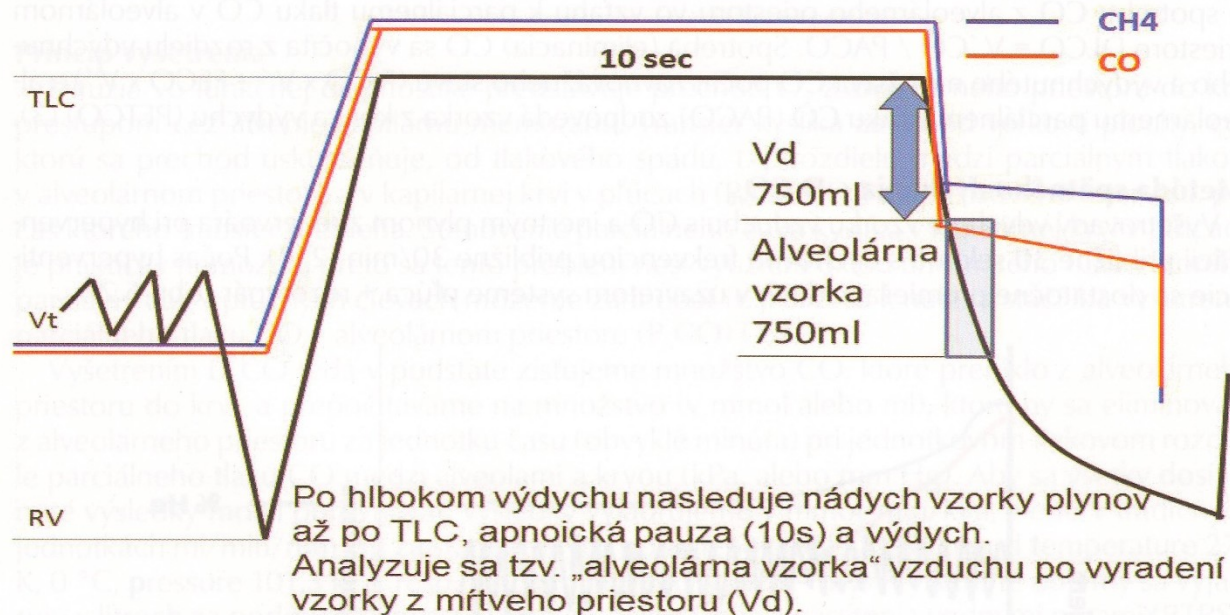
— Krivka pokojného dýchania - dychový objem (V_t) a dychová frekvencia (DF) umožnia vypočítať minútovú ventiláciu ($V' = V_t \times DF$).

Z minútovej ventilácie a z rozdielu vdychovanej a vydechovanej koncentrácie CO v rovnovážnom stave sa vypočíta množstvo CO, ktoré bolo spotrebované v pľúcach.

Obr. 6.1. Zjednodušený princíp vyšetrenia D_LCO metódou rovnovážneho stavu.

2. Metoda jednoho dechu (SB-single breathe)

- Zlatý standard
- Vdechuje se vzorek se známou hodnotou CO a inertní plyn (CH₄, He, Ne)



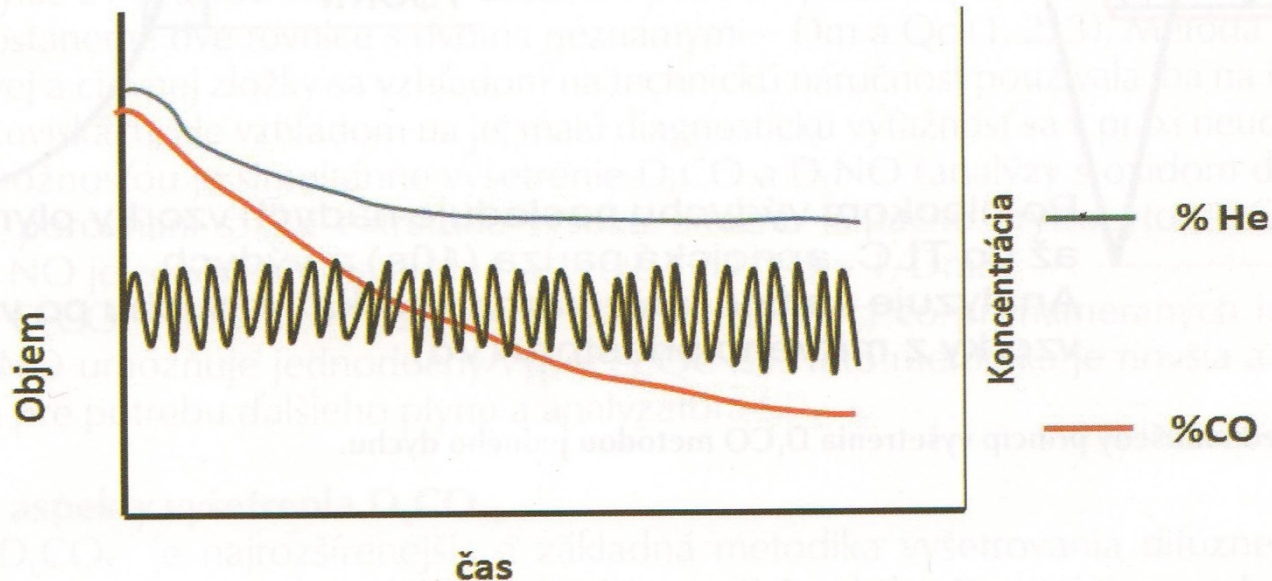
Obr. 6.3. Zjednodušený princíp vyšetrenia D_LCO metódou jedného dychu.

- Pokles koncentrace CO → **1. zředěním v RV** a **2. samotnou difuzí**
- Inertní plyny → **1. zředění v RV** (výpočet VA)

$$TLCO = \frac{V'CO}{PACO}$$

3. Metoda zpětného dýchání

- Vdechuje vzorek vzduchu s CO a inertním plynem z rezervoáru při DF 30/min
- **Inertní plyn (He, CH₄) nedifunduje** → rozředění **výpočet RV**
- **CO difunduje** → rozdíl mezi vstupem a výsledným vzorkem umožňuje **výpočet TLco**



Pri spätnom dýchaní sa vyrovná koncentrácia inertného plynu (He) medzi rezervoárom a pľúcami, ale hodnota koncentrácie CO sa znižuje naďalej, lebo prechádza do krvi a eliminuje sa z pľúc

Obr. 6.2. Zjednodušený princíp vyšetrenia D_LCO metódou spätného dýchania (upravené podľa 2).

Interpretace

- Výsledek je ovlivněný ventilací, difuzí, perfuzí, tloušťkou alveolokapil. membrány, HGB
- **Nutná korekce na aktuální hodnotu HGB**

Lehké snížení TL_{CO}	LLN–60 % normy
Středně těžké snížení TL_{CO}	59–40 % normy
Těžké snížení TL_{CO}	≤ 39 % normy

Ostatní naměřené parametry

- **IVC**
 - $IVC_{dif}/IVC > 0.85$ (jedním z kritérií akceptovatelnosti)
- **TLC** (prostor do kterého se zředí inertní plyn)
 - za ideálních podmínek odpovídají standardně měřené TLC
 - u obstrukcí → porucha distribuce ventilace → hodnoty nižší
- **FRC**
- **RV**
- **VA/TLC poměr**
 - nehomogenita ventilace pokud $VA/TLC < 85\%$ (bulózní emfyzém, obstrukce)

Fyziologická a patofyziologické zmeny ovlivňujúci TLco

Extrapulmonálna redukcia alveolárneho objemu

- redukované úsilie alebo svalová slabosť
- deformity hrudníka

Ochorenie redukujúce množstvo hemoglobínu v alveolárnej kapilárnej krvi

- anémia
- pľúcna embolizácia
- HbCO
- zvýšená inspiračná frakcia O₂ (FiO₂)
- Valsalvov manéver (zvýšený intratorakálny tlak)

Ochorenia, ktoré redukujú alveolokapilárnu plochu (v rôznom pomere)

- pľúcna resekcia (aj keď sa zvyšuje prietok krvi)
- emfyzém
- difúzne parenchýmové (intersticiálne) ochorenia pľúc
- pľúcny edém
- pľúcne vaskulitídy
- pľúcna hypertenzia

Ochorenia, ktoré zvyšujú množstvo Hb, a tým zvyšujú transfer faktor

- polycytémia
- ľavo-pravé skraty
- alveolárne hemorágie
- astma

Ďalšie stavy, ktoré zvyšujú množstvo Hb

- zmeny väzbovej kapacity Hb (znížená FiO₂)
- Mullerov manéver (znižuje intratorakálny tlak ako pri astme)
- záťaž
- poloha v ľahu
- obezita (hypervolemia)

Tab. 6.2. Zmeny D_LCO_{SB} , základný patofyziologický mechanizmus a vzťah medzi VA a D_LCO_{SB} .

Mechanizmus	Príklad ochorenia	VA	D_LCO_{SB}	Kco
Znížená D_LCO_{SB}				
Redukcia počtu pľúcnych mechúrikov	Resekcia pľúc Infiltráty	↓↓↓	↓	↑↑
Zmenšenie objemu – inkompletná Expanzia	Ochorenia pleury, bránice, hrudného koša Neuromuskulárne ochorenia Menší nádych (zlá technika)	↓↓↓	↓	↑↑
Redukcia alveolokapilárnej plochy	Emfyzém	↑	– ↓	↓↓
Postihnutie pľúcnych ciev	Pľúcna artérová hypertenzia Vaskulitídy Embólia pľúcnych ciev	–	↓	↓↓
Redukcia alveolokapilárnej plochy aj objemu	DPLD Pľúcny edém	↓↓	↓↓↓	↓↓
Zníženie množstva voľného Hb v pľúcach	Anémia COHb Zvýšená FiO_2 Valsalvov manéver	–	↓	↓↓
Zvýšená D_LCO_{SB}				
Zvýšenie množstva Hb v pľúcach	Intraalveolárne krvácanie	– ↓	↑	↑↑
Zvýšené prekrvenie pľúc	Hypertyreóza Obezita Včasné štádium srdcového zlyhávania Polycytémia Asthma bronchiale Müllerov manéver	–	↑	↑

Bronchomotorické testy – indikace, provedení a interpretace

- Slouží k hodnocení hyperreaktivity DC
- **Hyperreaktivita DC** = obecný znak astmatu –
- Průdušky reagují obstrukcí na podněty, na které průduška zdravého jedince nereaguje.
- **Obstrukce u astmatu je reverzibilní**
- Nadměrná hyperreaktivita též u CHOPN, emfyzému, mukoviscidózy, bronchiektázií

```
graph TD; A[Složky hypereaktivity] --- B[Bronchospazmus]; A --- C[Edém sliznice]; A --- D[Hlenová sekrece];
```

**Složky
hypereaktivity**

Bronchospazmus

**Edém
sliznice**

**Hlenová
sekrece**

Bronchomotorické testy

```
graph TD; A[Bronchomotorické testy] --> B[Provokační]; A --> C[Dilatační];
```

Provokační

Dilatační

Bronchoprovokační testy (BKT)

- Smyslem je určit přítomnost a stupeň dráždivosti průdušek; podle výsledku testu případně přizpůsobit léčbu

➤ Indikace

- Dif. dg. kašle, dušnosti, tlaku na hrudi
- Monitorování bronchiální hyperreaktivity (aktivita nemoci, protektivní vliv léčby)
- Posudkové účely
- Epidemiologické, preventivní, studijní a výzkumné účely

➤ **Absolutní kontraindikace**

- Při negativním BDT **FEV1 < 50% (1 litr)**
- IM, CMP (poslední 3M), dekompenzovaná hypertenze (TK >200/100), aneurysma aorty

➤ **Relativní kontraindikace**

- Špatná spolupráce, gravidita, kojení
- Užívání inhibitorů anticholinesterázy u myasthenia gravis
- Současná exacerbace astmatu
- Při negativním BDT **FEV1 < 60% (1.5 litru)**

➤ **Požadavky na laboratoř**

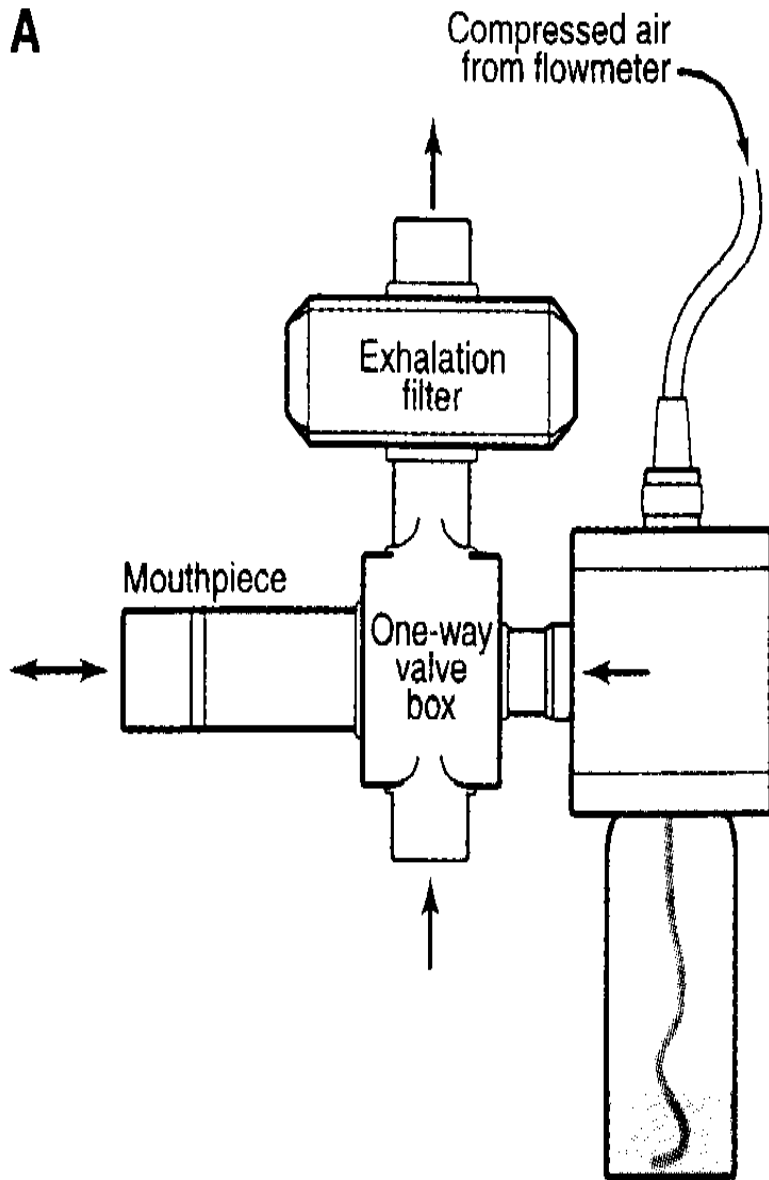
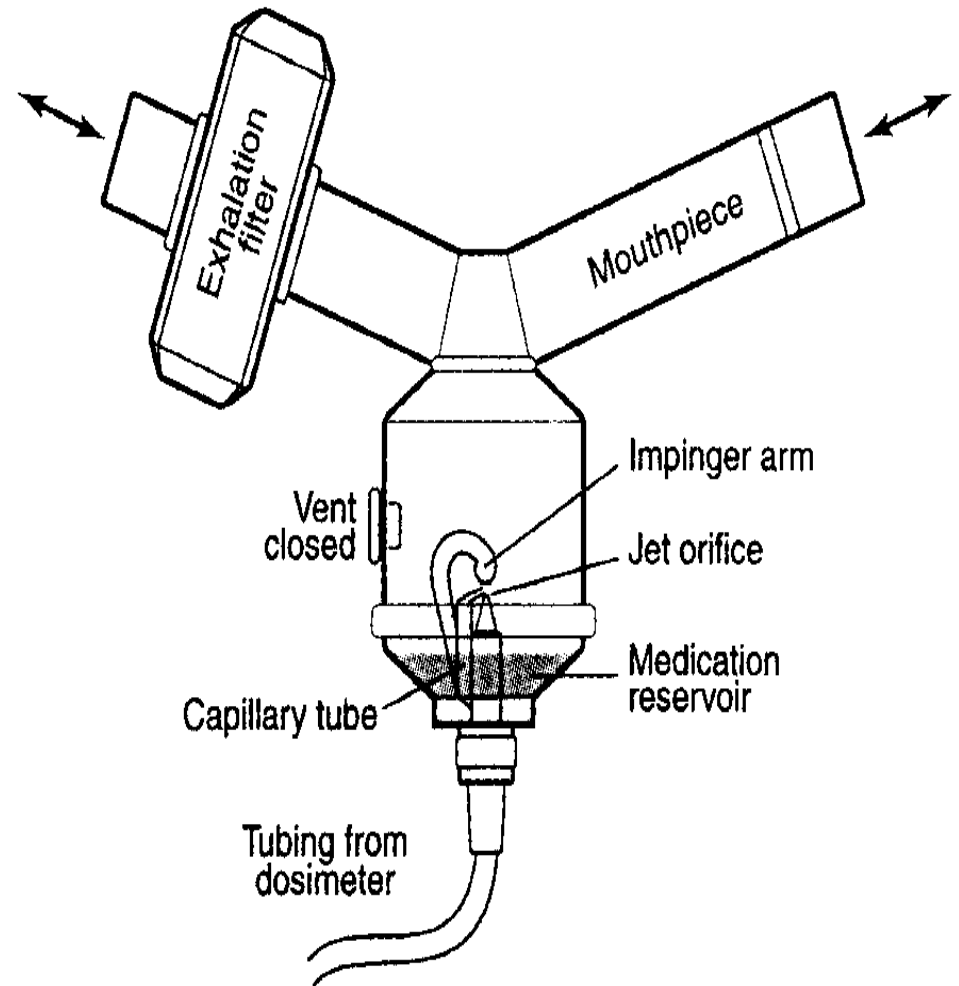
- BKT musí být prováděny na pracovišti s odpovídajícím přístrojovým i personálním zajištěním včetně zajištění bronchodilatační a kyslíkové terapie.
- Před testem se musí pacient seznámit s podmínkami vyšetření a podepsat informovaný souhlas.

➤ **Výběr vhodného podnětu**

- V ČR atest **metacholin a histamin**
- V minulosti acetylcholin, karbachol
- Ostatní manitol, adenoazinmonofosfát

➤ **Princip vyšetření**

- V klidu před zahájením BKT základní spirometrie
- Následně inhalace metacholinu v koncentracích doporučených výrobcem; po každé koncentraci následuje kontrolní spirometrie (viz dále). Inhalace se provádí pomocí nebulizátoru
- Pokud nedojde k poklesu FEV1 o 20%, cyklus se opakuje s celkovou vyšší koncentrací metacholinu (v praxi větším počtem vdechů)
- Pokud je test **pozitivní (pokles FEV1 \geq 20%)**, podá se na závěr bronchodil. látka rozšiřující průdušky (bronchodilatační test)

A**B**

Doporučené koncentrace metacholinu

Koncentrace metacholinu (počet vdechů)	KNPT Protokol	5-dechový protokol
	0.84mg (3 vd.)	0.0625mg
	2.24mg (5 vd.)	0.25mg
	5.04mg (10 vd.)	1mg
	-----	4mg
	-----	16mg

Léky ovlňující bronchiální reaktivitu a odpověď na BKT

FACTORS THAT DECREASE BRONCHIAL RESPONSIVENESS

Factor	Minimum Time Interval from Last Dose to Study	Ref. No.
Medications		
Short-acting inhaled bronchodilators, such as isoproterenol, isoetharine, metaproterenol, albuterol, or terbutaline	8 h	45, 46
Medium-acting bronchodilators such as ipratropium	24 h	20, 47
Long-acting inhaled bronchodilators, such as salmeterol, formoterol, tiotropium	48 h (perhaps 1 wk for tiotropium)	48, 49
Oral bronchodilators		50, 51
Liquid theophylline	12 h	
Intermediate-acting theophyllines	24 h	
Long-acting theophyllines	48 h	
Standard β_2 -agonist tablets	12 h	
Long-acting β_2 -agonist tablets	24 h	
Cromolyn sodium	8 h	
Nedocromil	48 h	
Hydroxazine, cetirizine	3 d - 7 dnů	
Leukotriene modifiers	24 h - 48 hod	IKS 1 měsíc
Foods		
Coffee, tea, cola drinks, chocolate	Day of study	52

Note: The authors do not recommend routinely withholding oral or inhaled corticosteroids, but their antiinflammatory effect may decrease bronchial responsiveness (53, 54). Inhaled corticosteroids may need to be withheld depending on the question being asked.

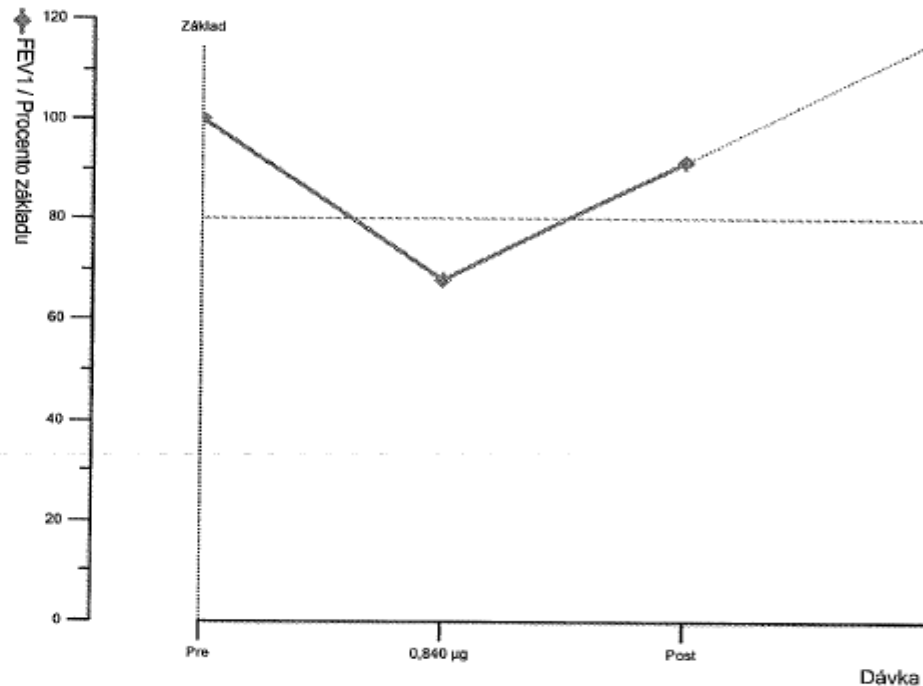
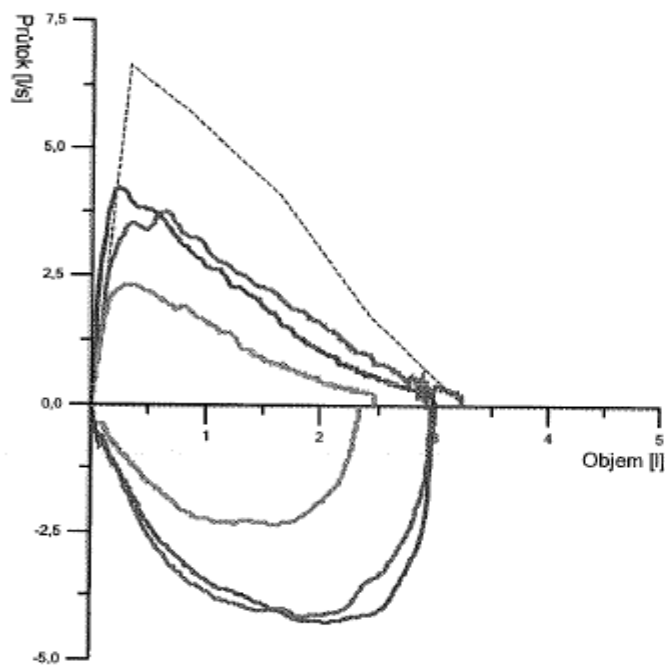
Hodnocení

➤ **Test je pozitivní**, pokud:

- **FEV1 klesne $\geq 20\%$**
- **sRaw a sGaw stoupnou $\geq 50\%$**
- **Impulzní oscilometrie změna R5 o 50 % a Fres o 40%**

➤ **Slovní interpretace PC20 (mg/ml) dle ATS**

- **Středně těžká až těžká hyperreaktivita $< 1,0$**
- **Lehká hyperreaktivita 1,0 – 4,0**
- **Hraniční reaktivita 4,0 – 16,0**
- **Normální reaktivita $> 16,0$**

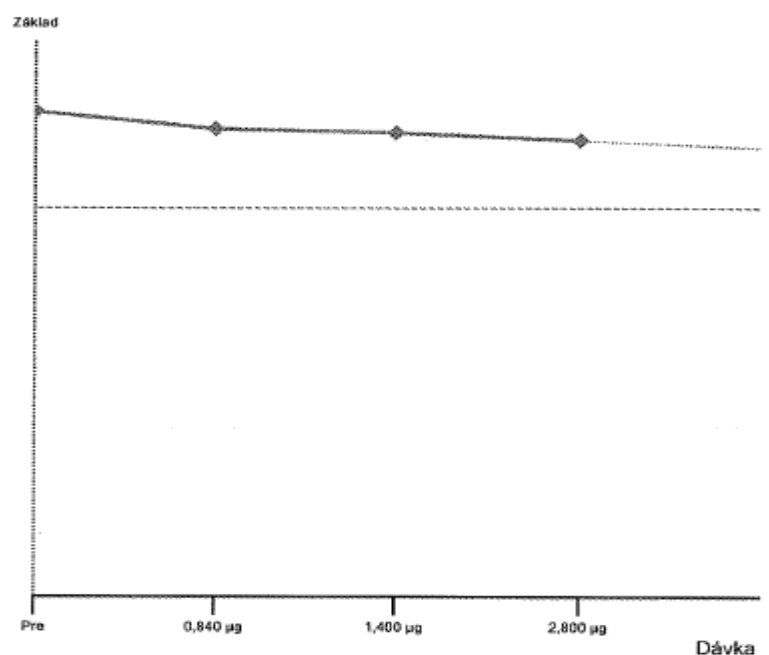
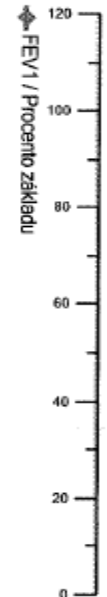
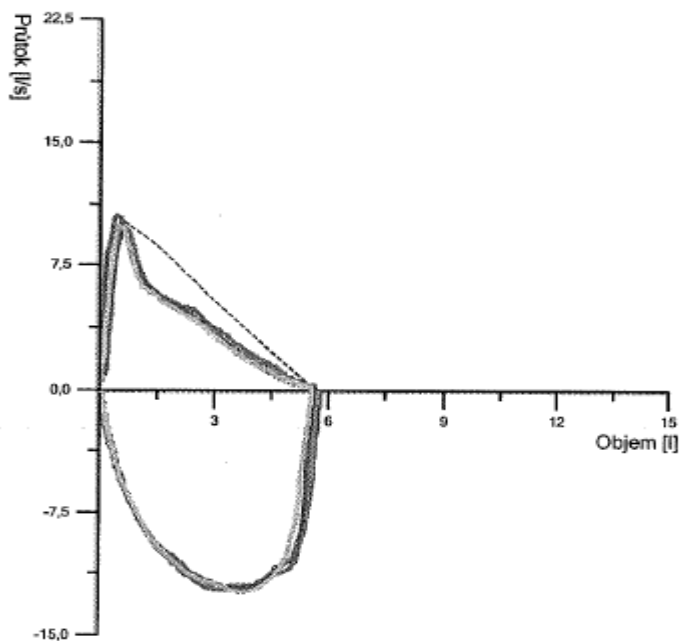


Bronchiální citlivost: PD20: < 0,840 µg

PC20: < 0,280 mg

	FEV1	%Nál	%Pre	%Změny (Pre)	%Diff Stage	FVCEx	%Nál	%Pre	%Změny (Pre)	%Diff Stage
Jednotka	l					l				
Nál. (1)	2,79					(1) 3,25				
Pre	2,34	84%				3,25	100%			
					-32,1%	2,48	76%	-23,7%	-23,7%	
						3,00	92%	-7,5%	+21,3%	

	VCmax	%Nál	%Pre	%Změny (Pre)	%Diff Stage
Jednotka	l				
Nál. (1)	3,24				
Pre	3,25	100%			
Metacholin (0,840 µg)	2,48		76%	-23,7%	-23,7%
Ventolin (4 vdechy)	3,00	93%		-7,5%	+21,3%



Bronchiální citlivost: Prahu nedosaženo

		FEV1	%Nál	%Pre	%Změny (Pre)	%Diff Stage			FVCEx	%Nál	%Pre	%Změny (Pre)	%Diff Stage	
Jednotka		I											I	
	Nál. ⁽¹⁾	4,62											⁽¹⁾ 5,64	
	Pre	4,27	92%											5,67 101%
						-3,5%			5,61	99%		-0,9%	-0,9%	
						-0,6%			5,61	99%		-1,0%	-0,1%	
						-1,7%			5,52	97%		-2,6%	-1,6%	
		VCmax	%Nál	%Pre	%Změny (Pre)	%Diff Stage								
Jednotka		I												
	Nál. ⁽¹⁾	5,90												
	Pre	5,79	98%											
	Metacholin (0,840 µg)	5,69		98%	-1,7%	-1,7%								
	Metacholin (1,400 µg)	5,61		97%	-3,2%	-1,5%								
	Metacholin (2,800 µg)	5,54		96%	-4,3%	-1,1%								

Bronchodilatační testy (BDT)

➤ posouzení reverzibility DC cest po podání bronchodilatačné látky

➤ **Indikace**

- dif.dg.dušnosti, kašle a tlaku na hrudi
- monitorování stavu nemocných a efektu léčby
- hodnocení účinku jednotlivých bronchodilatačních léků
- v rámci předoperačního vyšetření
- posudkové účely

➤ **Absolutní kontraindikace**

- Alergie na podávaný lék
- Nespolupráce vyšetřované osoby

➤ **Relativní kontraindikace**

- Provedení testu u akutního infekčního onemocnění dýchacích cest
- Dekompenzované ICHS, arytmie
- Hypertenze a hypertyreóza

➤ **Princip vyšetření**

- V klidu před podáním bronchodilatancia provedeme základní spirometrii/impulsní oscilometrii (IOS).
- Aplikace bronchodilatancia (nejčastěji **SABA**). Pokud není uvedeno jinak, použijeme **salbutamol (Ventolin)**
- Za 30min kontrolní spirometrie, při použití **SABA nejdříve za 15min**

1. Krátkodobě působící beta 2 mimetika

- salbutamol (Ventolin, Ecosal) **4 vdechy (0.4mg)**
- fenoterol (Berotec) **2 vdechy (0.2mg)**
- terbutalin (Bricanyl) **2 vdechy (1mg)**

2. Dlouhodobě působící beta 2 mimetika

- formoterol (Foradil) **1 vdech (12ug)**
- salmeterol (Serevent) **1-2 vdechy (50-100ug)**

3. Anticholinergika

- ipratropium (Atrovent) **4-8 vdechů (0.08-0.16mg)**
- tiotropium (Spiriva) **1 vdech (18ug)**

4. Kombinované preparáty (1+2 a 2+3)

- fenoterol+ipratropium (Berodual) **2-8 vdechů**
- formoterol+budesonid (Symbicort) **1-2 vdechy**
- salmeterol+fluticason (Seretide) **1-2 vdechy**

5. Kortikoidy

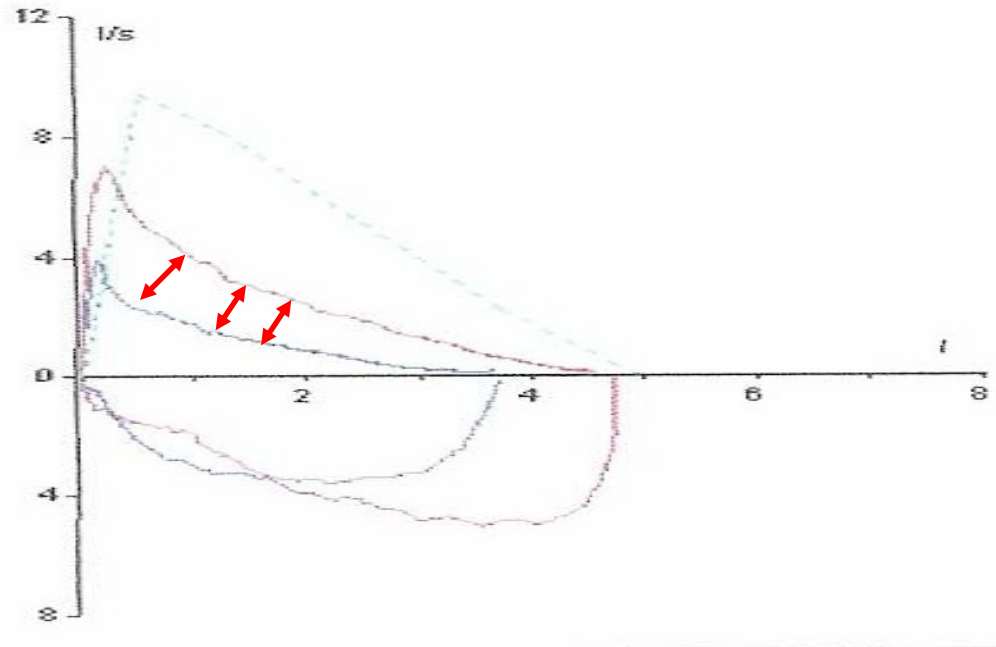
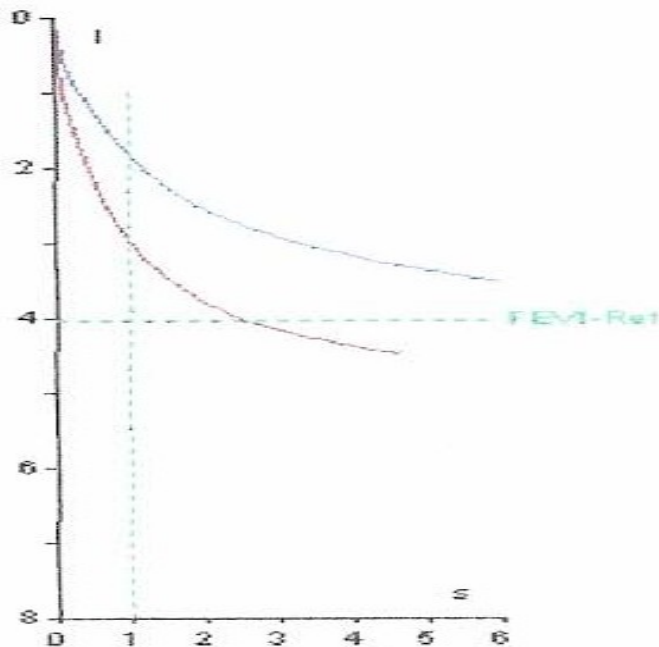
Hodnocení BDT

- Dle ERS/ATS a Sekce patologie a fyziologie dýchání a funkční diagnostiky
ČPFS **vzestup FEV1 o 12% + současně o 200ml absolutně** → **POZITIVNÍ BDT.**
- Vždy je nutno uvést, zda **reverzibilita byla částečná či úplná** → (úplná vedla k normalizaci hodnot).
- **Stupeň reverzibility** (nepovinné)
 - mírná (změna FEV1 o 15-25%)
 - střední (změna FEV1 26-50%)
 - výrazná (FEV1 více než 50%).

Hodnocení BDT II

- **Hodnocení odporů DC (pletyzmografie, přerušovaná metoda) svědčí pro pozitivitu testu změna $sRaw$ a $sGaw$ o 50%**
- **IOS – R5 o 25% a Fres o 20% hodnoceny jako pozitivní výsledek testu**
- **Další parametry – MEF 25,50,75 o 30% (u dětí 20%), změna plochy pod výdechovou částí křivky, průtok-objem Aex (15-20%), PEF je jako signifikantní hodnoceno zvýšení o 60 l/min, event. 15%.**

Spirometrie, křivka průtok/objem, srovnání Pre/Post



Statické plicní objemy :

Čas

09:37

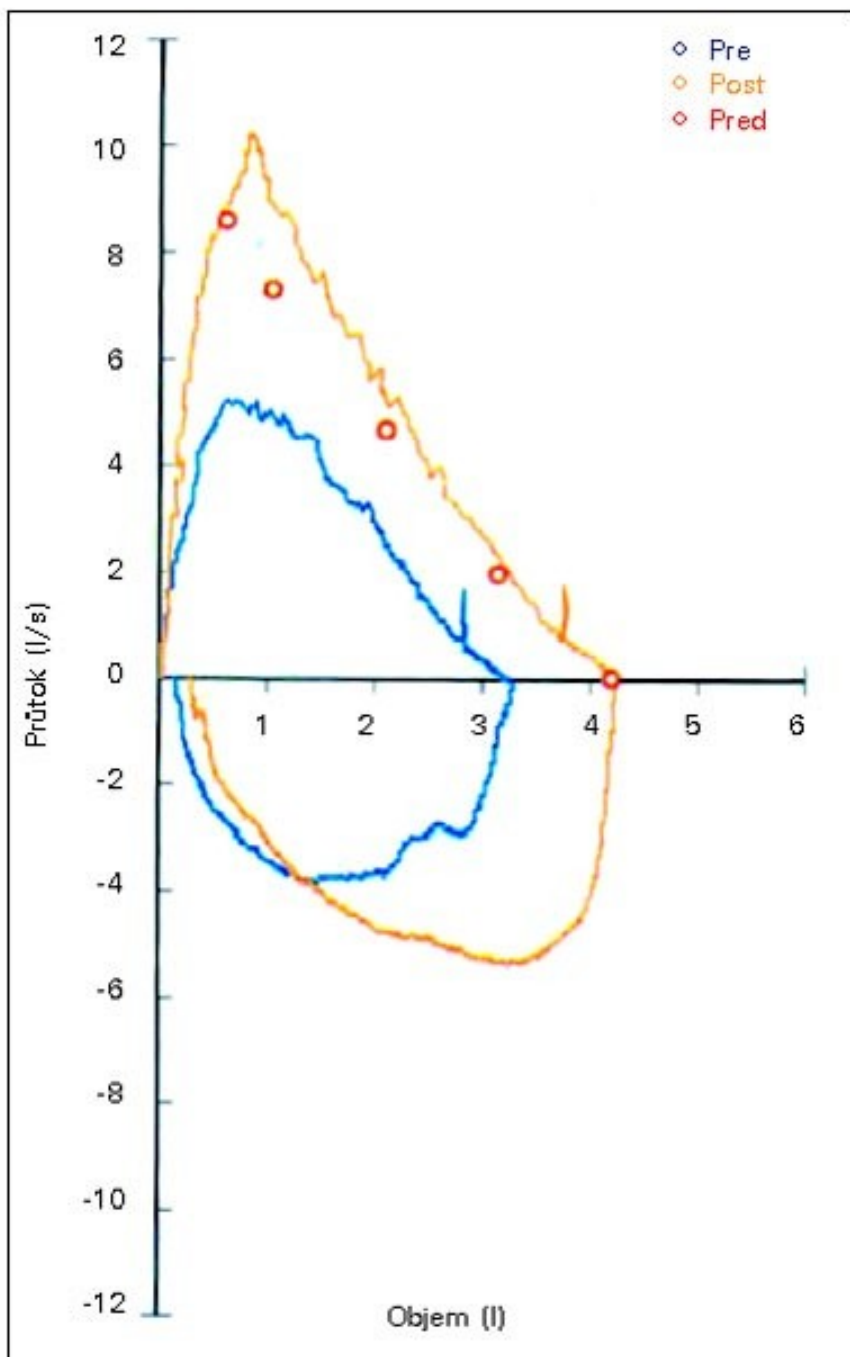
10:08
Ventolin 4
vdechy

Medikament

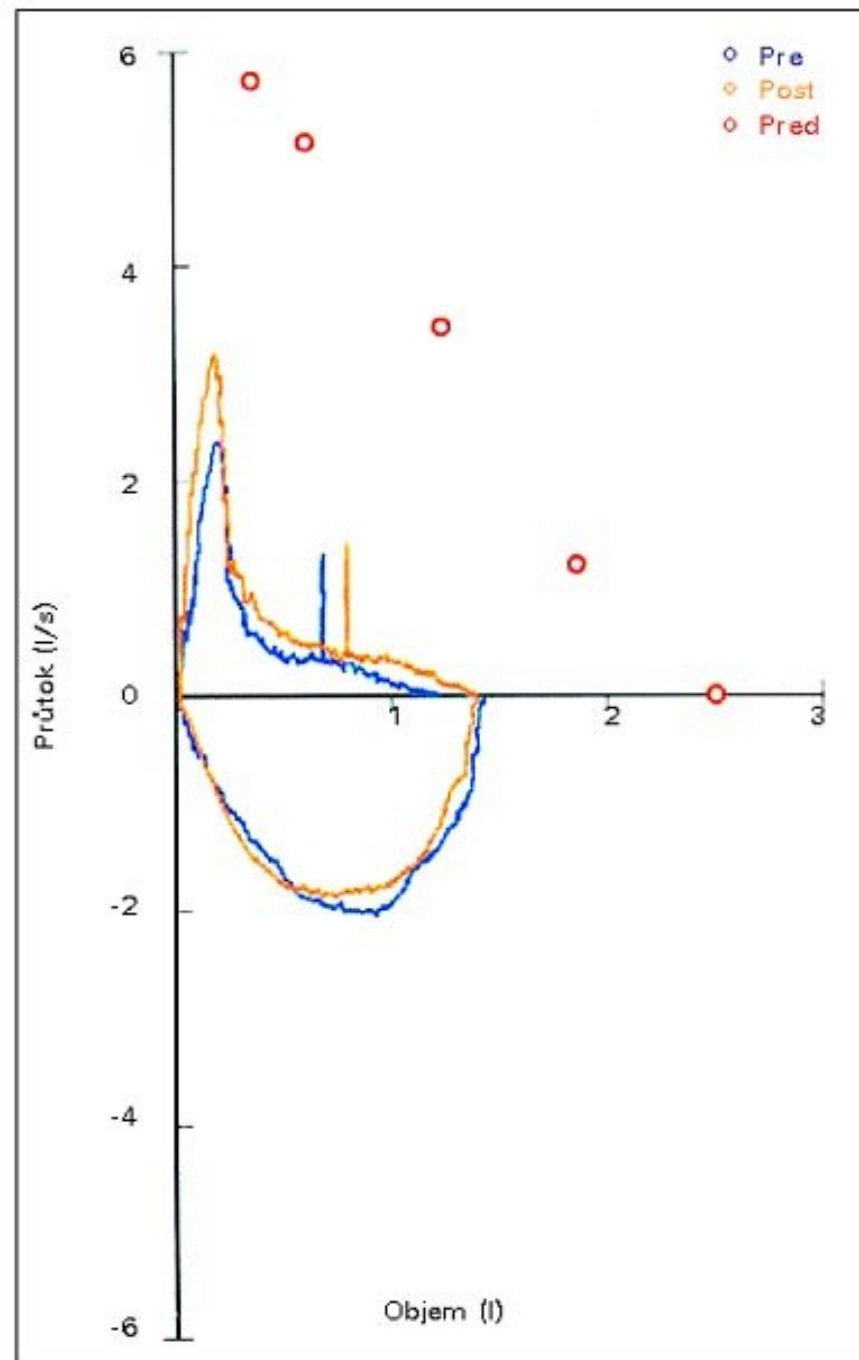
Parametr	Jednotka	Nál.	Pre	%Nál.	Post	%Nál.	Post%Pr
VC	l	5.22	3.70	71	4.74	91	28
ERV	l	1.43	0.84	59	1.10	77	31
IRV	l		1.69		2.95		75
TV	l		1.17		0.69		-41
IC	l		2.86		3.64		27

Dynamické plicní objemy :

FVC	l	5.00	3.65	73	4.57	91	25
FEV1	l	4.05	1.79	44	2.93	72	64
FEV1/FVC	%	79	49	62	64	81	31
PEF	l/s	9.41	3.90	41	7.06	75	81
MEF75	l/s	8.19	1.85	23	3.79	46	105
MEF50	l/s	5.16	1.02	20	2.09	41	104
MEF25	l/s	2.24	0.40	18	0.91	41	126
MEF25-75	l/s	4.27	0.88	21	1.86	43	111



Obr. 1: BDT u Astma bronchiale



Obr. 2: BDT u CHOPN

Zátěžové testy v pneumologii

Zátěžové testy chůzí

Faktory limitace fyzické aktivity pacientů s CHOPN

▪ PULMO

- bronchiální obstrukce → dušnost
- dynamická hyperinflace → dušnost (Gagnon, 2014, Int J Chron Obstruct Pulmon Dis)

▪ EXTRAPULMO

- **anxieta** → hyperventilace → zhoršení dynamické hyperinflace (Leivseth, 2012, Respir Med.)
- dysfunkce kosterního svalstva (zejména DKK)
 - fyzická inaktivita → svalová atrofie (Gosselink, 1996, AJRCCM)
 - fyzická inaktivita → svalová slabost (Bernard, 1998, AJRCCM)
 - změna distribuce svalových vláken ve prospěch typu II (Gosker, 2007, Thorax)
 - mitochondriální dysfunkce a snížená oxidativní kapacita (Maltais, 1996, AJRCCM)

Faktory limitace fyzické aktivity pacientů s CHOPN

▪ EXTRAPULMO

- **sarkopenie** (ztráta kosterního svalstva), která může být nejen u kachektických pacientů, ale též u jedinců obézních (tzv. sarkopenická obezita) (Jones, 2015, Thorax)
- přítomnost funkčního zkratu při V/Q nepoměru, hypoxie, plicní hypertenzí a pravostranné srdeční selhání (Kent, 2011, Int J Chron Obstruct Pulmon Dis
Elwing, 2008, Int J Chron Obstruct Pulmon Dis)

Zátěžové testy v pneumologii

- Spiroergometrie
- 6 minutový test chůzí (6MWT)
- Stupňovaný člunkový test chůzí (ISWT - incremental shuttle walking test)
- Vytrvalostní člunkový test chůzí (ESWT - endurance shuttle walking test)
- Sit-to-stand test (STS)
- Test chůze do schodů (SCT - stair climbing test)
- Ostatní

Spiroergometrie (CPET)

- Slouží především k testování tolerance zátěže, tedy schopnosti úspěšně vykonat stanovenou fyzickou zátěž. Obvykle je vyjadřována jako vrcholová spotřeba kyslíku (peakVO₂), které je jedinec schopen dosáhnout v průběhu postupně stoupající fyzické zátěže
- Symptomy limitovaným testem a jeho výsledek je významně závislý na vůli vyšetřovaného

CPET - indikace

- Odhad rizika velkých operací (plicních resekcí a dvoudutinové výkony)
- Diferenciální diagnostika námahové dušnosti
- Odhad prognózy různých onemocnění (CHOPN, IPP, iPAH, CHSS)
- Hodnocení terapeutických intervencí (revaskularizace, LVRS, BVR)
- Určení intenzity kondičního cvičení v rámci rehabilitace
- Detekce námahou navozeného bronchospasmu
- Detekce ischemické choroby srdeční
- Určení nutnosti mobilního zařízení k DDOT
- Hodnocení invalidity, případně míry handicapu

CPET - kontraindikace

- akutní infekční onemocnění, zejména horečnaté
- akutní cévní příhody (IM, nestabilní AP, CMP, plicní embolie, periferní tepenné uzávěry)
- závažné srdeční dysrytmie
- závažné chlopenní vady, zejména aortální a pulmonální chlopně
- nekorigovaná arteriální hypertenze (TK > 200/110 mmHg)
- těžká hypoxemie
- hypoglykemie, metabolický rozvrat
- významné psychické poruchy
- významné poruchy pohybového systému
- neochota pacienta, odmítnutí informovaného souhlasu

CPET - provedení

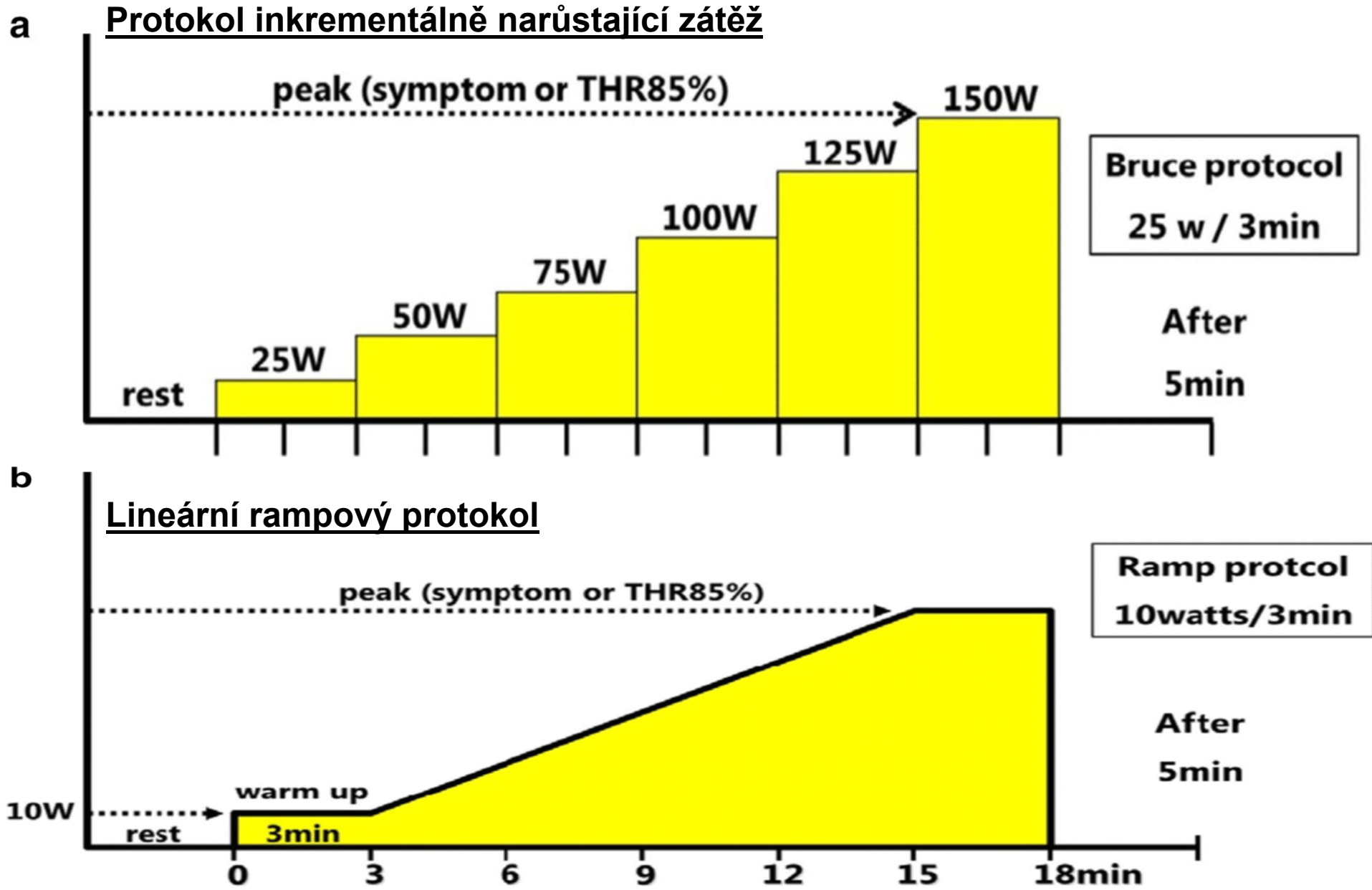
PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

- Lékař / zdravotní sestra
- Ergometr / Analyzátor výdechových plynů
- Tonometr / Oxymetr
- Resuscitační vozík / kyslík / defibrilátor

FÁZE VYŠETŘENÍ:

- Zahřívací fáze (2-3min, cíl dosažení plateau hodnot)
- Samotná zátěž dle zvoleného protokolu
- Recovery fáze 2-5min

CPET - provedení



CPET - hodnocení

NEJDŮLEŽITĚJŠÍ PARAMETRY

- **VO₂peak** (vrcholová spotřeba kyslíku → odráží maxim. aeróbní kapacitu)
- **VO₂/WR** (rychlost vzestupu VO₂ → schopnost zvyšovat CO / obraz funkce LK)
- **O₂ pulzový** (lineární vzestup se zátěží → dysfunkce LK / dekondice)
- **TK / TF / EKG** při zátěži
- **VE/VCO₂** (úroveň ventilace potřebnou k eliminaci CO₂ z organismu → ↑ zvětšení fyziol. mrtvého prostoru)
- **PETCO₂** (parciální tlak CO₂ na konci výdechu odráží (ne)shodu V/Q → ↓ hyperventilace / zvětšení fyziol. mrtvého prostoru)
- **RERpeak** (poměr VCO₂/VO₂, pokud >1.1 – dobrá snaha při zátěži)

CPET - hodnocení

- **Ventilační limitace zátěže**
- **Respirační limitace zátěže**
- **Kardiální limitace zátěže**

Stupeň postižení	Weber kategorie	VO ₂ peak ml/kg/min	%NH	AT ml/min/kg	CI pred L/min/m ²	VE pred L/min	Ve/VCO ₂ slope
norma	A	>20	>100	>14	>8	>60	<30
malý	B	16-20	75-99	11-14	6-8	50-60	30-36
střední	C	10-16	50-74	8-11	4-6	40-50	36-45
těžký	D	<10	<50	<8	<4	<40	>45

6MWT

- Jednoduchý test ke zhodnocení nemocných s kardiorespiračními onemocněními využívající submaximální zátěže při chůzi po rovině
- Při 6MWT dochází ve srovnání s bicykloergometrií k výraznější desaturaci
- **Výhody:**
 - Poskytuje lepší obraz fyzických aktivit než VO₂max
 - 6MWD koreluje dobře s kvalitou života a je dobrým prediktorem mortality a nutností hospitalizace
 - Odráží lépe změnu dušnosti po terapeutických intervencích a u pacientů s CHOPN po ukončení plicní rehabilitace

6MWT

- **Indikace:**
 - Zhodnocení funkčního stavu
 - Zhodnocení efektu terapie a RHB
 - Zhodnocení prognózy
- **Kontraindikace:**
 - Nestabilní AP / akutní IM v posledním měsíci
 - Ischemické změny na klidovém EKG
 - Dekompenzovaná hypertenze (TK > 180/100 mmHg)
 - Závažné arytmie / TF > 120/min

6MWT

▪ Podmínky provedení testu

- Přítomnost lékaře a vybavení pro kardiopulmonální resuscitaci
- Dostupnost O₂, NTG, inhalačních SABA
- Možnost kontinuální monitorace SpO₂
- Ústavní uzavřená chodba dlouhá 30–50 metrů
- Další vybavení: stopky, 2 kužely, tonometr, křeslo (event. lehátko)

▪ Hodnocení testu

- Normální hodnoty > 500 metrů (ženy) a > 600 metrů (muži)
- Minimální klinicky významná změna v 6MWD je mezi 25–33 metry
- Pro zohlednění věku **6MWD = 800 – (5,4 věk)**

- **6MWD = (7,57 x výška pacienta - 5,02 x věk – 1,76 x váha pacienta – 309)**
pro muže (Enright, 1998, AJRCCM)

- **6MWD = (2,11 x výška pacientky - 5,78 x věk - 2,29 x váha pacientky + 667)**
pro ženy (Enright, 1998, AJRCCM)

Protokol 6-MWT

Sjednocený formulář pro indikaci DDOT systémem Heimox® mobil
Štítek

Jméno a příjmení:

Rodné číslo:

Zdravotní pojišťovna:

Základní diagnóza:

Datum provedení:

6-MWT (podle Standardu ČPFS, SPP 64, 2004: 104-105)

	1. test	2.test	3.test
Intervence:	sine	O ₂ 1/min	O ₂ 1/min

Čas:

6-MWD:mmm
--------	--------	--------	--------

Navýšení vzdálenosti oproti 1. testu%%%
--------------------------------------	--------	--------	--------

SpO ₂ klid:%%%
------------------------	--------	--------	--------

SpO ₂ 2.min.:%%%
--------------------------	--------	--------	--------

SpO ₂ 4.min.:%%%
--------------------------	--------	--------	--------

SpO ₂ 6.min.:%%%
--------------------------	--------	--------	--------

SpO ₂ po ukončení:%%%
-------------------------------	--------	--------	--------

=10 min po ukončení testu při testovaném průtoku O₂

VAS/Borg:dušnost před.....
----------------------------	-------	-------	-------

VAS/Borg:únava před.....
--------------------------	-------	-------	-------

VAS/Borg:dušnost po
---------------------------	-------	-------	-------

VAS/Borg:únava po
-------------------------	-------	-------	-------

Počet zastávek:
-----------------	-------	-------	-------

Doba jejich trvání:
---------------------------	-------	-------	-------

Ukončení předčasné: ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE
----------------------------	--------	--------	--------

pokud ANO - proč:
-------------------------	-------	-------	-------

Symptomy při testu:			
---------------------	--	--	--

- bolest na hrudi: ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE
---------------------------	--------	--------	--------

- závrať: ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE
------------------	--------	--------	--------

- bolest, křeč DK: ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE	ANO/NE
---------------------------	--------	--------	--------

Závěr: Kriteria ČPFS k DDOT systémem Heimox® mobil ...splněna

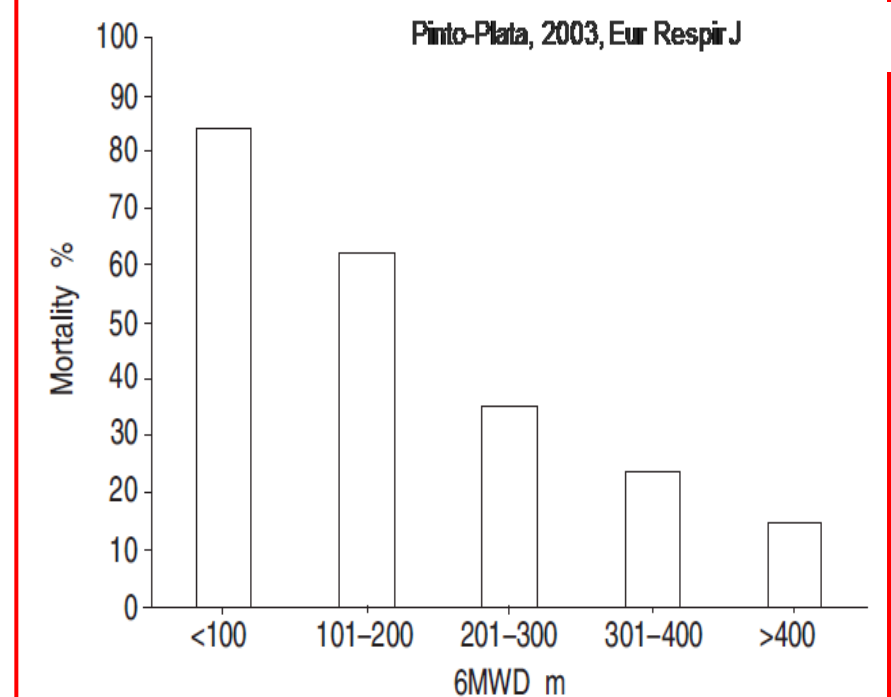
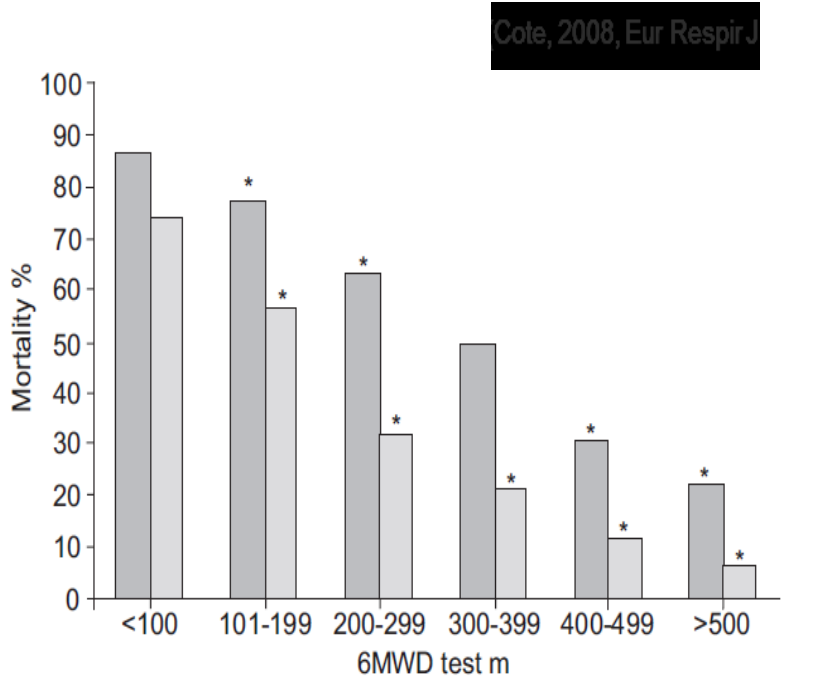
6MWT

- **Cut-off vzdálenost <350m při 6MWT k predikci mortality**

- je spojená s vyšším rizikem hospitalizací a úmrtí

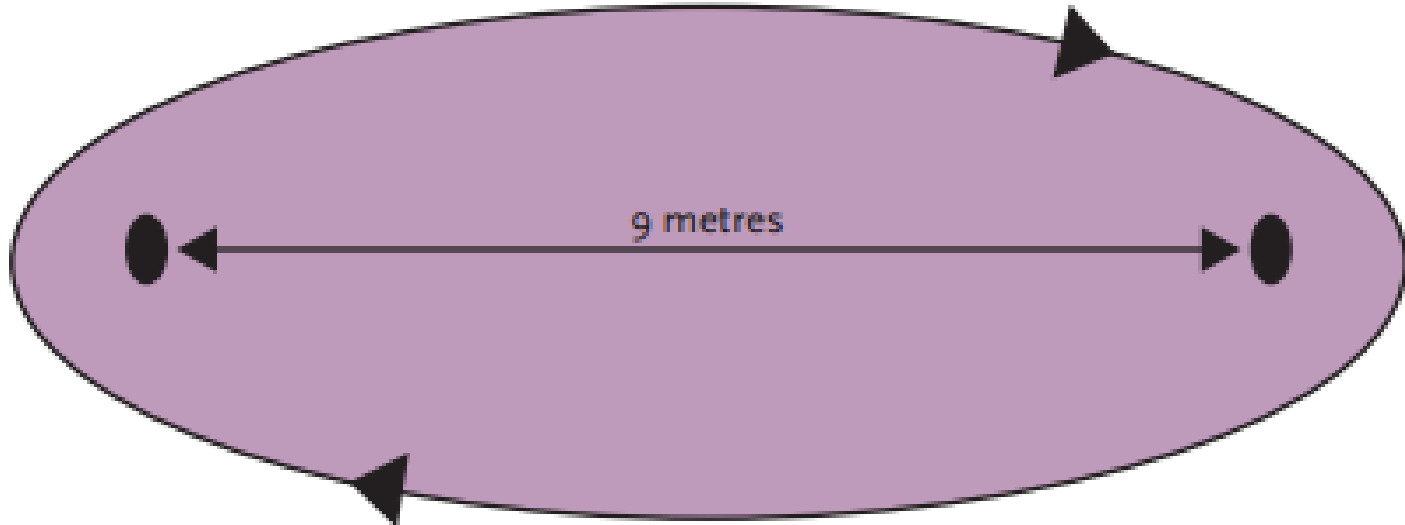
- doporučuje využívat jako referenční hodnotu při studiích (Celli, 2016, AJRCCM)

- Průměrná cut-off vzdálenost VŠECH studií **317m (200-440m)** (Singh, Eur Respir J, 2014)



ISWT

- Symptomy limitovaný maximální test k vyšetření funkční kapacity kardiovaskulárního systému (Holland, 2014, Eur Respir J)
- Silně koreluje s VO_{2peak} při CPET → ISWT + CPET podobná odpověď kardiopulmonálního systému (Singh, 1994, Eur Respir J)
- Dobře koreluje s mortalitou a četností rehospitalizací (Emtner, 2007, Respir Med) (Williams, 2012, Respir Med)



ISWT – provedení testu

- Indikace, kontraindikace podobné jak při 6MWT
- Dráha o délce **10m**, 2 kužely od sebe **9m**
- Rychlost chůze se upravuje pomocí zvukových signálů z originální audio nahrávky
- 12 úrovní → á 1 min nová úroveň → celková délka trvání 12 minut
- Během testu monitoring TF, saturace. Po ukončení testu TK, SAT.O2, Borg, RPE škála

ISWT – ukončení testu

- Dušnost, saturace O₂ < 80%
- Stenokardie
- Únava/křeče DKK
- Zmatenost, porucha koordinace, porucha rovnováhy
- Excesivní pocení, zblednutí, popelavé zbarvení kůže
- Jiné varující klinické příznaky

ISWT –hodnocení testu

- Minimální klinicky významná změna je **47.5m**
- **ISWT(pred) = 1449.701 - (11.735 × věk) + (241.897 × pohlaví) - (5.686 × BMI)**
muži = 1 ženy = 0.
- BTS (British Thoracic Society) → ISWT je součástí algoritmu předresekčního vyšetření
 - < 250m (25 otočení) = VO₂ 10ml/kg/min = vysoké riziko → CPET
 - >400m (40 otočení) = VO₂ >15ml/kg/min = střední riziko

Shuttle Walk Test Recording Form

Unit:

Designation:

Date:

ID:

First name:

Last name:

D.O.B. (dd/mm/yyyy)

Diagnosis:

Medication taken today	Dose	How many hours prior to testing?	Supplemental oxygen: yes/no
			Flow rate: Device: Method carried:
			Walking aid: yes/ no (specify)

Level:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ISWT	1											
	2											

		ISWT1	ISWT2		ESWT1	ESWT2
				Date/ Time:		
				Speed/ level:		
Start	Dyspnoea			Start	Dyspnoea	
	HR				HR	
	SpO ₂				SpO ₂	
	Distance (m):			Time (seconds):		
End	Dyspnoea			End	Dyspnoea	
	Exertion				Exertion	
	HR				HR	
	SpO ₂				SpO ₂	
Recovery	Dyspnoea			Recovery	Dyspnoea	
	Exertion				Exertion	
	HR				HR	
	SpO ₂				SpO ₂	
	Reason for termination			Reason for termination:		

ISWT – RPE škála

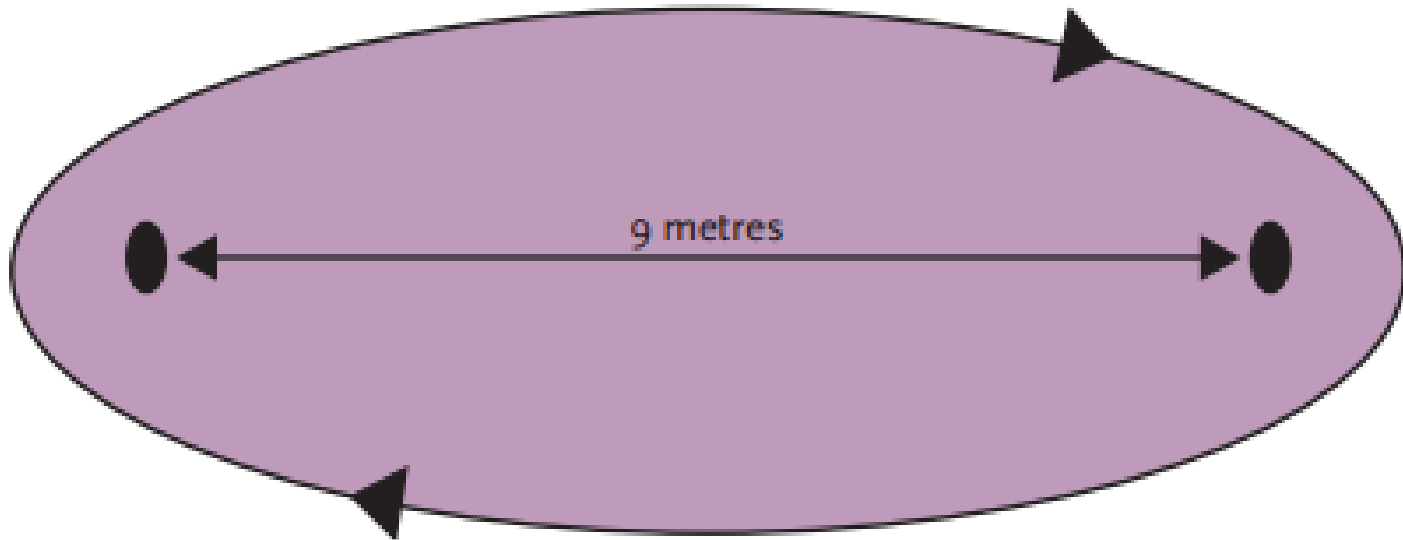
rating	description
6	NO EXERTION AT ALL
7	EXTREMELY LIGHT
8	
9	VERY LIGHT
10	
11	LIGHT
12	
13	SOMEWHAT HARD
14	
15	HARD (HEAVY)
16	
17	VERY HARD
18	
19	EXTREMELY HARD
20	MAXIMAL EXERTION

ESWT

- Symptomy limitovaný submaximální test k vyšetření funkční kapacity kardiovaskulárního systému (Holland, 2014, Eur Respir J)
- Submaximální = zhruba na úrovni 85% VO₂peak
- Dobře koreluje TFmax a dušností ve srovnání s CPET rovnaké intenzity (Revill, 1999, Thorax)
- Minimální klinicky významná změň **85m** anebo **45s** (Pepin, 2011, Thorax)

ESWT – provedení testu

- Dráha o délce **10m**, 2 kužely od sebe **9m**



- Indikace, kontraindikace, přístrojové vybavení podobné jak při 6MWT + ISWT
Pacient musí předtím podstoupit ISWT !!!

Sit-to-stand test (STS)

- Jednoduchý a praktický test k vyšetření funkční kapacity pacientů s CHOPN
- Neschopnost vstát a posadit se je asociována s horší funkční kapacitou, mobilitou a tím i vyšší mortalitou (Janssen, 2002, Phys Ther)
- 6MWT a STS dobře korelují co se týče:
 - dynamické odpovědi
 - symptomů (Ozalevli, 2007, Respir Med)
 - mortality (Puhan, 2013, Eur Respir J)
- Představuje vhodnou alternativu k 6MWT (Morita, 2018, Respir Care)

Sit-to-stand test (STS)

- **Protokoly**

- 30-second STS (30-s STS)
- 1-minute STS (1-min STS)
- 5-repetition STS (5-rep STS)
- 10-repetition STS (10-rep STS)

Test chůze do schodů (SCT)

- Jednoduchý nenáročný symptomy limitovaný test v minulosti využívaný chirurgy k vyšetření pooperačních komplikací po plicních resekcích
- Není žádná standardizace – instruovat pacienty vyšlapat co nejvíc schodů
- ERS/ESTS = doporučuje jako skrínigový test 1. linie pro výběr pacientů, kt. můžou podstoupit plicní resekci s nízkým rizikem **(výška vzestupu >22m = nižší riziko mortality, komplikací a nákladů)** (Brunelli, 2008, Ann Thorac Surg)
(Brunelli, 2009, Eur Respir J ERS/ESTS guidelines)
- 50% pooperační mortalita pneumonektomii (< 2 poschodí) vs 11% mortalita (> 2 poschodí) (Van Nostrand, 1968, Surg Gynecol Obstet)

Ostatní

Funkční testy používané u chronických plicních nemocí

Zkratka	Typ testu
3MST	3-minute constant rate step test
4MGS	4-m gait speed
5STS	5-repetition sit-to-stand
6MST	6-minute step test of free cadence
6PBRT	6-minute pegboard and ring test
BBS	Berg Balance Scale
Glittre ADL test	Glittre Activities of Daily Life test
GST	Grocery shelving task
SCPT	Stair climb power test
SPPB	Short physical performance battery
TUG	Timed up and go
UULEX	Unsupported upper limb exercise test

Krevní plyny (teorie a měření)

Normální hodnoty arteriálního Astrupu

Přímo se měří:

1) pH = 7,36-7,44

2) pCO₂ = 4,80-5,90 kPa (35-45 mmHg)

3) pO₂ = 9,9-13,3 kPa (80-100 mmHg)

Na základě naměřených parametrů se vypočítávají na bázi Henderson-Hasselbalchovy rovnice :

4) [HCO₃⁻] = 24 ± 2 mmol/l

5) BE = 0 ± 2,5 mmol/l

Preanalytická fáze hodnocení krevní plynů

▪ Zásady odběru

- **Rovnovážný stav** (15-20min telesný a psychický klid)
- **Anaeróbnost odběru**
- **Prevence koagulace krevní vzorky** (heparin)
- **Teplota při analýze** (ideál 37°C jinak použití korekčních rovnic)

▪ Místo odberu

- **Arteriální krev** (punkce a.radialis, a.brachialis, a.femoralis)
- **Arterializované** (ušní lalůček, bříško prstu)
- **Venózní** (stanovení pH, pCO₂, HCO₃⁻ a BEb)
- **Centrální venózní krev** (stanovení pH, HCO₃⁻ a BEb)

Analytická fáze hodnocení krevních plynů



- **Aktuální pH**

- Elektrochemicky, zpravidla miniaturizovanou skleněnou elektrodou

- **pCO₂**

1. Elektrochemicky Severinghausovou elektrodou skleněnou elektrodu, kt. je obalena vrstvičkou vody a oddělena od vzorku membránou prostupnou pro plyny. CO₂ ze vzorku difunduje přes semipermeabilní membránu do destilované vody, pH výsledného roztoku závisí na pCO₂

2. Interpolační metoda dle Astrupa – princip přímočaré závislosti titrační křivky CO₂ v krvi ak sa nanese do souřadnicového systému log pCO₂/pH

Analytická fáze hodnocení krevních plynů

3. Metóda zpětného dýchání - pacient dýchá ze spirometru / vaku O₂ nebo směs O₂/CO₂ dokud nedojde k vyrovnání koncentrací CO₂ v spirometru / alveol. prostoru → předpoklad, že pCO₂ ve vaku = p_vCO₂
- **pO₂**
 - Parciální tlak kyslíku se měří elektrochemicky Clarkovou kyslíkovou elektrodou.

Arterializované krevní plyny (specifika odběru)

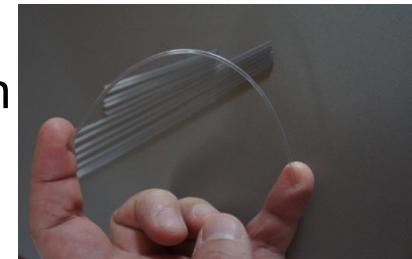
▪ Způsob odběru:

- **Chemicky** - hyperemizační mast (Finalgon)
- **Mechanicky** – intenzivní masáž
- **Termicky** – teplá voda 42-45°C, teplá poduška



▪ Kapiláry se suchým balancovaným heparinem na stěnách

▪ Analyzátor krevních plynů



Arterializované krevní plyny (specifika odběru)

- 30 min klid na lůžku/v čekárně
- Odběr neprovádět z místa se známkami ischemie
- Nepoužívat dezinfekční prostředky ovlivňující pH (např. Persteril) a pokožka nesmí obsahovat ani stopy mýdla
- Odebíráme volně vytékající krev, anaerobně – bez vzduchových bublin

Arterializované krevní plyny (specifika odběru)

- Vhodné zpracovat do 10 minut, max do 30 min (stříkačka z plastu - nutno zpracovat rychleji)
- Platí hlavně při výrazné leukocytóze (nad $50 \cdot 10^9/l$) a trombocytóze (nad $1000 \cdot 10^9/l$) – v tomto případě je vhodnější sklo.
- Současně možno vyšetřit Glu, Lakt, Na, K, Cl, Ca^{2+} , HGB, karboxy a met HGB, fetálního HGB a „novorozeneckého“ Bilirubin

Pulzní oxymetrie



- Neinvazivní metoda monitorování kyslíkové saturace a TF. Využívá 2 základních principů:

1. charakteristických **absorpčních spekter** derivátů hemoglobinu přítomných v krvi v nejvyšší koncentraci, tj. **oxyhemoglobinu a deoxyhemoglobinu**

2. **kolísání objemu arteriální krve** v tkáni v průběhu pulzové vlny

- **Pulzní oxymetr**

- **zdroj světla** → prochází tkání a dopadá na **detektor**, jenž měří jeho intenzitu

- **zdroj světla** → tvořen 2 LED diodami (LED) → emitují světlo při **660nm**

(červené světlo – absorbuje deoxyhemoglobin) a **940 nm** (blízké infračervené světlo - absorbuje oxyhemoglobin).

Pulzní oxymetrie - princip měření

- Světlo prochází prstem/ušním lalůčkem → pohlcováno kůží, pojivem, svaly a také arteriální, žilní i kapilární krví.
- **Pro stanovení SpO₂ – měří se pulzující složka absorbance**
(v průběhu pulzové vlny se mění objem tepenné krve v arteriích prstu a tedy i absorpce světla podmíněná HGB v ní. Ostatní složky absorbance jsou prakticky konstantní)

Pulzní oxymetrie

Použití

- JIP/operační sály
- Zátěžové vyšetření v terénu
- Porody, rhb procedury
- Dg. Syndromu spánkové apnoe

Faktory ovlivňující správnost měření

- Hypoperfúze místa měření → hypotenze, nízký srdeční výdej, hypotermie
- závažná anémie
- nadměrná intenzita okolního světla
- nesprávná poloha senzorů anebo pohyb senzoru
- venózní pulzace na dolní končetině.

Pulzní oxymetrie – klinické poznámky

- **Intoxikaci oxidem uhelnatým** → karboxyhemoglobin (COHb)
 - Stejná schopnost absorbovat světlo o vlnové délce 660nm jako oxyhemoglobin → falešně ↑ SpO₂.
- **Methemoglobinemie (MetHb)**
 - Stejný absorpční koeficient pro červené i infračervené světlo → falešně ↓ SpO₂, je-li její skutečná hodnota >85%, a k falešně ↑, je-li její skutečná hodnota <85%.