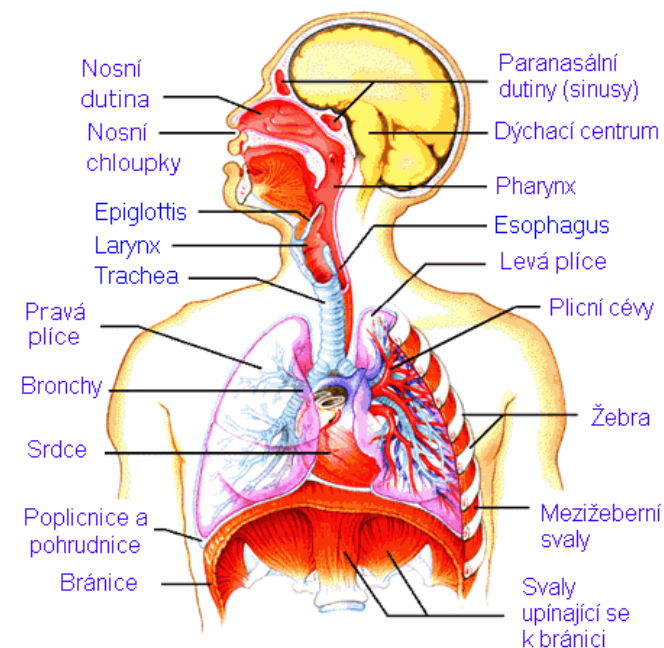


Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzika dýchání. Spirometrie



Obsah přednášky

Mechanismus výměny plynů mezi organismem a okolím (dýchací pohyby – mechanika dýchání, difuze a rozpouštění plynů)

Dechové objemy a kapacity

Dechový odpor

Dechová práce

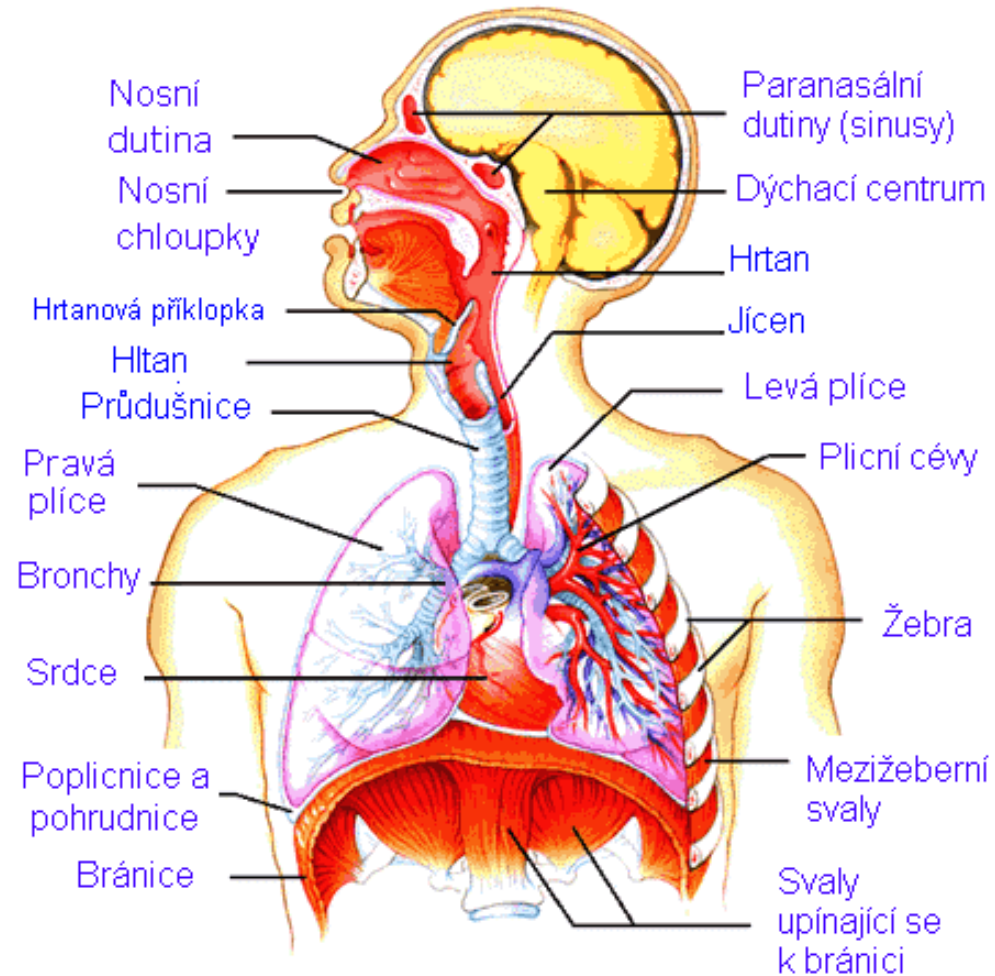
Spirometrie

Některé biofyzikální aspekty dýchání

Ventilační pohyby

Účastní se především mezižební svaly a bránice.

Dýchání hrudní (převažuje u žen) a břišní (převažuje u mužů).



Difuze O₂ a CO₂ v plazmě

Bunsenovy koeficienty rozpustnosti (α) pro plyny v krvi o tělesné teplotě. Jednotkou rozpustnosti je (ml plynu při standardní teplotě a tlaku)*(ml krve)⁻¹ *(101,3 kPa)⁻¹	
CO ₂	0,52
CO	0,018
N ₂	(Voda: 0,013; Tuk: 0,065)
O ₂	0,022

Molekulové hmotnosti:

$$M_{O_2} = 32$$

$$M_{CO_2} = 44$$

$$\frac{D_{CO_2}}{D_{O_2}} = \frac{\alpha_{CO_2}}{\alpha_{O_2}} \cdot \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{CO_2}}} = 20,9$$

Výměna plynů

Prostředí	Druh transportu	pO ₂ (kPa)	pCO ₂ (kPa)
alveoly	proudění	13,3	5,2
alveolo-kapilární stěna	difuze	-	-
Krevní oběh: tepny žíly	proudění	12,7 5,3	5,5 6,0
Kapilární stěna, buněčná membrána	difuze	-	-
Buňka	difuze	4,0	6,7

Daltonův zákon

Daltonův zákon pojmenovaný po svém objeviteli Johnu Daltonovi (+1844 fyzik, matematik) zní: Tlak směsi plynů je roven součtu jejich parciálních tlaků.

Zákon přesně platí pro ideální plyny.

Pro reálné plyny je, zejména pro vyšší tlaky, narušen kvůli objemu obsazenému molekulami a mezimolekulovému silovému působení.

$$P_{\text{celk}} = P_1 + P_2 + \dots + P_i$$

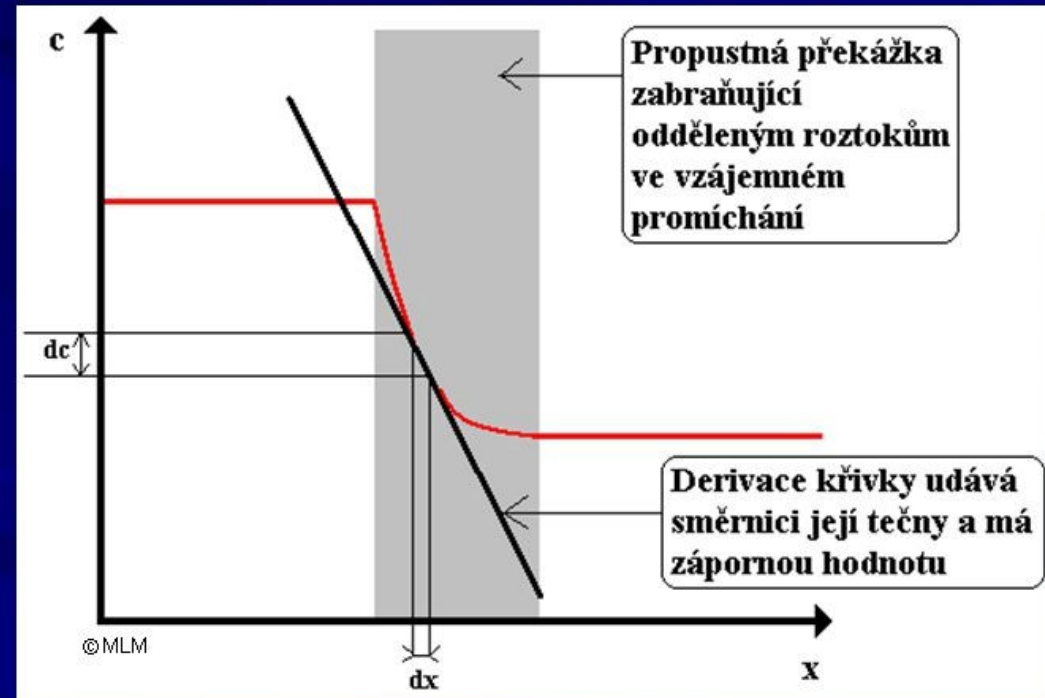
Fickův zákon

I. Fickův zákon

A.E. Fick (1885):

(pohyb látky ve směru osy x , jednorozměrný případ difuze). I. Fickův zákon:

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$



D - difuzní koeficient [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
Typické hodnoty D :
od $1 \cdot 10^{-9}$ pro nízkomolekulární látky po $1 \cdot 10^{-12}$ pro velké makromolekuly

Fickův zákon

II. Fickův zákon

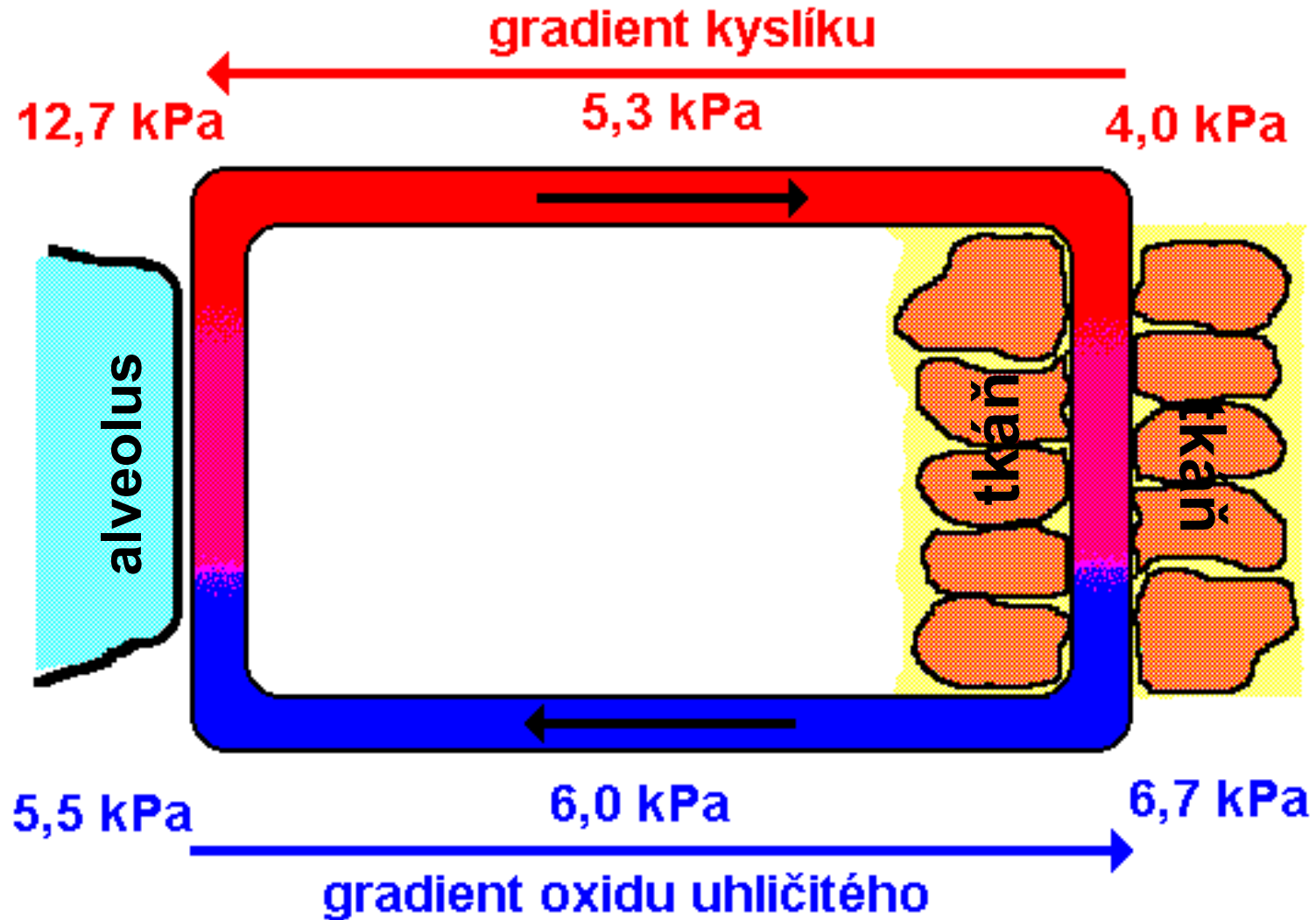
1. Fickův zákon platí pro ustálenou (stacionární) difuzi, při které se koncentrační gradient látky nemění v čase. Pro většinu reálných difuzních procesů však tato podmínka splněna není a pro popis difuze je nutno použít 2. Fickův zákon:

$$\frac{dc}{dt} = D \cdot \frac{d^2c}{dx^2}$$

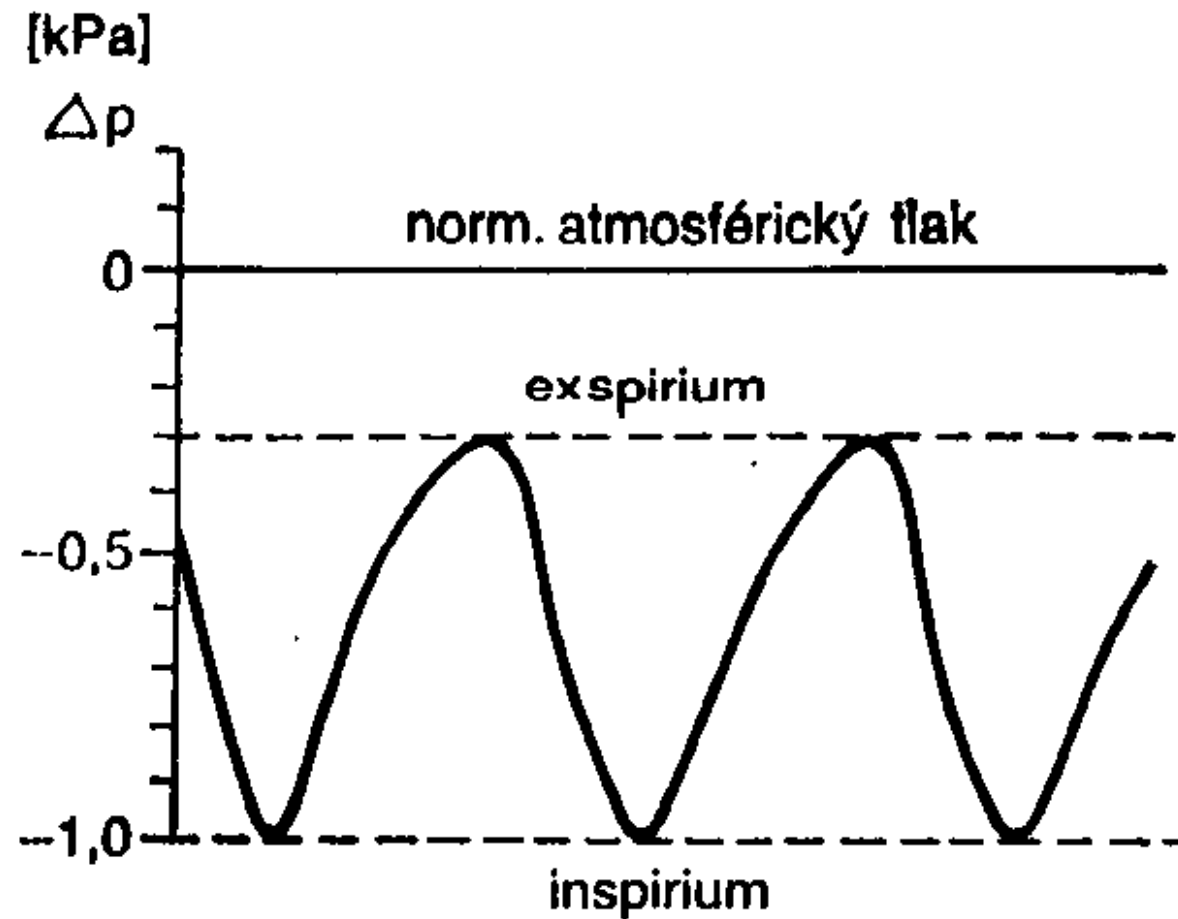
Výraz d^2c/dx^2 (druhá derivace koncentrace c podle polohy x , $d(dc/dx)/dx$, čili infinitezimální změna koncentračního gradientu podél osy x . Čteme: Časová změna koncentrace látky v daném místě je úměrná prostorové změně gradientu koncentrace, konstantou úměrnosti je difuzní koeficient.

2. Fickův zákon je formálně shodný s rovnicí pro vedení tepla - koncentrace c je ovšem nahrazena absolutní teplotou T .

Výměna dýchacích plynů

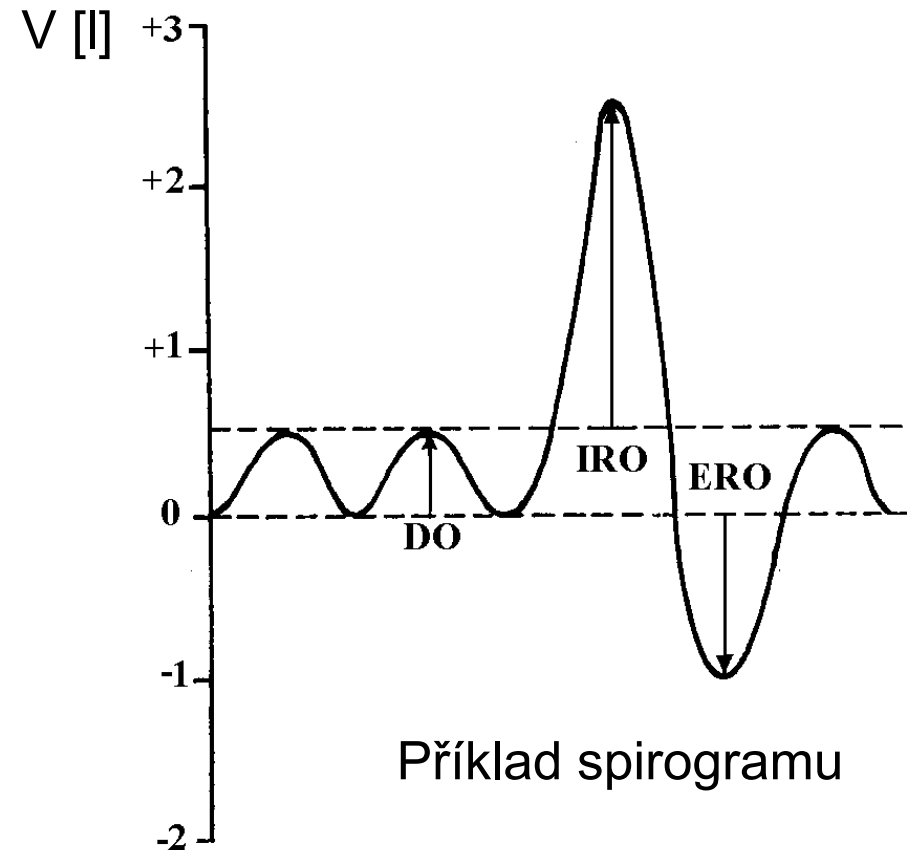


Změny negativního nitrohručního tlaku během dýchání

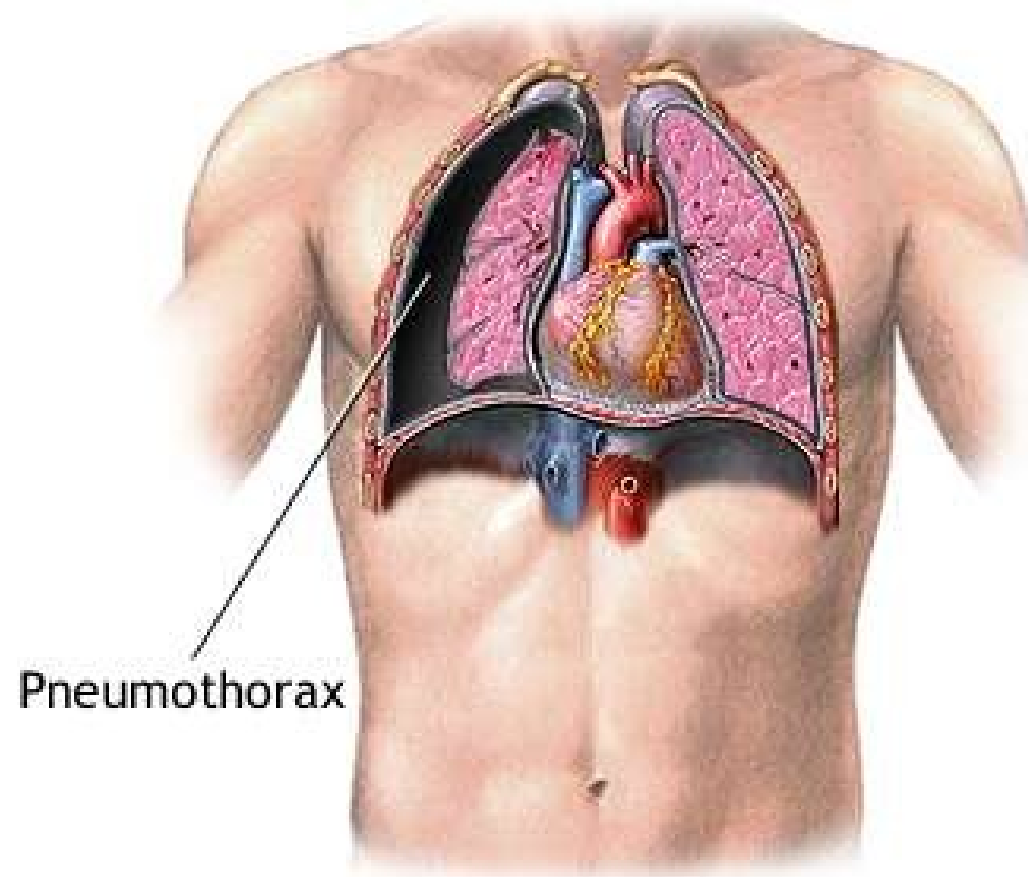


Dechové objemy a kapacity

- vzduch v dýchacích trubicích - mrtvý prostor - 150 ml
- reziduální objem vzduchu v alveolech - RO - 1 l
- expirační rezervní objem - ERO - 1,5 l
- (klidový) dechový objem - DO - 0,5 l
- inspirační rezervní objem - IRO - 2,5 l
- vitální kapacita $VK = ERO + DO + IRO$
- funkční reziduální kapacita $FRK = RO + ERO$
- Mírou ventilace plic je minutový objem $MO = DO \cdot f$



Pneumothorax



http://www.pennhealth.com/health/health_info/Surgery/graphics/Pneumothorax_2.jpg

Dýchací odpory

Elastický odpor plic a hrudníku - dán napětím elastických vláken v plicní tkáni, podobný vliv má **povrchové napětí alveolů**.

Neelastický odpor tkání (též tkáňový viskózní odpor). Vzniká třením plicní tkáně, hrudníku, dýchacích svalů a orgánů dutiny hrudní.

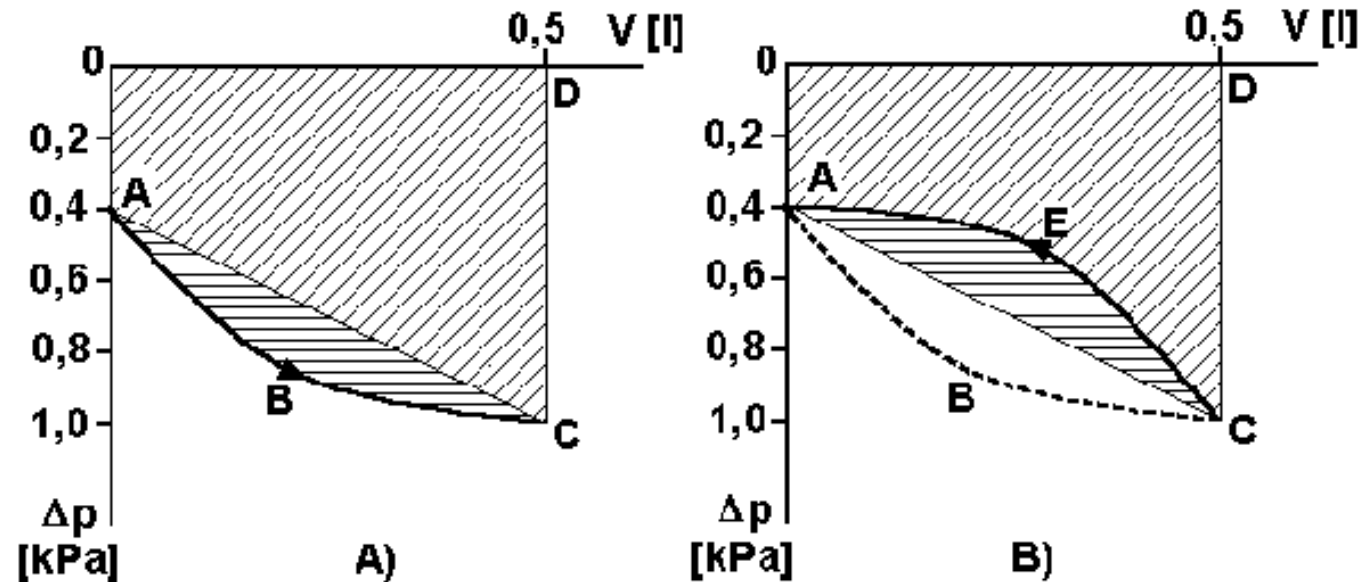
Proudový odpor dýchacích cest - komplex odporů, které kladou vzdušnému proudu dýchací cesty – příčinou je viskozita vzduchu a turbulence, k nimž dochází i místech větvení dýchacích cest.

Dýchací práce

a obrázek k zamyšlení

Při překonávání souhrnu dýchacích odporů platí:

$$W = p\Delta V \quad p \text{ je rozdíl tlaku nitrohruďního a nitroplicního}$$



Dýchací práce. A) - při nádechu, B) - při výdechu. Plocha 0ACD0 - elastická práce konaná na úkor energie organismu (při nádechu) nebo pružnými tkáněmi přeměnou potenciální energie (při výdechu). Plocha ABCA je při nádechu aktivní práci proti neelastickému odporu. Plocha ACEA je práci proti neelastickému odporu při výdechu, na úkor potenciální energie nahromaděné při nádechu (podle Pilewského).

Výpočty dýchací práce

při klidovém dýchání:

minutový objem MO = 7 l

dechová frekvence DF = 14 min⁻¹

tlak p: 0,7 kPa

dechový objem V: 0,5 l (5·10⁻⁴ m³)

práce W = 0,35 J - pro jeden vdech

294 J - za 1 hodinu



při velké zátěži:

MO = 200 l

DF 100 min⁻¹

p = 0,7 kPa

V = 2 l (2·10⁻³ m³)

W = 1,4 J - pro jeden vdech

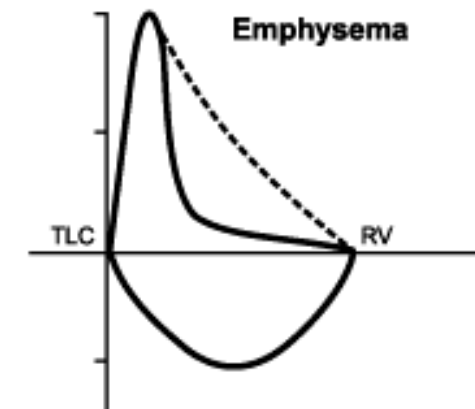
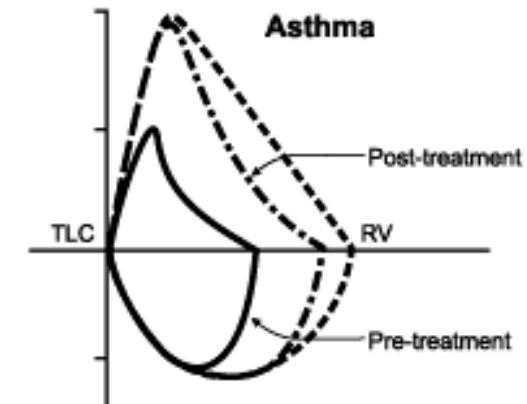
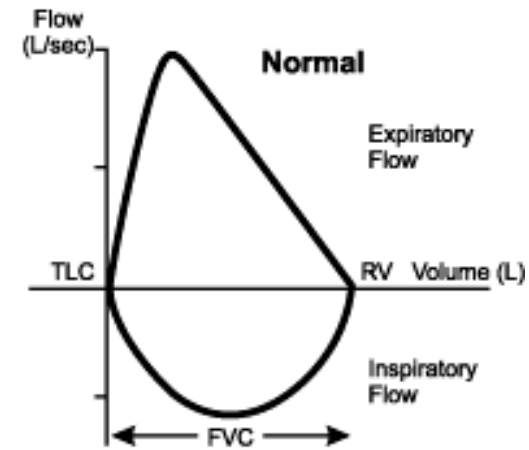
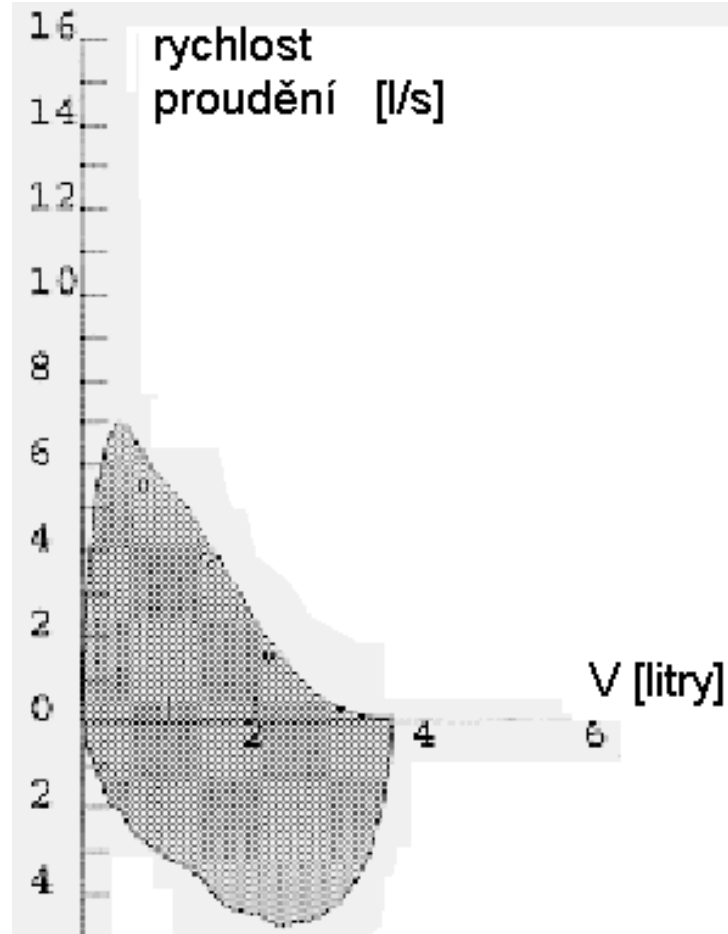
8400 J - za 1 hodinu

Spirogram

Měříme
závislost
objemu na
čase

nebo

velikosti toku
na dechovém
objemu



Další biofyzikální aspekty dýchání

Projevy fyzikálních vlastností plic v některých oblastech diagnostiky a terapie:

- největší plocha kontaktu s vnějším prostředím
- možnost ovlivnění funkcí organismu prostřednictvím dýchání (hyperventilace)
- rušivý vliv dýchacích pohybů na diagnostické obrazy
- negativní kontrast při rtg. vyšetřeních
- rizika v UZ diagnostice a při litotrypsi

Autor:
Vojtěch Mornstein

Obsahová spolupráce:
C.J. Caruana, I. Hrazdira

Poslední revize: září 2024