



Invazivní a neinvazivní plicní ventilace

Vladimír Černý

Centrum pro výzkum a vývoj
Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny,
Univerzita Karlova v Praze, Lékařská fakulta v Hradci Králové,
Fakultní nemocnice Hradec Králové

Dept. of Anesthesia, Pain Management and Perioperative Medicine,
Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada

„Potential Conflict of Interest“

Prof. MUDr. Vladimír Černý, Ph.D., FCCM

- Ve vztahu k tématu nemám konflikt zájmů
- Cestovní náklady jsou hrazeny ČSIM ČLS JEP
- Konzultační a přednášková činnost pro BBraun, Fresenius, MSD, Orionpharma, Bard, Roche, NovoNordisk, AOP Orphan.

Co lze z tématu *UPV* stihnout během 20 minut ?



Key words:
Ventilatory support

PubMed 13104 “hits”

***Co má (a asi i chce) vědět
“mladý” kardiolog ?***

Nejnovější studie o UPV ? **NE**

Detaily různých aspektů UPV ? **NE**

**Jak ventilovat “dobře” své
pacienty ? ANO**

- ✓ Co “nejsprávněji”
- ✓ Co “nejbezpečněji”
- ✓ Na co myslet během UPV ?

Doing the
Right Things
The
Right WaY



*Nedělat jen “správné” věci,
ale **dělat je i správně** ... s
ohledem na klinický kontext
individuální situace*

**ventilatory
support and ...**

Healthy *in just*

20 MINUTES?

Absolutely!

Click **here** to find out more!

... what rationale is behind ?

Obsah

- 1) **Základní východiska pro plicní ventilaci ?**
- 2) **Než zahájíme UPV ...**
- 3) **Co je “bezpečná” ventilace ?**
- 4) **Kam směřuje UPV v roce 2014 ?**
- 5) **“Key points” do klinické praxe**

Základní východiska ?

Základní východiska

1. Co je invazivní a neinvazivní ...
2. Rozdíl mezi oxygenačním a ventilačním selháním ...
3. Plicní ventilace je “jen” způsob podpory nebo náhrady vybraných funkcí dýchacího systému, který nám umožňuje získat čas ... (kontrola vyvolávající příčiny a zotavení plic)

Základní východiska

4. Zavedení plicní ventilace významně:

- ovlivňuje funkci orgánů/systémů
- zasahuje do homeostatických mechanismů organismu

5. Plicní ventilace má silný iatrogenní potenciál (koncept VILI)

6. Poskytovat UPV na základě znalosti fyziologie

Koncept “Physiology based ventilatory support”

- 1) Fyziologie umělé plicní ventilace
- 2) Patofyziologie stavů, kde plicní ventilaci používáme



Konzept
“Physiology based ventilatory support”

State of the evidence: mechanical ventilation
with PEEP in patients with cardiogenic shock

Jonathan Wiesen,¹ Moshe Ornstein,² Adriano R Tonelli,¹ Venu Menon,³
Rendell W Ashton¹

Wiesen J, et al. *Heart* 2013;**99**:1812–1817.

Effect of IPPV and PEEP on cardiopulmonary circulation ...

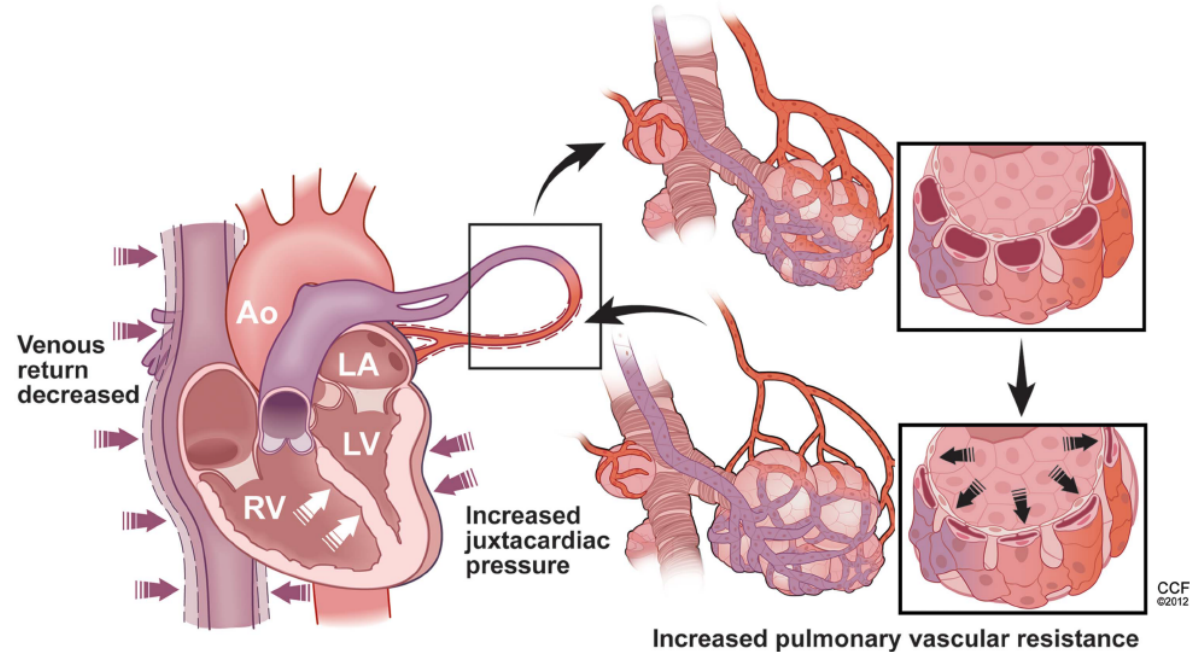


Figure 1 Mechanical effects of positive pressure ventilation on cardiopulmonary circulation. The detrimental mechanical effects of positive pressure



1. Snížený žilní návrat
2. Dilatace PK vedoucí k přesunu septa
3. Snížené plnění LK a srdečního výdeje

ALE ...

... nemusí to
tak být vždy

Table 1 Haemodynamic effects of positive pressure ventilation on cardiac output

Haemodynamic effect of positive pressure ventilation	Likely effect on cardiac output	
	Preload dependent	Afterload dependent
RV preload ↓	↓	↑
RV afterload ↑	↓	↓
LV preload ↓	↓	↑
LV afterload ↓	↑	↑

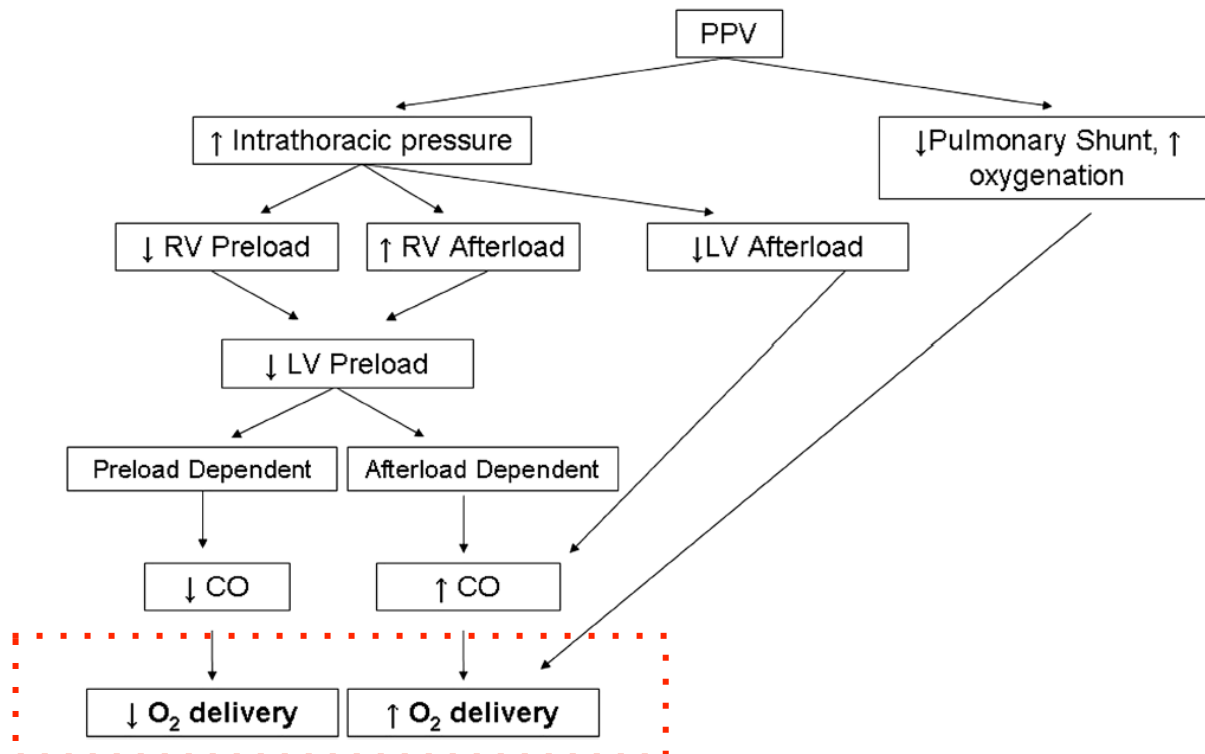


Figure 2 Cardiopulmonary effects of invasive positive pressure ventilation (PPV). CO, cardiac output; LV, left ventricular; RV, right ventricular.

Table 3 Management of positive end-expiratory pressure (PEEP) based on aetiology of shock

Type of shock	Potential drawback to PEEP	Means of monitoring and compensating
Hypovolemic	↓ RV and LV preload can lead to ↓ CO and worsening of hypotension	Ensure adequate volume resuscitation; carefully monitor BP
Cardiogenic	Although the ↓ LV afterload will ↑CO, the ↓ RV and LV preload may ↓ CO to a greater degree	Ensure that the patient does not have concomitant hypovolaemia
Distributive	↓ RV and LV preload can lead to ↓ CO and worsening of hypotension	Ensure adequate volume resuscitation; carefully monitor BP
Obstructive	↑ RV afterload may precipitously ↓ CO in light of ↓ RV and LV preload	Vigorous hydration and vasopressor support may be necessary to maintain haemodynamic regulation

BP, blood pressure; CO, cardiac output; LV, left ventricular; RV, right ventricular.

Wiesen J, et al. Heart 2013;99:1812–1817.

Klíčové faktory determinující “”chování” oběhu při UPV jsou:

- 1) výkonnost levé a/nebo pravé komory
- 2) náplň cirkulujícího objemu

Než zahájíme plicní ventilaci ...

*Jaké jsou (a mají být)
“key questions” ?*

1) Je plíce „zdravá“ nebo je přítomna plicní dysfunkce ?

2) Jaká je etiologie plicní dysfunkce ?
Jak byla dosud léčena (tj. kdy lze očekávat efekt provedených intervencí) a jaká je fáze onemocnění/vývoje plicní dysfunkce?

3) Má plicní dysfunkce obstruktivní nebo restriktivní povahu ?

4) Jaký je stupeň plicní dysfunkce, jaké je riziko poškození nemocného a neměly by být zváženy alternativní postupy?

5) Jaké byly předchozí intervence a jak na ně nemocný reagoval?

6) Jaká je konstituce nemocného, jaký má nitrobřišní tlak?

Co je “bezpečná” ventilace ?

Bezpečná umělá plicní ventilace neexistuje, ale ...

... nastavením lze její negativní vliv snížit
na co nejnižší NUTNOU mez

Klasické rozdělení mechanismů VILI

■ Atelektrauma

- ◆ Poškození alveolů a malých dýchacích cest cyklickými recruitmentem a derecruitmentem

■ Volutrauma

- ◆ Poškození nadměrnou expanzí alveolů působením vysokých objemů/tlaků

■ Biotrauma

- ◆ Alveolární zánětlivé poškození způsobené uvolněním cytokinů z plicního parenchymu jako reakce na poškození způsobené atelektraumatem nebo volutraumatem
 - Slutsky AS, 1999 Lung injury caused by mechanical ventilation, Ches 116: 9S-16S

Ventilator-induced lung injury: The anatomical and physiological framework

Crit Care Med 2010 Vol. 38, No. 10 (Suppl.)

Luciano Gattinoni, MD, FRCP; Alessandro Protti, MD; Pietro Caironi, MD; Eleonora Carlesso, MSc

Stress (zatížení, tlak)

- Zatížení vznikající v plicním parenchymu v závislosti na transpulmonálním tlaku
- **Korelátem stressu je transpulmonální tlak P_L**

Strain (rozepnutí, deformace)

- Deformace plicní struktury ve srovnání s výchozím tvarem (tvarem při normální FRC)
- $\text{strain} = \Delta V/V_0$, tj. dechový objem/FRC při PEEP 0

Za fyziol. okolností platí:

$$\text{Stress} = K \cdot \text{strain}, \text{ tj. } P_L = K \times V_t/V_0$$

K odpovídá tzv. specifické elastanci (transpulmonálnímu tlaku, při kterém dochází ke zvýšení FRC na dvojnásobek), odpovídá i při ARDS 13 cm H₂O

Mechanismy poškození plic dle stress and strain conceptu

- 1. transpulmonální tlak
 - ◆ **Při transpulmonálním tlaku nad 20 cm H₂O biotrauma, nad 27 -30 cm strukturální disrupce**
 - ◆ *Cave: tlak generovaný ventilátorem + podtlak generovaný dechovým úsilím pacient*
- 2. Plíci poškozuje strain tj. EILV větší než 1,5 násobek FRC nad úrovní FRC
- 3. Plíci poškozuje ventilátorem dodaná mechanická energie
 - ◆ $TV \times DF \times \text{čas}$

Ventilator-induced lung injury: The anatomical and physiological framework

Crit Care Med 2010 Vol. 38, No. 10 (Suppl.)

Luciano Gattinoni, MD, FRCP; Alessandro Protti, MD; Pietro Caironi, MD; Eleonora Carlesso, MSc

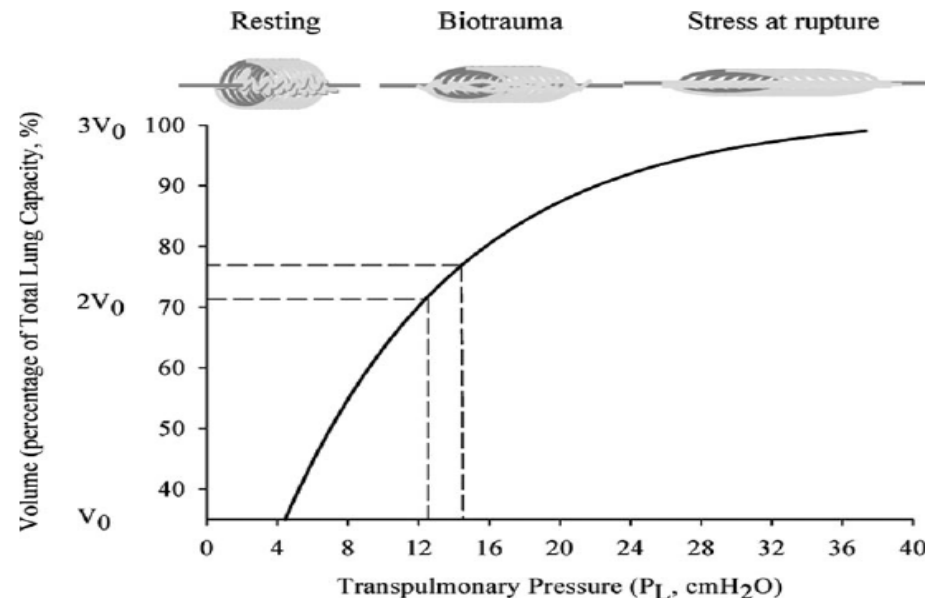
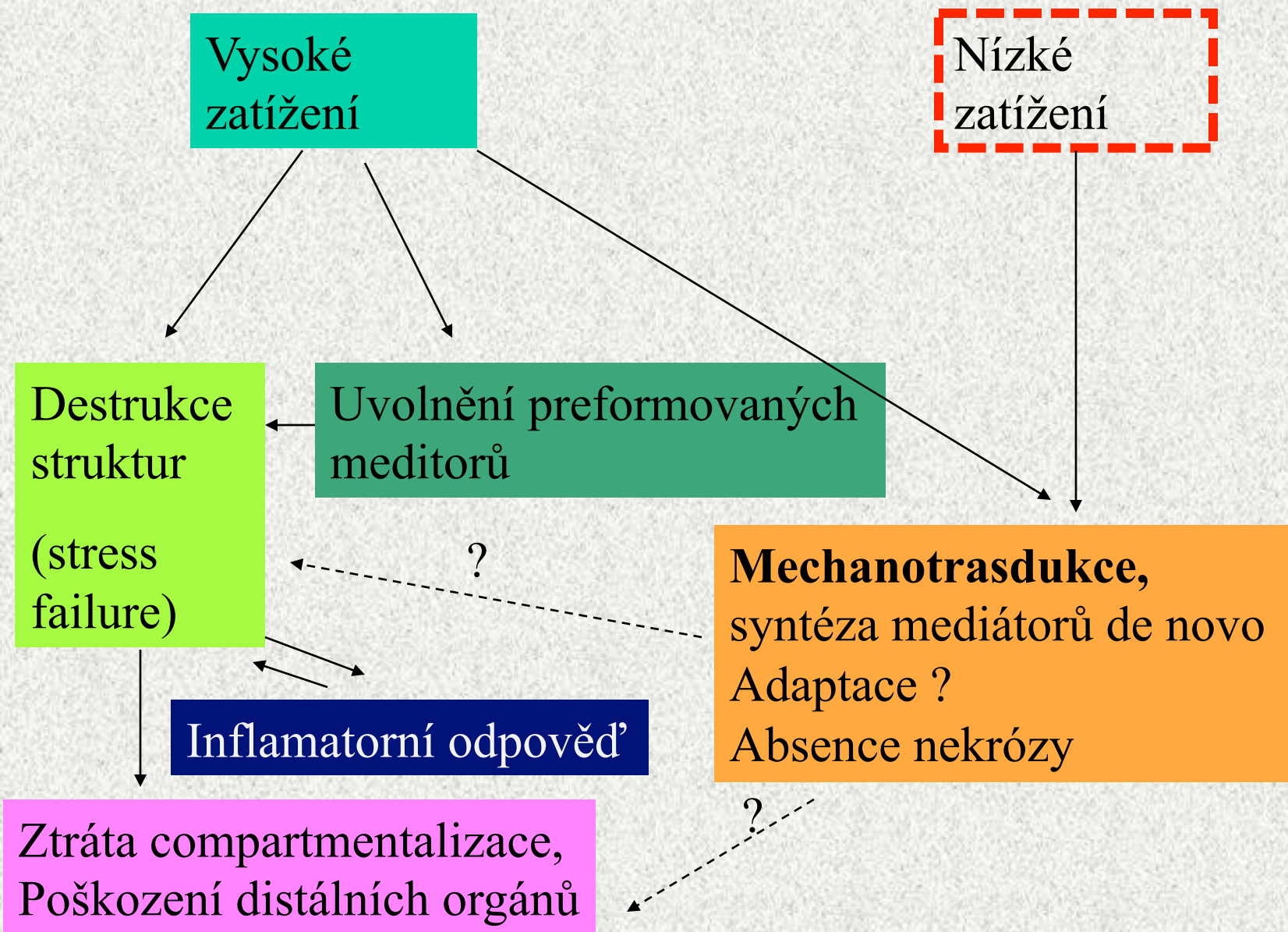
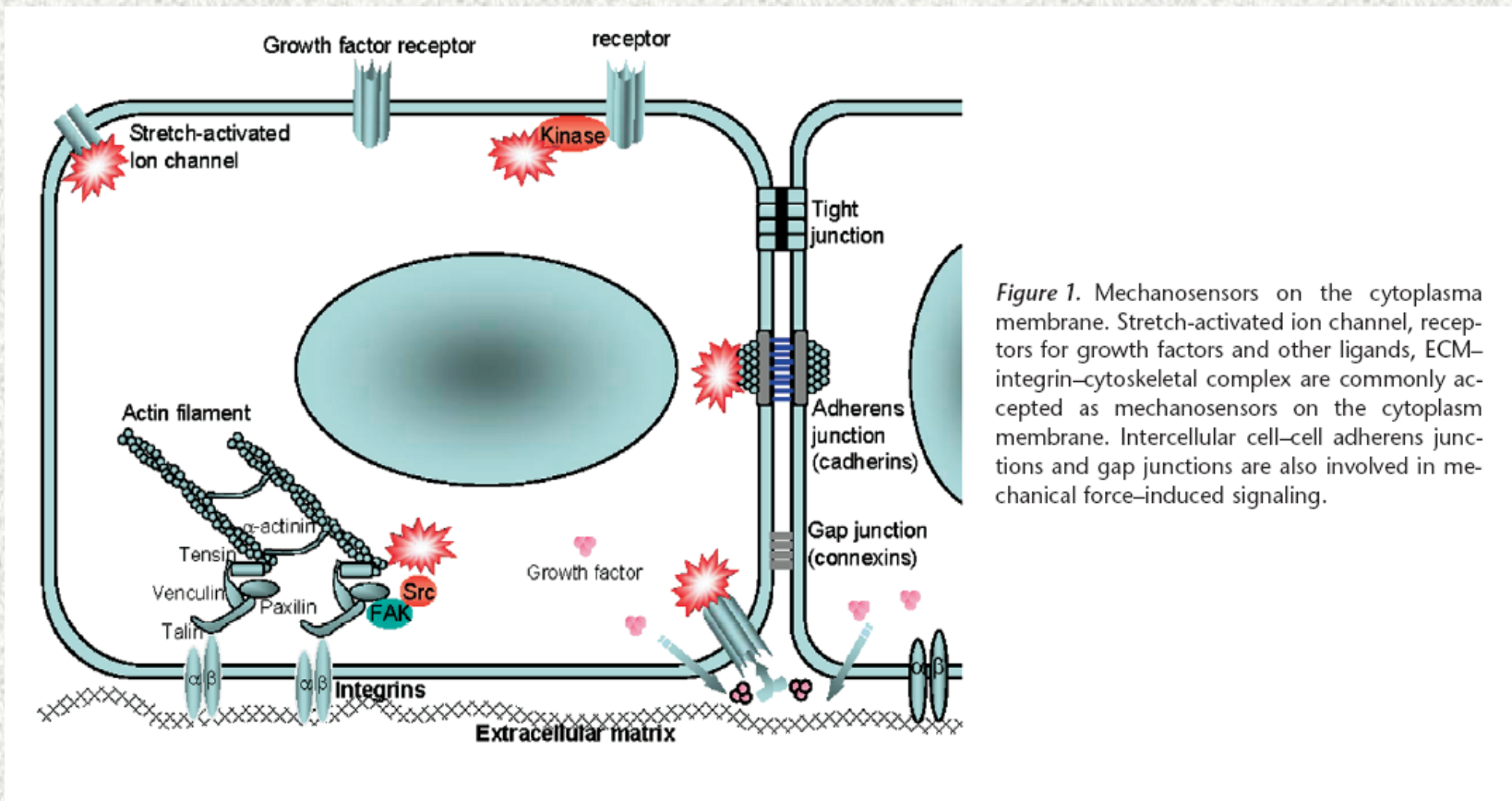


Figure 1. Relationship between lung volume (percentage of total lung capacity) and transpulmonary pressure (modified from reference 14). V_0 corresponds to the functional residual capacity. When the lung is inflated with a tidal volume equal to functional residual capacity, the transpulmonary pressure is approximately 13 cm H₂O (specific elastance). The maximum physiologic lung volume (total lung capacity) is reached when tidal volume is two times functional residual capacity and 2 and transpulmonary 2 and transpulmonary pressure is approximately 26 cm H₂O. The behavior of the lung fibrous skeleton, modeled as elastin fibers (extensible spring) and collagen tissue (inextensible string) set in parallel, is described at the top of the figure.

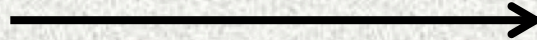
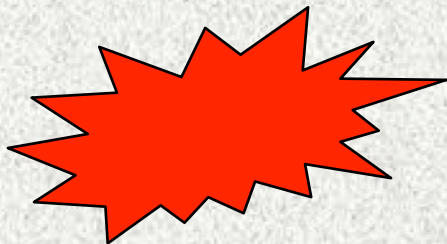


Mechanotransdukce

- Při nefyziologickém rozepnutí/deformaci i v případě, že nejsou překročeny strukturální limity plic dochází k aktivaci buněčných mechanosenzorů
- Tato aktivace vede k produkci cytokinů - biotrauma



Bing Han, Proc Am Thorac Soc Vol 2. pp 181-187, 2005



VILI

Faktory vedoucí k VILI

mechanický stres způsobený:

- ◆ **nadměrným rozeplnutím alveolu a kapilární stěny při**
 - ◆ nadměrném rozeplnutím plic (EILV)
 - ◆ působením střižných sil na hranici ventilovaných a neventilovaných oblastí (alveolů) - (přítomnost atelektáz)
- ◆ **mechanickým bronchiálním traumatem**
 - ◆ při opakovaném kolapsu a rozeplnutí malých dýchacích cest (přítomnost atelektáz nebo uzávěru dýchacích cest v průběhu dechového cyklu)
- ◆ **vysokým transkapilárním tlakem**
 - ◆ vysoký intravaskulární tlak
 - ◆ normální intravaskulární tlak a tahové síly na hranici s atelektatickými alveoly

Hlavní a přidružené faktory vedoucí k VILI

Hlavní faktory:

- ◆ endinspirační plicní objem (tj. nepřímo hodnota Ppl)
- ◆ nedostatečný endexpirační plicní objem (tj. nedostatečná hodnota PEEP)

Přidružené faktory:

- ◆ endotoxinémie (Tremblay L, 1997 J Clin Invest 99:944-952)
- ◆ zvýšená teplota
- ◆ plicní kapilární tlak (srdeční výdej)
- ◆ dechová frekvence

(Broccard AF. et al., 1998 AJRCCM 1998, 157:1935-42)

Maximální strain

- Fyziologická hodnota FRC Cca 2,5 l
- Fyziologická hodnota TLC ... Cca 7 l
- Maximální dechový objem cca TLC-FRC.. 5 l
- Maximální „fyziologický“ strain - při $V_t/V_0 = 2$
- **Tj. maximální dechový objem je dvojnásobkem funkční reziduální kapacity**
- **Při této změně plicního objemu jsou plicní struktury maximálně rozepnuty, další rozepnutí vede k rupturám**

Ventilator-induced lung injury: The anatomical and physiological framework

Crit Care Med 2010 Vol. 38, No. 10 (Suppl.)

Luciano Gattinoni, MD, FRCP; Alessandro Protti, MD; Pietro Caironi, MD; Eleonora Carlesso, MSc

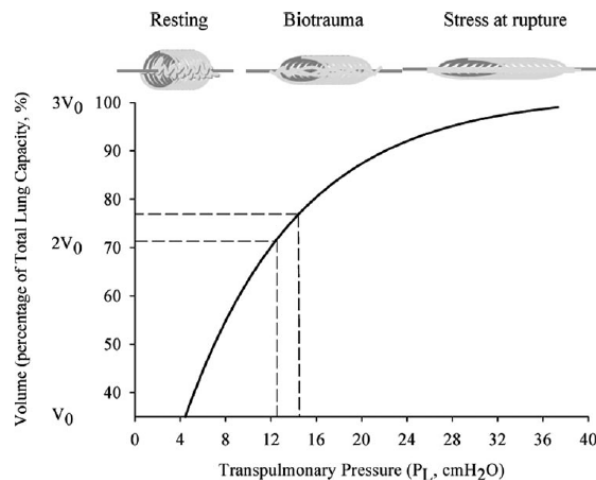


Figure 1. Relationship between lung volume (percentage of total lung capacity) and transpulmonary pressure (modified from reference 14). V_0 corresponds to the functional residual capacity. When the lung is inflated with a tidal volume equal to functional residual capacity, the transpulmonary pressure is approximately 13 cm H₂O (specific elastance). The maximum physiologic lung volume (total lung capacity) is reached when tidal volume is two times functional residual capacity and 2 and transpulmonary 2 and transpulmonary pressure is approximately 26 cm H₂O. The behavior of the lung fibrous skeleton, modeled as elastin fibers (extensible spring) and collagen tissue (inextensible string) set in parallel, is described at the top of the figure.

- Stress/strain lineární do cca 75% TLV
- PAW „safe“
 - 37 cm x 0,75 = 27 cm H₂O

OK, but I need KISS ...
(= simple guidelines for my
daily practice)

KISS
Keep it Simple. Stupid!



Základy protektivní ventilace

- 1. Redukované dechové objemy**
- 2. Limitace transpulmonálního tlaku**
- 3. Aplikace vhodné úrovně PEEP**

Role PEEP ?

- „Homogenizuje“ plíce – odstranění tzv. „stress rizers“
- Snižuje energii dodávanou ventilátorem do plic nezbytnou k udržení středního tlaku v DC

Table 3 Management of positive end-expiratory pressure (PEEP) based on aetiology of shock

Type of shock	Potential drawback to PEEP	Means of monitoring and compensating
Hypovolemic	↓ RV and LV preload can lead to ↓ CO and worsening of hypotension	Ensure adequate volume resuscitation; carefully monitor BP
Cardiogenic	Although the ↓ LV afterload will ↑CO, the ↓ RV and LV preload may ↓ CO to a greater degree	Ensure that the patient does not have concomitant hypovolaemia
Distributive	↓ RV and LV preload can lead to ↓ CO and worsening of hypotension	Ensure adequate volume resuscitation; carefully monitor BP
Obstructive	↑ RV afterload may precipitously ↓ CO in light of ↓ RV and LV preload	Vigorous hydration and vasopressor support may be necessary to maintain haemodynamic regulation

BP, blood pressure; CO, cardiac output; LV, left ventricular; RV, right ventricular.

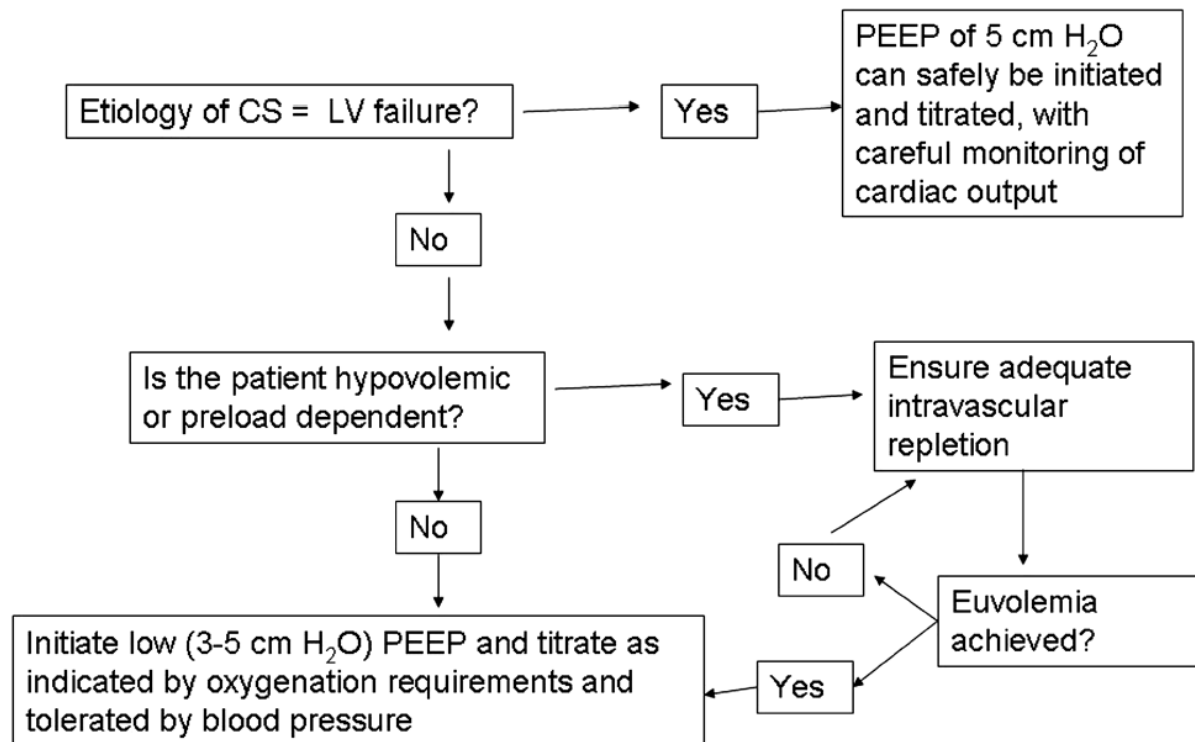


Figure 3 Algorithm for management of PEEP in cardiogenic shock. CS, cardiogenic shock; LV, left ventricle; PEEP, positive end-expiratory pressure.

Tabulka 3.2 Výchozí nastavení ventilátoru u nemocných bez závažné plicní dysfunkce při použití režimu VC A/CMV	
Ventilační režim	A/C CMV (volume cycled, volume control apod., dle typu přístroje)
Dechový objem	cca 7–8 ml/kg tzv. predikované tělesné hmotnosti (platí pro nemocné bez závažné plicní patologie a bez rizikových faktorů pro rozvoj ARDS) cca 6 ml/kg tzv. predikované tělesné hmotnosti u nemocných s ARDS nebo u nemocných s rizikovými faktory pro vznik ARDS
Dechová frekvence	12–16/min
Doba inspiria nebo poměr inspira a expiria	1,2–1,5 s I: E 1:2 nebo Ti 33 %
Pauza	10 % nebo 0,2–0,4 s
FiO₂	0,4 u nemocných bez plicní patologie
	0,6–0,8 (1,0) u nemocných s plicní patologií, snaha o rychlé snížení
PEEP	5 cmH ₂ O u sedovaných nemocných bez plicní patologie, u ostatních nemocných dle typu plicní patologie viz příslušné kapitoly
Klíčové alarmy	Inspirační tlak, minimální minutová ventilace
<p><i>Vysvětlivky: I – doba inspiria, E – doba expiria, Ti – čas doby inspiria v procentech trvání dechového cyklu, FiO₂ – inspirační frakce kyslíku,</i></p> <p><i>Predikce ideální tělesné hmotnosti: muži = 50 + [0,91× (výška v cm – 152,4)]</i></p> <p><i>ženy = 45 + [0,91× (výška v cm – 152,4)],</i></p> <p><i>Orientační výpočet : muž = výška v cm – 100, ženy = výška v cm-105</i></p>	

Dostál a kol., Základy umělé plicní ventilace, 3. vydání, 2014
(Editor: Vladimír Černý, Edice Intenzivní medicína)

Těžká hypoxemie/oxygenační dysfunkce – jak uvažovat ?

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300 \text{ mmHg}$

Protektivní ventilace (dle ARDSNet protokolu)

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 200 \text{ mmHg}$

Protektivní ventilace s vysokou hodnotou PEEP

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 150 \text{ mmHg}$

Žvaž použití svalové relaxace

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 100 \text{ mmHg}$

Žvaž pronační polohu

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 80 \text{ mmHg}$

Žvaž iLA nebo ECMO

$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 50 \text{ mmHg}$

Žvaž ECMO

Kam směřuje UPV v roce 2014

Future of ventilatory support ?

- Ultra-protective ventilatory support
- Extracorporeal lung assist devices ?

PARTIAL CO₂ REMOVAL
SUPPORT IMV

CO₂ REMOVAL AND
PARTIAL OXYGENATION
PREVENT IMV

CO₂ REMOVAL AND OXYGENATION
REPLACE IMV



**Artificial Lung and Novel Devices for
Respiratory Support**

Semin Thoracic Surg 25:70-75 © 2013 Elsevier Inc.

Jeremiah T. Martin, MBBCh, and Joseph B. Zwischenberger, MD

REVIEW

Protective and ultra-protective ventilation: using pumpless interventional lung assist (iLA)

O. MOERER, M. QUINTEL

Department Anaesthesiology, Emergency and Critical Care Medicine, Georg-August-University of Göttingen, Göttingen, Germany

ABSTRACT

Acute lung failure is associated with high mortality and usually requires mechanical ventilation to ensure adequate gas exchange. However, mechanical ventilation itself can be associated with major complications and can aggravate pre-existing lung disease, thus contributing to morbidity and mortality. Extracorporeal gas exchange is increasingly used when conventional mechanical ventilation has failed. In contrast to veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), pumpless extracorporeal interventional lung assist (iLA) is applied via an arterio-venous bypass into which a gas exchange membrane is integrated. iLA allows for efficient carbon dioxide removal, which allows for a significant reduction in ventilator settings. iLA may be a useful tool in protective or even 'ultraprotective' ventilation, enabling the application of very low tidal volumes in patients with acute respiratory failure of different etiologies. This article reviews the current status and the potential role of interventional (pumpless) lung-assist iLA within the context of lung-protective ventilation strategies. (*Minerva Anestesiol* 2011;77:537-44)

Key words: Extracorporeal membrane oxygenation - Lung - Ventilation, mechanical.

Souhrn do klinické praxe ?



- 1) Znáť fyziologii UPV**
- 2) Vždy vyhodnotit povahu plicní dysfunkce před volbou UPV a předpokládané interakce “UPV - plíce – oběh”**
- 3) Základní nastavení a jeho modifikace podle povahy vývoje stavu**
- 4) Minimalizovat poškození plic postupy UPV**
- 5) Včasné zahájení postupů snižující negativní dopad UPV**

What Tidal Volumes Should Be Used in Patients without Acute Lung Injury?

Marcus J. Schultz, M.D., Ph.D.,* Jack J. Haijsma, M.D., Ph.D.,† Arthur S. Slutsky, M.D.,‡ Ognjen Gajic, M.D.§

Normal lung* and no ALI risk factors ("hits")**



Tidal volume < 10 mL/kg PBW
Plateau pressure[§] < 15 - 20 cm H₂O
PEEP[£] ≥ 5 cm H₂O

Abnormal lung* and/or presence of ALI risk factors ("hits")**



Tidal volume 6 mL/kg PBW
Plateau pressure[§] < 15 - 20 cm H₂O
PEEP[£] ≥ 5 cm H₂O

Limity “bezpečné ventilace” lze překračovat jen tehdy, pokud cílů UPV nejsme schopni dosáhnout jiným způsobem ...

Neinvazivní ventilace ?



Vladimír Černý: **Neinvazivní plicní ventilace**
In: Dostál a kol.: Základy umělé plicní ventilace,
3. vydání, Maxdorf 2014 (Editor: Vladimír
Černý, Edice Intenzivní medicína)

Děkuji vám za pozornost

MUDr. Dostálovi za zapůjčení některých diapozitivů



cernyvla1960@gmail.com