



Jak ventilovat dítě v rámci celkové anestezie

J.Divák(KARIM a LF OSU)



„Malé chyby v terapeutických zákrocích mohou způsobit buď poranění, nebo nedostatečný účinek.

Čím menší je pacient, tím větší je dopad malých chyb,,

UPV

➤ způsob výměny plynů, při kterém je dechová práce zajištěna v plné nebo částečné míře **přístrojem – ventilátorem**

➤ je používána k:

- krátkodobé
- dlouhodobé

podpoře pacientů, u kterých došlo ke vzniku **závažné poruchy funkce respiračního systému:**

- **oxygenační**
- **ventilační**

SKLIENKA, Peter; FRELICH, Michal. 2.4 Umělá plicní ventilace. *Dětské polytrauma*, 2022, 53.[1]

Cíle UPV

- jsou definovány identicky pro dospělé i pediatrické dětské pacienty
- v roce 1993 **American College of Chest Physicians' Consensus Conference** definovala cíle:
 - fyziologické
 - klinické

Fyziologické cíle UPV:

1. Zlepšení výměny plynů

- Úprava alveolární ventilace (s cílem korekce $p_a\text{CO}_2$)
- Úprava oxygenace (manipulace s $p_a\text{O}_2$)

2. Úprava a udržení plicních objemů a kapacit

- Dostatečný end – inspirační plicní objem (EILV) - cílem je dosažení dostatečné velikosti plicní expanze (např. při léčbě atelektázy)
- Funkční reziduální kapacita (FRC) - u stavů, kdy pokles FRC vede ke zhoršení plicních funkcí

Fyziologické cíle UPV:

3. Snížení dechové práce

- Snížení práce dýchacích svalů – u stavů, kdy pro vzestup rezistence DC nebo snížení poddajnosti respiračního systému je pacientovo dechové úsilí neúčinné anebo hrozí únava dýchacích svalů

Klinické cíle UPV

1. zvrát hypoxémie
2. zvrát akutní respirační acidózy
3. zvrát dechové tísně
4. prevence a léčba atelektáz
5. zvrát únavy dýchacího svalstva
6. umožnění analgosedace a svalové relaxace
7. snížení nitrolebního tlaku

Otisova rovnice

Pro respirační systém s konkrétními vlastnostmi
existuje

pro dosažení dané minutové ventilace

optimální poměr dechové frekvence a dechového objemu

Otisova rovnice

C (zelené pole):

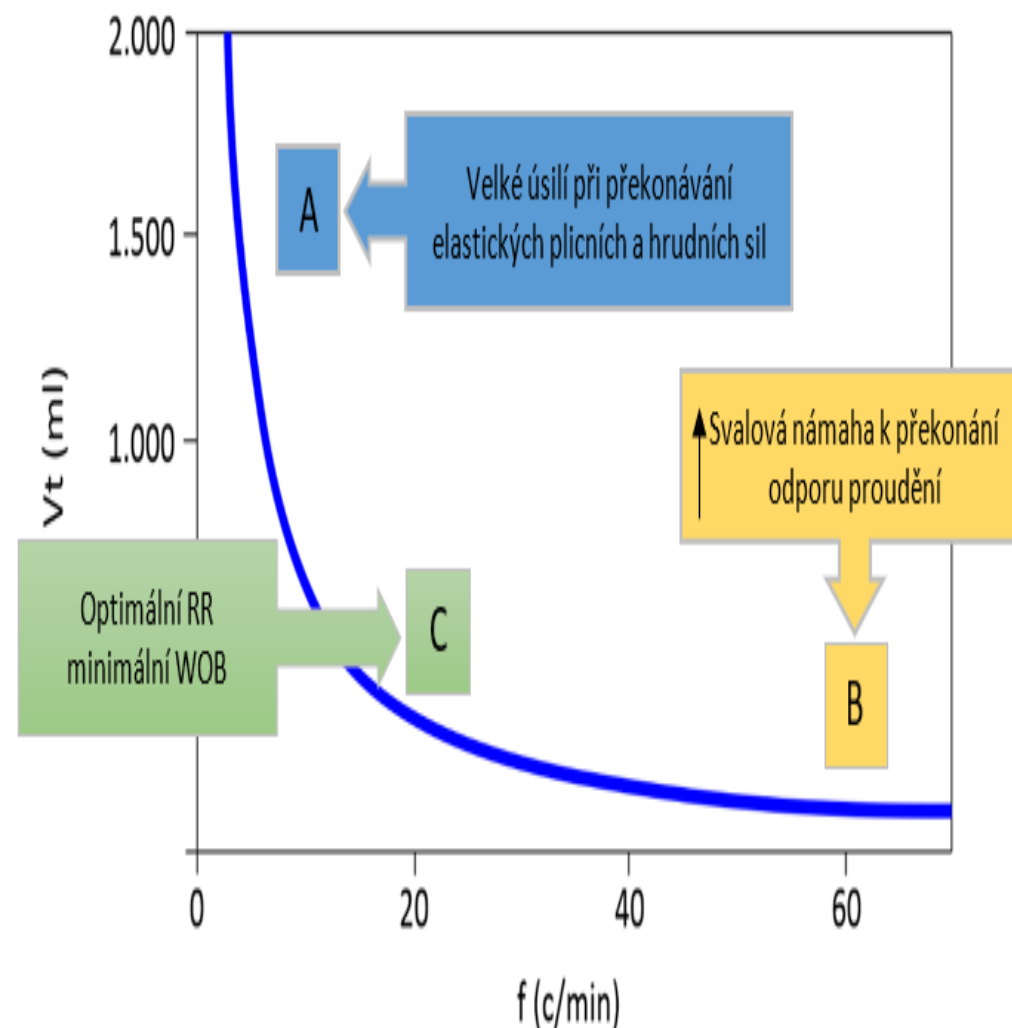
optimální poměr dechové frekvence a dechového objemu

B (žluté pole):

při vzestupu frekvence a poklesu dechového objemu dochází při stejné minutové ventilaci ke **zvýšení dechové práce** z důvodu **narůstajícího průtokového odporu**

A (modré pole):

při vzestupu dechového objemu naopak **stoupá dechová práce** v důsledku **zvyšování elastického odporu plic a hrudní stěny** [1]



UPV

- při konvenční UPV **dechovou práci** koná ventilátor prostřednictvím **generace tlakového gradientu** mezi ventilátorem a alveoly pacienta.
- zde dochází klinického naplnění výše uvedené rovnice – pro jakýkoliv respirační systém je možné najít **individuální optimální nastavení ventilačních parametrů** tak, aby bylo k dosažení požadované minutové ventilace použito **nejnižší možné práce: tedy:**
 - nejnižších **možných tlaků**
 - nejnižší **možné energie** působících na tkáň respiračního systému
- **hlavní determinanty ventilací indukovaného plicního poškození VILI**
(ventilator induced lung injury)

Protektivní ventilace (LPVS-lung protective ventilation strategies)

- **postupy UPV** maximálně bezpečné, netraumatizující UPV
- pro bezpečné používání **UPV** v pásmu protektivity je nezbytné:
 - zohlednění aktuální patologie
 - znalost základních mechanismů, kterými se UPV podílí na agravaci plicního poškození
- **Tradiční komponenty UPV:**
 - limitovaná velikost dechového objemu (cca 6 ml/kg)
 - limitovaný endinspirační tlak (do cca 30 cm H₂O)
 - použití „vhodného“ PEEPu
 - použití „netoxických“ koncentrací FiO₂

Is there a role for lung-protective ventilation in healthy children?

Chloe Heath¹  | Neil Hauser^{1,2,3} 

1. Cílová Vt 6 – 10 ml/kg tělesné hmotnosti, vyhnout se Vt > 10 ml/kg
2. Omezit maximální inspirační (<30 cmH₂O) a delta tlak (<10 cmH₂O). Pečlivě sledujte změny Vt, abyste se vyhnuli volumotraumatu
3. PEEP zůstává důležitou složkou LPV, ale optimální hladina PEEP pro dětské pacienty není známa. Primárně rozsah PEEP 4-8 cmH₂O
4. Recruitment manévry, doporučuje se udržovat FRC
 - PEEP na 30 cmH₂O po dobu 10–30 s
 - postupné zvyšování PEEP na základě individuálních potřeb pacienta
5. Vyhněte se FiO₂ 1,0, pokud nenastane klinická naléhavá situace [2]

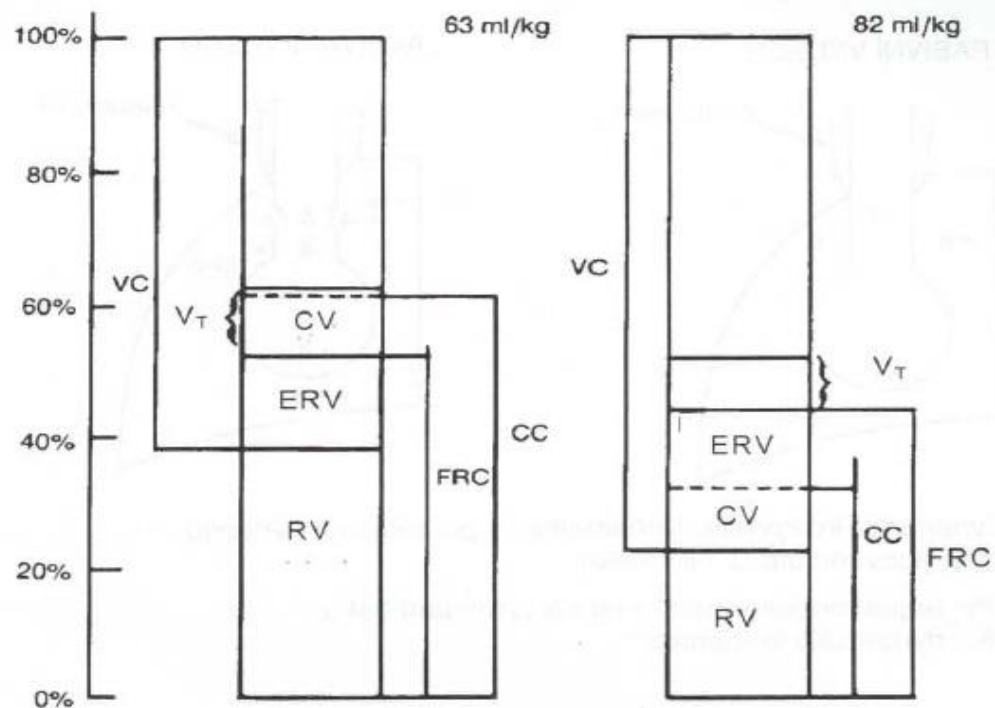
Dynamická komprese DC

Při vysokých expiračních průtocích → dynamická komprese DC

➤ z důvodů:

- relativně malá stabilita chrupavčité architektury DC
- zvýšený odpor DC

Plicní objemy u kojenců a dospělých



Obr. č. 2: plicní objemy u kojenců a dospělých

Pozn.: Dechový objem u kojenců je v rozsahu uzavíracího objemu (Closing volume CV).

- VC - vitální kapacita
- CC - uzavírací kapacita
- CV - uzavírací objem
- V_T - dechový objem
- ERV - expirační rezervní objem
- RV - reziduální objem
- FRC - funkční reziduální kapacita

Plicní objemy u kojenců a dospělých

- **Vzhledem k uzavíracímu objemu(closing volume) je potřebné zdůraznit u dětí:**
- rozdílné poměry některých plicních objemů
 - jejich procentuální zastoupení
 - vztah FRC

Closing volume

Děti mladší 6 let ,pokud jsou na v poloze na zádech mají **hodnotu uzavírací kapacity vyšší než FRC**, je tedy zřejmé, že v průběhu expiria dochází ke kolapsu některých částí plic/kolapsu celé plíce z důvodů:

- **nižší elastické síly plicní tkáně** a tím snížení negativity intrapleurálního tlaku(elastické síly plic a hrudní stěny na konci expiria působí opačným směrem)

Airway closure in anesthetized infants and children: influence of inspiratory pressures and volumes

A. THORSTEINSSON¹, O. WERNER², C. JONMARKER³ and A. LARSSON⁴

¹Department of Anesthesia and Intensive Care, Landspítalinn University Hospital, Iceland, ²Department of Anesthesia and Intensive Care, University Hospital, Lund, Sweden, ³Department of Anesthesiology, Children's Hospital and Regional Medical Center, Seattle, USA and ⁴Department of Anesthesiology, Gentofte University Hospital, Hellerup, Denmark

- k otevírání a zavírání plicních jednotek může docházet při umělé ventilaci s inspiračním tlakem 20 cmH₂O, ale pravděpodobně ne běžně.
- vzhledem k tomu, že se však zdá, že k němu dochází pravidelněji, když se tlak v dýchacích cestách zvýší na 30 cmH₂O, domníváme se, že je důležité se tak vysokému inspiračnímu tlaku vyhýbat i u zdravých dětí.

FRC

- určité možné množství plynu, které zůstane v plicích na konci každého spontánního výdechu
- je pomocí komplexních interakcí funkce surfaktantu a reflexů z respiračního systému udržována na hodnotě, při které je při každém dalším nádechu k dosažení daného dechového objemu **použito nejnižší možné dechové práce.**
- za fyziologických podmínek:
 - **organismus pomocí FRC udržuje rozpětí plic v expíriu na maximální poddajnosti respiračního systému.**
 - na plicní tkáň tak v průběhu jednotlivého dechového cyklu i v dlouhodobém časovém horizontu působí **nejnižší možné tlaky, a tedy i energie** [1]

UPV

- při UPV je dechová práce je vykonávána ventilátorem, který generuje **tlakový gradient**, a energie vydaná ventilátorem je použita **na pohyb tělesa** (objem plynů = dechový objem) proti **definovanému odporu** (průtokový a elastický).
 - část energie, kterou ventilátor generuje, je však absorbována respiračním systémem
 - v případě **překročení bezpečného prahu** (který je jiný pro každý respirační systém v závislosti na jeho vlastnostech a míře poškození) se **může na rozvoji VILI a agravaci ARDS uplatňovat**
 - přímo mechanickým poškozením plicní tkáně,
 - spuštěním kaskády biologických procesů
- (**biotrauma**: transformace mechanické energie na biologický signál(**mechanotransdukce**)[1])

Energotrauma

- poškozování plic aplikací neúměrné mechanické energie
- **koncept energotraumatu** vedl dále k poznatkům o **vlivu dalších proměnných dechového cyklu na plicní tkáň – na celkové energii** dodané v průběhu UPV se podílejí **tyto parametry UPV**:
 - dechový objem
 - aplikovaný tlak (driving pressure)
 - nastavení PEEP
 - poměr inspirium/expirium,
 - rychlost proudění (průtoku) plynů v průběhu dechového cyklu
 - dechová frekvence

Mechanická energie dodaná plicím UPV

$$\text{Power}_{rs} = \text{RR} \times \left\{ \Delta V^2 \times \left[\frac{1}{2} \times \text{EL}_{rs} + \text{RR} \times \frac{(1 + \text{I} \div \text{E})}{60 \times \text{I} \div \text{E}} \times \text{R}_{aw} \right] + \Delta V \times \text{PEEP} \right\}$$

- **Power_{rs}**: celková energie působící na respirační systém
- **VT**: dechový objem,
- **EL_{rs}**: elastance respiračního systému (převrácená hodnota poddajnosti – compliance)
- **I/E**: poměr inspiria a expiria (průtok)
- **RR (respiratory rate)**: dechová frekvence
- **R_{aw}**: průtokový odpor
- **PEEP**: pozitivní tlak na konci expiria (positive end – expiratory pressure) [1]

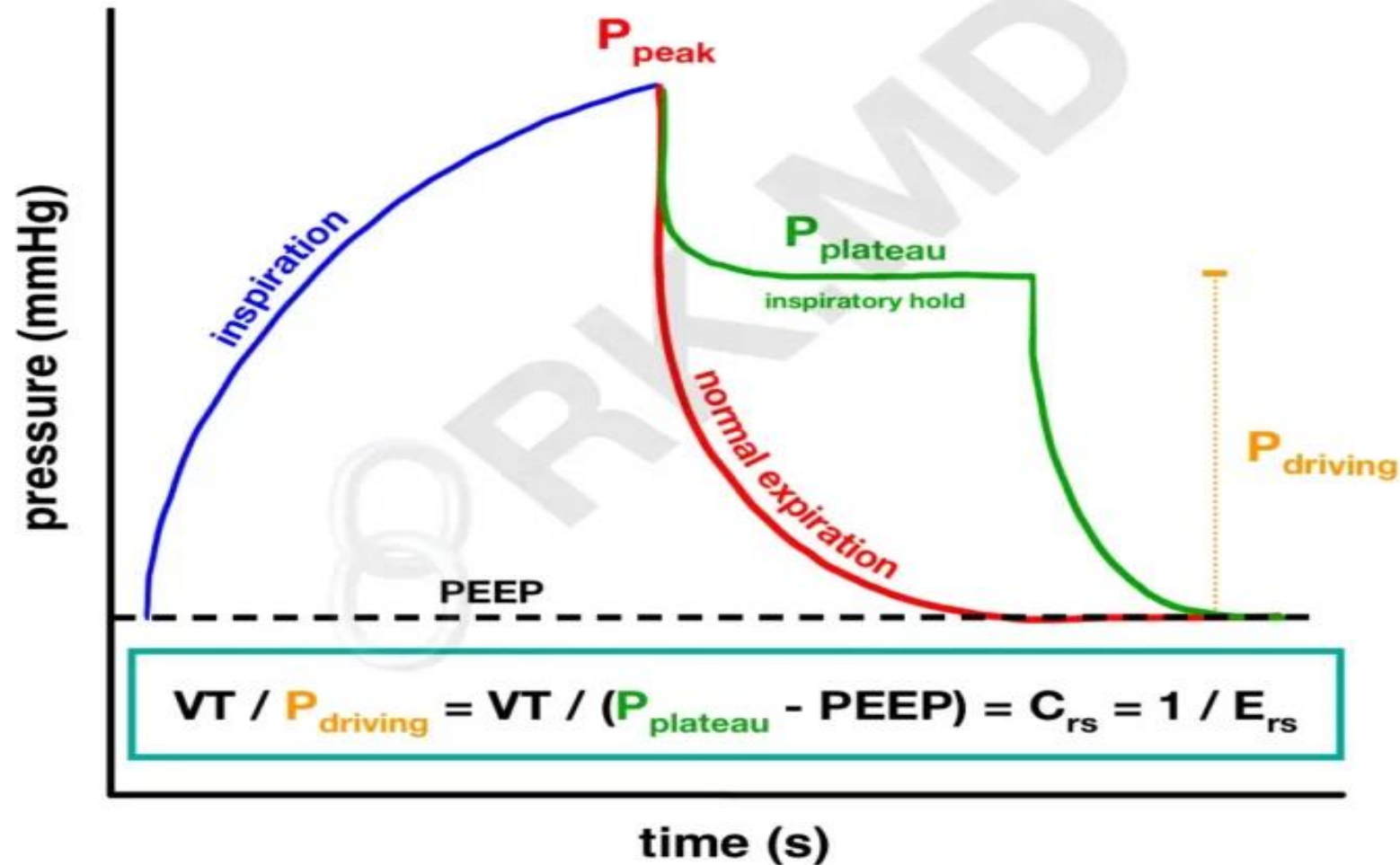
$$\text{Power}_{rs} = \text{RR} \times \left\{ \Delta V^2 \times \left[\frac{1}{2} \times \text{EL}_{rs} + \text{RR} \times \frac{(1 + I \div E)}{60 \times I \div E} \times R_{aw} \right] + \Delta V \times \text{PEEP} \right\}$$

- **Modrá část rovnice** vyjadřuje tlak/energii potřebnou pro roztažení plic (překonání elastického odporu respiračního systému) – **odpovídá driving pressure.**
- **Žlutá část rovnice** vyjadřuje tlak/energii potřebnou k proudění plynu v dýchacím systému (**překonání průtokové rezistence dýchacího systému**).
- **Zelené část rovnice:** odráží tlak a energii potřebnou pro udržení otevřených alveolů v expiriu (překonání alveolárního zavíracího tlaku) – **„statická“ komponenta dechové rovnice**

Driving pressure

- **Driving pressure** je definován jako tlak v plató minus PEEP.
- **Plató tlak** se měří na konci inspirační pauzy během objemově řízené ventilace konstantním průtokem a na konci inspirace během tlakově řízené ventilace.

PEAK, PLATEAU, & DRIVING PRESSURES



Mechanická energie dodaná plicím UPV- parametry UPV

$$\text{Power}_{rs} = \text{RR} \times \left\{ \Delta V^2 \times \left[\frac{1}{2} \times \text{EL}_{rs} + \text{RR} \times \frac{(1 + I \div E)}{60 \times I \div E} \times R_{aw} \right] + \Delta V \times \text{PEEP} \right\}$$

- rovnice obsahuje dvě proměnné, které musí být nastaveny k dosažení potřebné minutové ventilace (**RR a VT**):
 - snížení jedné z nich zákonitě vede k nutnosti navýšení druhé
- další dvě proměnné – **poměr I/E a PEEP** je možné upravovat, aniž by byla ovlivněna minutová ventilace.
- z rovnice vyplývá, že čím **pomalejší bude průtok plynů (tj. čím pomalejší a plynulejší bude inspirium)**, tím menší bude riziko energotraumatu

PEEP, Compliance

➤ PEEP:

- hodnota PEEP se uplatňuje jako „**statická komponenta**“, :
- sama o sobě energii dodanou respiračnímu systému mírně zvyšuje
- významný potenciál celkovou energii paradoxně snižovat **při jeho správném nastavení** (viz níže).

➤ **poddajnost respiračního systému a plic :**

- není hodnota rigidní
- mění se s nastavením hodnoty PEEP

Závěr

- pokud pacientovi na UPV titrujeme hodnotu PEEP k dosažení maximální compliance, tak při každém dalším inspiriu je k dosažení dané velikosti dechového objemu **zapotřebí nejnižšího možného tlaku a energie** – minimalizujeme riziko vzniku VILI .
 - **Vliv aplikovaného tlaku/energie na plíce** je vždy nutné posuzovat ve vztahu **k rozsahu plicního poškození**:
 - objem funkční plicní tkáně
 - stupeň nehomogenity
 - lokální distribuce aplikovaných tlaků a objemů
- neboť platí, že aplikovaná energie stejné velikosti vede **k rozdílným biologickým účinkům v plicích zdravé a postižené** [1]

CME

Optimal Ventilation of the Anesthetized Pediatric Patient

Jeffrey M. Feldman, MD, MSE

Mechanical ventilation of the pediatric patient is challenging because small changes in delivered volume can be a significant fraction of the intended tidal volume. Anesthesia ventilators have traditionally been poorly suited to delivering small tidal volumes accurately, and pressure-controlled ventilation has become used commonly when caring for pediatric patients. Modern anesthesia ventilators are designed to deliver small volumes accurately to the patient's airway by compensating for the compliance of the breathing system and delivering tidal volume independent of fresh gas flow. These technology advances provide the opportunity to implement a lung-protective ventilation strategy in the operating room based upon control of tidal volume. This review will describe the capabilities of the modern anesthesia ventilator and the current understanding of lung-protective ventilation. An optimal approach to mechanical ventilation for the pediatric patient is described, emphasizing the importance of using bedside monitors to optimize the ventilation strategy for the individual patient. (Anesth Analg 2015;120:165–75)

Mrtvý prostor

- část vdechnutého vzduchu, která se **neúčastní výměny plynů v plicních sklípcích**
- 2.2 ml/kg
- objem mrtvého prostoru považovat za jakoukoli část dýchacího okruhu nebo plic, ve které probíhá obousměrný tok plynu bez výměny plynů
- je třeba vynaložit veškeré úsilí k minimalizaci mrtvého prostoru v přístroji, zejména při péči o malé pacienty
- matematické modely předpovídají exponenciální nárůst $Paco_2$ se zvyšujícím se poměrem mrtvého prostoru k dechovému objemu (VD/V_t).

Mrtvý prostor

➤ můžeme dělit :

- **anatomický** mrtvý prostor = prvních 16 generací bronchů
- **alveolární** = objem alveolů, které jsou ventilované ale nejsou dostatečně perfundované a nepodílejí se tedy na výměně plynů, může měnit se **změnami v perfuzi a ventilaci**.
- **fyziologický** = součet objemu mrtvého prostoru anatomického a alveolárního
- **mechanický** = objem přidaného mrtvého prostoru arteficiálně (anesteziologický okruh ventilátoru, velmi významnou roli hraje u dětí)

Mechanický(arteficiální) mrtvý prostor

- zvětšuje ho jakýkoliv komponenta v okruhu: hadice, filtry nebo adaptéry, které přidávají objem.
- **Význam:** nadměrný mrtvý prostor u umělé ventilace může vést k opakovanému vdechování CO₂, což ztěžuje pacientovi dýchání a zvyšuje jeho dechovou nedostatečnost.

Mrtvý prostor

- u pediatrických pacientů může malé zvětšení mrtvého prostoru podstatně zvýšit poměr VD/V_t
- je důležité věnovat pozornost objemu přidávanému do okruhu.
- mezi běžné doplňky k okruhu patří:
 - kolenní konektor
 - výměník tepla a vlhkosti (HME)
 - flexibilní prodlužovací hadice.
- tato zařízení mají různé vnitřní objemy v závislosti na vybraných zařízeních a při jejich propojení může být celkový objem mrtvého prostoru značný



9mL



8mL



13mL



25mL



22mL

Mrtvý prostor

- Objem mrtvého prostoru přidaný do okruhu se může pohybovat:
 - od 9 ml pro nejmenší zobrazený výměník tepla a vlhkosti (HME)
 - do 55 ml pro kombinaci kolena, velkého HME a rozšířeného flexibilního nástavce.

Jak UPV u dětí na dětské JIP/ARO/OS ?

Received: 15 October 2021 | Revised: 30 November 2021 | Accepted: 1 December 2021

DOI: 10.1111/pan.14374

EDUCATIONAL REVIEW

Pediatric Anesthesia WILEY

Update on ventilation management in the Pediatric Intensive Care Unit

Chinyere Egbuta¹  | Ronald Blaine Easley²

UPV u dětí

- až 63 % pacientů na dětské IP přijatých s akutním respiračním nebo kardiorespiračním onemocněním **vyžaduje UPV**
- UPV podporu lze rozdělit do tří fází:
 - zahájení
 - eskalace
 - weaning
- Nedostatek pediatrických klinických studií s mechanickou ventilací: **PROČ?**
 - široká škála klinických diagnóz nalezených v pediatrické kritické péči
 - variabilita velikosti pacientů a zralosti plic

Existuje tedy jen málo vědeckých důkazů pro standardizaci UPV u dětí

Parametry NIV u dětí

Noninvasive support (Recommended settings)	High-flow nasal cannula (HFNC)	Continuous positive airway pressure (CPAP)	Bi-level positive airway pressure (BiPAP)
Infants	1 L/kg/min (max 2 L/kg/min)	5-8 cm H ₂ O	IPAP: 10-18 cm H ₂ O EPAP: 5-8 cm H ₂ O
Children	1 L/kg/min (max 2 L/kg/min)	5-10 cm H ₂ O	IPAP: 10-20 cm H ₂ O EPAP: 5-10 cm H ₂ O
Adolescents	1-2 L/kg/min (upper limit of 50-60 L/min for adult-sized patients)	5-12 cm H ₂ O	IPAP: 10-22 cm H ₂ O EPAP: 5-12 cm H ₂ O

Parametry konvenční UPV u dětí

Mechanical ventilation (Recommended settings)	Pressure control	Volume control	Airway pressure release ventilation (APRV)
Infants	PIP: 15–30 cm H ₂ O PEEP: 5–8 cm H ₂ O Inspiratory time: 0.3–0.5 s RR: 30–40 BPM	TV: 5–8 cc/kg PEEP: 5–8 cm H ₂ O Inspiratory time: 0.3–0.5 s RR: 30–40 BPM	P high: 15–20 cm H ₂ O P low: 0–0.5 cm H ₂ O T high: 2–3 s T low: 0.2–0.3 s
Children	PIP: 15–30 cm H ₂ O PEEP: 5–10 cm H ₂ O Inspiratory time: 0.6–1.2 s RR: 20–30 BPM	TV: 5–8 cc/kg PEEP: 5–10 cm H ₂ O Inspiratory time: 0.6–1.2 s RR: 20–30 BPM	P high: 20–25 cm H ₂ O P low: 0–0.5 cm H ₂ O T high: 2–5 s T low: 0.2–0.8 s
Adolescents	PIP: 15–30 cm H ₂ O PEEP: 5–12 cm H ₂ O Inspiratory time: 1.2–1.5 s RR: 10–16 BPM	TV: 5–8 cc/kg PEEP: 5–12 cm H ₂ O Inspiratory time: 1.2–1.5 s RR: 10–16 BPM	P high: 20–35 cm H ₂ O P low: 0–0.5 cm H ₂ O T high: 4–6 s T low: 0.5–0.8 s

Závěr: DF+T(ins.)

je doporučeno:

- **nastavení dechové frekvence a doby inspira** s přihlédnutím na mechaniku respiračního systému a průběh onemocnění, neboť tyto parametry jsou úzce spojeny a **nemají být posuzovány bez vzájemného kontextu**
- ventilovat s hodnotami **plateau tlaku (Plat) $\leq 28 \text{ cmH}_2\text{O}$**
v případě zvýšené elastance hrudní stěny **$\leq 29 - 32 \text{ cmH}_2\text{O}$**

Závěr-VT

- u všech ventilovaných pediatrických pacientů je doporučeno použití dechových objemů v hodnotách fyziologického rozmezí nebo i nižších pro danou věkovou kategorii a tělesnou hmotnost, tedy 5 – 8 ml/kg PBW, s přihlédnutím k:
 - plicní patologii
 - poddajnosti respiračního systému
- v závislosti na závažnosti onemocnění je doporučeno aplikovat nižší dechové objemy (3 – 6 ml/kg PBW) u pacientů s nízkou poddajností respiračního systému.

Závěr-PEEP

- PEEP: k zabránění kolapsu alveolů je doporučeno použití PEEP, nicméně v současné době **nelze dát konkrétní doporučení stran jeho velikosti.**
- **u dětí bez plicního poškození:** se uvádějí fyziologické hodnoty mezi 3–5 cmH₂O.
- **u dětí s plicní patologií :** však může být potřeba vyššího PEEP k obnovení vzdušnosti a zlepšení poddajnosti respiračního systému

Seznam použité literatury

- [1] SKLIENKA, Peter; FRELICH, Michal. 2.4 Umělá plicní ventilace. *Dětské polytrauma*, 2022, 53
- [2] HEATH, Chloe; HAUSER, Neil. Is there a role for lung-protective ventilation in healthy children?. *Pediatric Anesthesia*, 2022, 32.2: 278-285.
- [3] PEDIATRIC ACUTE LUNG INJURY CONSENSUS CONFERENCE GROUP, et al. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatric critical care medicine*, 2015, 16.5: 428-439.
- [4] KNEYBER, Martin CJ, et al. Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive care medicine*, 2017, 43: 1764-1780.
- [5] MORROW, Brenda M., et al. Diagnostic, management, and research considerations for pediatric acute respiratory distress syndrome in resource-limited settings: from the second pediatric acute lung injury consensus conference. *Pediatric Critical Care Medicine*, 2023, 24.Supplement 1 2S: S148-S159.
- [6] EGBUTA, Chinyere; EASLEY, Ronald Blaine. Update on ventilation management in the Pediatric Intensive Care Unit. *Pediatric Anesthesia*, 2022, 32.2: 354-362.

Děkuji za pozornost