

Umelá pľúcna ventilácia u detí

Slavomír Nosál

Technologický pokrok sa čoraz výraznejšie uplatňuje aj v pediatickej intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti. Snáď najviditeľnejšie ho môžeme pozorovať v oblasti mechanickej ventilácie. Najnovšie prístroje na umelú pľúcnu ventiláciu (UPV) nám poskytujú nielen nové ventilačné módy, ale umožňujú sofistikovanejšie ventilovať detského pacienta. K tomu využívame sofistikovanejšiu grafiku a monitorovanie dynamických parametrov a to v reálnom čase. Obrovskou výhodou je čoraz širšia škála monitorovaných parametrov. Pri mechanickej ventilácii nám pomáha aj dokonalejší alarmový systém, umožňujúci bezpečnejšie „strážiť“ a ventilovať pacienta.

„Ventilátor“ je automatický mechanický prístroj slúžiaci na výmenu plynov do a z pľúc. Dej výmeny plynov do a z pľúc nazývame dýchanie, alebo formálnejšie ventilácia. Počas umelej ventilácie prístroj dodá stlačený vzduch a kyslík cez ventilačný okruh do pacienta. Frakcia inšpirovaného kyslíka závisí od aktuálnej potreby ventilovaného pacienta. Je nevyhnutné aby zmes inšpirovaných plynov bola najprv zvlhčená a ohriata. Súčasné mechanické ventilátory realizujú výmenu plynov medzi alveolami a vonkajším prostredím vytvorením tlakového gradientu (pretlaku), ktorým je vzduch vtlačný do alveol. Po ukončení pretlaku je vzduch z alveol spontánne vytlačený elastickými silami respiračného systému. Jedinou podmienkou je priechodnosť dýchacích ciest. Základná rovnica pre pohyb plynov počas UPV je:

$$\Delta P = Vt/C + R \times \dot{V}$$

Tlakový gradient medzi vonkajším prostredím a alveolami závisí priamo úmerne od dychového objemu (Vt) a súčinu odporu R a prietoku \dot{V} a nepriamo od compliance (C). Tento vzťah umožňuje pochopiť dôležité vzájomné vzťahy medzi základnými regulovanými parametrami UPV: tlakom, objemom a prietokom.

Ventilátor pracuje so 4 základnými parametrami, ktoré sa označujú ako kontrolované premenné: tlak, objem, prietok a čas. Primárne pri ventilácii je riadená/kontrolovaná jedna premenná, ostatné sa stávajú závislými premennými. Podľa toho, ktorá premenná bola primárne riadená/nastavovaná, sa rozdeľovali ventilátory na tlakovo, objemovo časovo a prietokovo kontrolované. Modernejšie ventilátory umožňujú ovplyvniť viac premenných. Pre pochopenie ich vzťahov je nutné rozdeliť ventilačný cyklus do 4 fáz:

1. zmena expíria na inspírium
2. inspírium
3. zmena inspíria na expírium a
4. expírium.

Ventilátor monitoruje súčasne viac kontrolovaných premenných. Po dosiahnutí nastavenej hodnoty je začatá zmena jednej fázy na ďalšiu. Tým sa kontrolované premenné stávajú tzv. fázovo premennými a vznikajú 4 kategórie fázových premenných:

1. spúšťacie premenné
2. limitujúce premenné
3. cyklické premenné a
4. základné premenné.

Spúšťacie premenné slúžia k iniciácii inspíria (fáza 1). K spusteniu inspíria môže slúžiť akákoľvek premenná. Tradične to bol čas. Ventilátory monitorujú zmenu tlaku a prietoku vo ventilačnom okruhu, čím umožňujú synchronizáciu s inspiračným úsilím pacienta. Pacient musí vytvoriť prednastavenú zmenu tlaku alebo prietoku k tomu, aby ventilátor spustil inspírium. V 2. fáze sa tlak, objem i prietok zvyšujú nad základné hodnoty, ktoré boli na konci expíria. Pre jednu alebo viaceré z nich sa môže nastaviť maximálna hodnota, ktorá je označovaná ako limit. Je to teda limitovaná premenná. Obvykle sa limituje objem a tlak. Cyklické premenné zaznamenávajú ukončenie inspíria (pokiaľ sa dosiahne ich prednastavená

hodnota). Najčastejšie to býva čas. Premenná, ktorá je kontrolovaná počas expíria, sa nazýva základná premenná. Spúšťacie, limitujúce a cyklické premenné môžu byť riadené ventilátorom, pacientom alebo obidvomi súčasne. Podľa toho rozlišujeme 4 typy dýchania: riadené, asistované, podporné, spontánne (tab 1).

Tabuľka 1 Typy dýchania

Typ dýchania	Fázová premenná		
	spúšťacia	limitujúca	cyklická
Spontánne	pacient	pacient	pacient
Riadené	ventilátor	ventilátor	ventilátor
Asistované	pacient	ventilátor	ventilátor
Podporné	pacient	ventilátor	pacient

Zo základných parametrov je nutné na prístroji nastaviť: maximálny inspiračný tlak (PIP – peak inspiratory pressure), dychový objem (V_t - tidal volume), pozitívny tlak na konci výdychu (PEEP-positive end expiratory pressure), inspiračný čas (Ti-inspiratory time), inspiro-expiračný pomer (I:E), frekvenciu dýchania (RR-respiratory rate/f-frequency) a koncentráciu/frakciu dodávaného kyslíka (FiO_2).

Frakcia dodávaného kyslíka/koncentrácia inšpirovaného kyslíka (FiO_2)

Zlepšenie oxygenácie pacienta môžeme dosiahnuť zvýšením koncentrácie dodávaného kyslíka (FiO_2), alebo zmenou nastavenia ventilačných parametrov:

1. Zvýšením frakcie dodávaného kyslíka (FiO_2)
2. Zvýšením PIP
3. Zvýšením inspiro-expiračného pomeru (I:E)
4. Zvýšením PEEP.

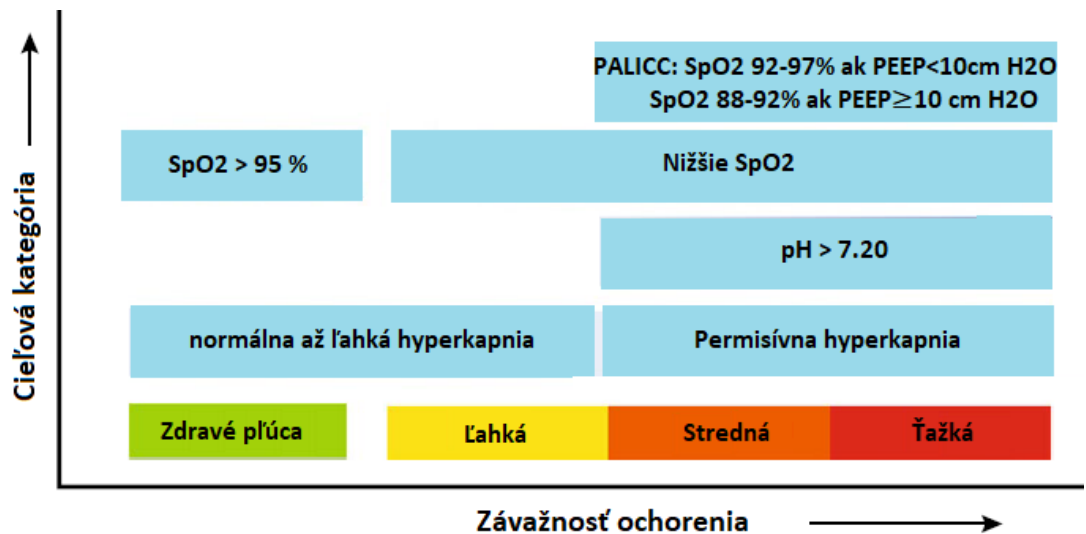
Vo všeobecnosti si treba pamätať, že kyslík je „dobrý sluha ale veľmi zlý pán“. Samozrejme pacient v respiračnom zlyhaní vyžaduje kyslík na udržanie adekvátnej oxygenácie organizmu P_aO_2 . Ale koľko, kedy a ako dlho? Vysoká koncentrácia kyslíka môže viesť k poškodeniu pľúc. Koncentrácia pod 50% sa považuje za bezpečnú. Toxicita kyslíka je veľkým klinickým problémom u novorodencov a zvlášť u novorodencov s nízkou pôrodnou hmotnosťou. Vysoká koncentrácia kyslíka môže spôsobiť retinopatiu prematúrnych novorodencov (ROP), bronchopulmonálnu dyspláziu (BPD). Preto sa po dosiahnutí terapeutických ventilačných cieľov odporúča čo najrýchlejšie znížiť FiO_2 (obr. 1).

Maximálny inspiračný tlak (PIP)

Maximálny/špičkový inspiračný tlak je jedným z hlavných faktorov determinujúcich dychový objem a to hlavne u detí ventilovaných tlakovo garantovanými režimami. Prvotné nastavenie úrovne PIP musíme vykonať opatrne. Musíme brať ohľad na hmotnosť dieťaťa, vek, typ a závažnosť ochorenia, aktuálny stav pľúcnej mechaniky a v súčasnosti aj na compliance pľúc a odpor dýchacích ciest. Za optimálny PIP považujeme najnižší PIP umožňujúci primeranú ventiláciu pacienta. Minimalizovaním hladiny PIP redukuje aj riziko barotraumy a bronchopulmonálnej dysplázie. Vysoký PIP vedie k zvýšeniu intratorakálneho tlaku a tým k spomaleniu venózneho návratu a zníženiu kardiálneho výdaja.

Pozitívny tlak na konci výdychu (PEEP-positive end expiratory pressure)

Je to tlak aplikovaný na konci výdychu s cieľom preventívne zabrániť poklesu tlaku v dýchacích cestách na nulu. Úlohou PEEP je stabilizácia pľúcnych alveol, zabrániť alveolám kolabovať na konci výdychu, zvýšiť objem pľúc a zlepšiť compliance pľúc. Zvyšovanie PEEP vedie k zvýšeniu stredného tlaku v dýchacích cestách (MAP-mean airway pressure).



Obrázok 1 Odporúčania pre „ciele“ oxygenácie a ventilácie

Úlohou PEEP je:

1. zvýšiť funkčnú reziduálnu kapacitu (FRC) s cieľom zabrániť kolabovaniu alveol
2. udržiavanie stability alveolárnych segmentov
3. zlepšenie oxygenácie a
4. redukovanie dychovej práce.

Optimálne nastavenie úrovne PEEP je individuálne, zložité a závislé od aktuálnej klinickej situácie. Je to vždy balansovanie medzi požadovanými cieľmi ventilácie a nežiaducimi vedľajšími účinkami PEEP. Požadované ciele nastavenia PEEP:

1. redukcia koncentrácie inšpirovaného kyslíka na netoxické hladiny (< 50 %)
2. udržiavanie dostatočného PaO₂ alebo SaO₂
3. zlepšenie compliance pľúc a
4. minimalizovanie dodávky kyslíka.

Nie je možné a jednoduché stanoviť úroveň nastavenia PEEP. Ak máme nastavený vysoký PEEP, stúpa aj MAP a musíme limitovať/znížiť PIP (prevencia barotraumy). U detí s tracheomaláciou alebo bronchomaláciou pomáha PEEP udržiavať otvorené dýchacie cesty a tým znižuje odpor dýchacích ciest. Zlepšenie compliance pľúc je výsledkom zlepšenia ventilačno/perfúzneho pomeru.

- Nízke hladiny PEEP (2 - 3 cm H₂O) sa používajú vo fáze víningu (odpájania), alebo u detí s ľahkou formou respiračnej insuficiencie.

- Stredné hladiny PEEP (4 - 7 cm H₂O) sa najčastejšie používajú u detí so stredne závažnou formou respiračnej insuficiencie.

- Vysoké hladiny PEEP (8 - 15 cm H₂O) sa používajú na zlepšenie oxygenácie u detí s PARDS (Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome), zvýšenie dychového objemu V_t a zvýšenie PaO₂. Negatívom vysokého PEEP je zníženie tlaku krvi a kardiálneho výdaja redukovaním preloadu. Vysoký PEEP môže mať za následok hyperinfláciu pľúc, ruptúru alveol, čo má za následok zvýšené riziko pneumotoraxu a pneumomediastinu. Pri vysokých hladinách PEEP treba vždy redukovat' hladinu PIP tak, aby sme sa pohybovali dychovým objemom V_t v odporúčaných limitoch protektívnej ventilácie 4 - 8 ml/kg.

- V súčasnosti sa neodporúča nulová hladina PEEP.

Frekvencia dýchania

Počet dychov spolu s dychovým objemom determinujú minútovú ventiláciu. Frekvenciu dýchania nastavujeme v závislosti od veku, závažnosti a typu ochorenia, pľúcnej mechaniky (compliance pľúc a odporu dýchacích ciest). Frekvencia determinuje minútovú ventiláciu a úroveň eliminácie CO₂ z pľúc.

Inspiro-expiračný pomer (I:E)

Je veľmi dôležité správne nastaviť a kontrolovať I : E pomer, t.j. pomer inspiračného a expiračného času. Nastavenie I : E závisí od aktuálnej patofyziológie a priebehu respiračnej insuficiencie. Musíme pri nastavení rešpektovať pľúcnu mechaniku, compliance, rezistenciu a časovú konštantu. Normálny I : E pomer u detí je 1 : 2 až 1 : 3. Malé deti s RDS majú nízku compliance, normálnu rezistenciu. Vtedy je vhodné nastaviť I : E pomer 1 : 1. Reverzný I : E pomer (maximálny 4 : 1) využívame pri PARDS a vedie k zlepšeniu oxygenácie. Tento pomer však môže viesť k air trappingu a hyperinflácii alveol. Taktiež spomaľuje venózný návrat a ovplyvňuje systémový tlak.

Dychový objem (Vt)

V súčasnosti odporúčaný dychový objem u detí na UPV je 6 - 8 ml/kg. Niektoré práce poukazujú na šetrnosť nízkych dychových objemov (4 - 7 ml/kg) hlavne počas agresívnej ventilácie s vysokým PEEP a limitovaným PIP.

Tlaková podpora (PS-pressure support)

Ventiláciu s tlakovou podporou používame pri asistovanej ventilácii, keď ventilátor „asistuje“ pacientov spontánny dych. Pacientov spontánny dych vytvára negatívny tlak, ktorý triggeruje ventilátorom dodaný dych. Dodaný dych je tlakovo limitovaný.

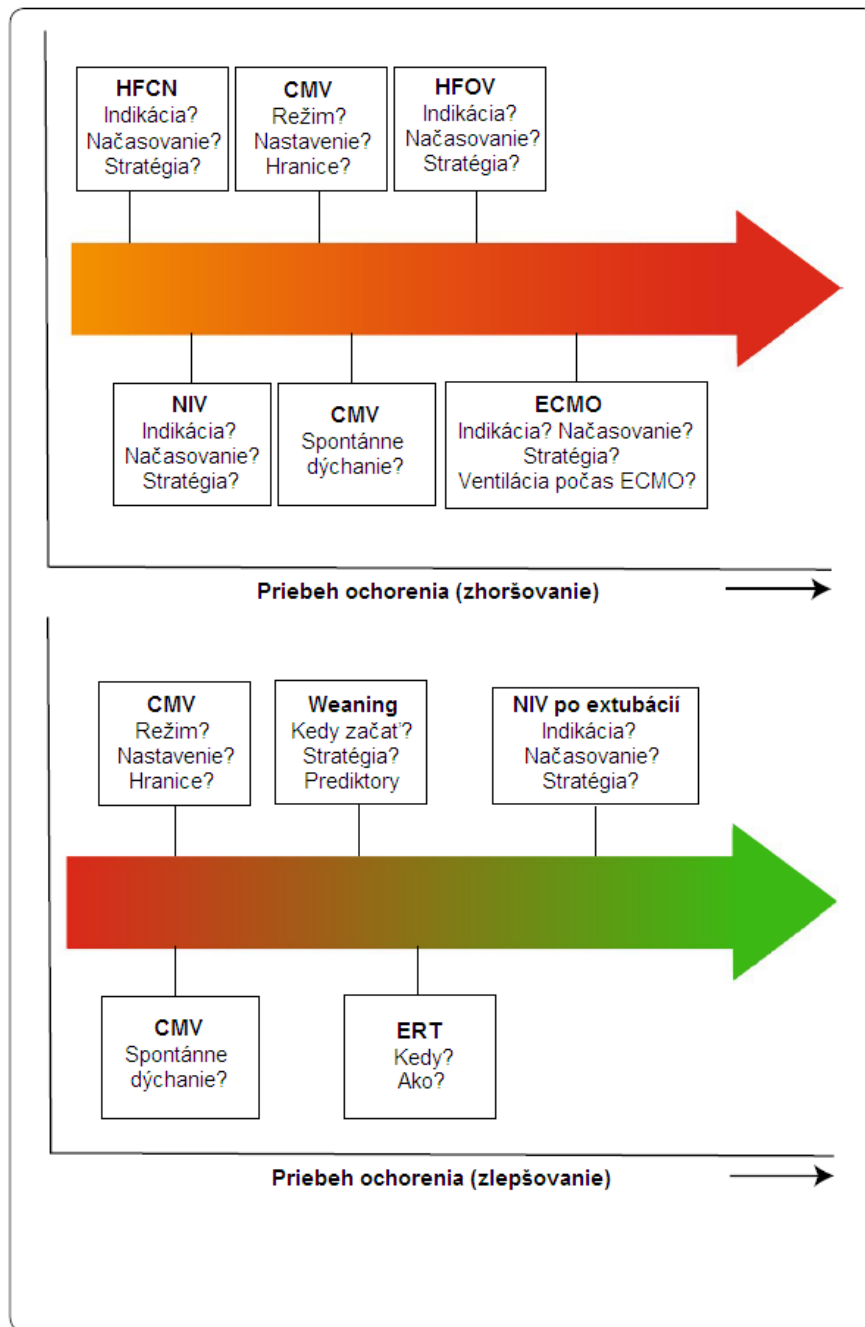
Triger/senzitivita

Triger je vlastne senzitivita nastavenia ventilátora. Ventilátor má zabudovaný senzor negatívneho tlaku ako aj prietoku. Pri snahe pacienta spontánne dýchať to ventilátor zaznamená a začne podporovať pacientov dych. Sensory trigeru - tlakový/prietokový je možné nastaviť na rôznu citlivosť. Vo všeobecnosti za citlivejší/jemnejší triger považujeme prietokový triger.

Aplikácia respiračnej fyziológie pri mechanickej ventilácii u detí

Tak ako dieťa nie je zmenšeninou dospelého, platí aj, že mechanická ventilácia detí a novorodencov je odlišná od mechanickej ventilácie dospelých. Zatiaľ čo základné fyzikálne princípy a prietok plynov sú u detí a dospelých rovnaké, anatomické a fyziologické odlišnosti hrajú dôležitú úlohu pri výbere typu ventilačného módu a nastavení ventilačných parametrov. Veľkým problémom aj v súčasnosti je správna voľba ventilačnej stratégie u detí v priebehu kritickej fázy respiračného zlyhania ako aj v priebehu klinického zlepšovania stavu dieťaťa. Veľká variabilita veľkosti, zrelosti pľúc a rozsah akútnych a chronických diagnóz u detí, prispieva k nedostatku klinických údajov podporujúcich dennú prax mechanickej ventilácie u detí (obr. 2).

Deti na rozdiel od dospelých majú intenzívnejší metabolizmus a tým vyššiu spotrebu kyslíka a produkciu CO₂. Funkčná reziduálna kapacita je u detí nízka. Tým sa redukuje rezerva kyslíka v pľúcach, čo súbežne s vysokou spotrebou kyslíka spôsobuje nízku toleranciu apnoe u detí. Deti dýchajú plytšie a rýchlejšie (tab. 2). Prevláda u nich abdominálny typ dýchania. Pri respiračnej insuficiencii deti reagujú tachypnoe, čím sa znižujú ich kompenzačné schopnosti. Anatomicky hrá u detí veľkú úlohu nízka rigidita hrudného koša, nezrelosť dýchacích ciest (chrupaviek), menší priemer dýchacích ciest. Za patologických podmienok to môže mať za následok zvýšenú tendenciu vzniku atelektáz.



Obrázok 2 Množstvo nejasností pri voľbe ventilačnej stratégie u detí v kritickej fáze a vo fáze klinickej stabilizácie

Tabuľka 2 Fyziologické hodnoty frekvencie dýchania u detí

Vek dieťaťa	Počet dychov/min
dojča	24-40
batoľa	22-34
školák	18-30
adolescent	12-16

U novorodencov a dospelých prebehlo množstvo kvalitných klinických štúdií, na základe ktorých boli vypracované medzinárodne akceptovateľné odporúčania pre umelú pľúcnu ventiláciu. V detskej populácii menšie štúdie boli ukončené, ale zatiaľ neexistujú medzinárodne akceptovateľné odporúčania pre umelú pľúcnu ventiláciu detí (tab. 3). Obrovská variabilita veľkosti, zrelosti pľúc a rozsah akútnych a chronických diagnóz u detí, prispieva k nedostatku klinických údajov podporujúcich dennú prax mechanickej ventilácie u detí. Ako vidno zo sumárnej tabuľky, v detskej populácii budeme musieť ešte niekoľko rokov čakať na výsledky analýz randomizovaných štúdií.

S veľkým očakávaním sme od roku 2015 čakali na výsledky medzinárodnej pracovnej skupiny, ktorá sa podujala vytvoriť odporúčania pre mechanickú ventiláciu kriticky chorých detí na podklade „Pediatric mechanical ventilation consensus conference“. Výsledky publikovali v roku 2017. Výsledkom bolo vydanie 152 odporúčaní (tab. 4). Podľa môjho osobného názoru (odporúčam si to podrobne preštudovať a vytvoriť si svoj názor) by som tieto odporúčania nazval „obdobím temna“. Prečo? Väčšinou ide o odporúčania typu – „nemožno odporúčať pre nedostatok spoľahlivých údajov“. A niektoré odporúčania, napr. dychový objem 10 ml/kg, nemožno považovať za seriózne uplatniteľné v pediatrickej klinickej praxi. Aj preto musíme zatiaľ využívať medzinárodné odporúčania pre protektívnu ventilačnú stratégiu u dospelých.

Indikácie mechanickej ventilácie u detí

Spoločné indikačné kritériá sú:

1. Respiračné zlyhanie
 - Apnoe
 - Neadekvátna ventilácia
 - Neadekvátna oxygenácia
 - Chronická respiračná insuficiencia vedúca k zlyhaniu.
2. Kardiálna insuficiencia/šok
 - Eliminácia dychovej práce
 - Redukcia spotreby kyslíka.
3. Neurologická dysfunkcia
 - Centrálna príčina hypoventilácie/časté apnoe
 - Komatózny pacient ($GCS \leq 8$)
 - Nemožnosť udržať priechodné dýchacie cesty.

Základy ventilácie

Ventilátor dodáva plyny do pľúc s využitím pozitívneho tlaku a nastavenej frekvencie dýchania. Množstvo dodaného plynu môžeme limitovať časom, tlakom alebo objemom. Ak nastavujeme objem (V_t), tak tlak je variabilný; ak nastavujeme tlak (PIP), mení sa objem – v závislosti od compliance pľúc.

Čo by mal spĺňať ventilátor?

1. Ventilátor musí spoznať pacientovu snahu dýchať (trigger)
2. Ventilátor musí byť schopný uspokojiť ventilačné požiadavky pacienta (response)
3. Ventilátor musí vedieť interferovať s pacientovou dychovou potrebou (synchrony).

Predmet	Dostupné dáta		Aplikácia pre konkrétne chorobné stavy
	RCT	observácia	
Neinvazívna podpora			
Použitie HFNC	žiadne	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Použitie CPAP	žiadne	áno	Všetky chorobné stavy
Neinvazívna ventilácia	Áno (n=2)	áno	Všetky chorobné stavy
Módy ventilátora			
Konvenčné módy	žiadne	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
HFOV	Áno (n=2)	áno	Všetky chorobné stavy
HFJV, HFPV	nie	áno	Všetky chorobné stavy
Tekutá ventilácia	nie	nie	Všetky chorobné stavy
ECMO	nie	áno	Všetky chorobné stavy
Nastavenie ventilátora			
Synchronizácia pacient - ventilátor	nie	áno	Všetky chorobné stavy
I:E pomer/inspiračný čas	nie	nie	Všetky chorobné stavy
Zachovanie spontánnej ventilácie	nie	nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Tlakové plató	nie	nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Tlaková delta/riadiaci tlak	nie	nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Dychový objem	nie	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
PEEP	nie	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy, ochorenia horných dých. ciest
recruitment	nie	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Monitoring			
Ventilácia	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Oxygenácia	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Dychový objem	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Pľúcna mechanika	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Ultrazvuk pľúc	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Ciele oxygenácie a ventilácie			
Oxygenácia	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Ventilácia	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Weaning a testy pripravenosti na extubáciu			
Weaning	Áno (n=2)	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
NIV po extubácii	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Použitie kortikoidov	Áno	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Podporné opatrenia			
Zvlhčovanie	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Endotracheálne odsávanie	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Fyzioterapia hrudníka	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Elevácia postele	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
ETT a patientský okruh	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Redukcia mŕtveho priestoru zariadení	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Heliox	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Použitie manuálnej ventilácie	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy

Tabuľka 3a Prehľad publikovaných štúdií súvisiacich s mechanickou ventiláciou detí

Predmet	Dostupné dáta		Aplikácia pre konkrétne chorobné stavy
	RCT	observácia	
Neinvasívna podpora			
Použitie HFNC	žiadne	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Použitie CPAP	žiadne	áno	Všetky chorobné stavy
Neinvasívna ventilácia	Áno (n=2)	áno	Všetky chorobné stavy
Módy ventilátora			
Konvenčné módy	žiadne	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
HFOV	Áno (n=2)	áno	Všetky chorobné stavy
HFJV, HFPV	nie	áno	Všetky chorobné stavy
Tekutá ventilácia	nie	nie	Všetky chorobné stavy
ECMO	nie	áno	Všetky chorobné stavy
Nastavenie ventilátora			
Synchronizácia pacient - ventilátor	nie	áno	Všetky chorobné stavy
I:E pomer/inspiračný čas	nie	nie	Všetky chorobné stavy
Zachovanie spontánnej ventilácie	nie	nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Tlakové plató	nie	nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Tlaková delta/riadiaci tlak	nie	nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Dychový objem	nie	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
PEEP	nie	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy, ochorenia horných dých. ciest
recruitment	nie	áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Monitoring			
Ventilácia	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Oxygenácia	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Dychový objem	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Pľúcna mechanika	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Ultrazvuk pľúc	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Ciele oxygenácie a ventilácie			
Oxygenácia	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Ventilácia	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
Weaning a testy pripravenosti na extubáciu			
Weaning	Áno (n=2)	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
NIV po extubácii	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Použitie kortikoidov	Áno	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Podporné opatrenia			
Zvlhčovanie	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Endotracheálne odsávanie	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Fyzioterapia hrudníka	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Elevácia postele	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy
ETT a patientský okruh	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Redukcia mŕtveho priestoru zariadení	Nie	Áno	Zdravé pľúca, všetky stavy
Heliox	Nie	Áno	Všetky chorobné stavy
Použitie manuálnej ventilácie	Nie	Nie	Zdravé pľúca, všetky stavy

Tabuľka 3b Prehľad publikovaných štúdií súvisiacich s mechanickou ventiláciou detí

	stredný tlak, PEEP. Zváž monitorovanie transpulmonálneho tlaku, (dynamickú) poddajnosť, vnútorný PEEP Monitoruj tlakovo-časovú a prietokovo-časovú krivku
Ultrazvuk pľúc	Zváž v adekvátne trénovaných rukách
Ciele	
Oxygenácia	SpO ₂ ≥ 95% pri ventilácii vzduchom pre zdravé pľúca Žiadne hranice pre akékoľvek chorobné stavy alebo kardiologických pacientov, ale udržiavaj SpO ₂ ≤ 97% Pre PARDS: SpO ₂ 92 – 97% pri PEEP < 10cmH ₂ O a 88 – 92% pri PEEP ≥ 10cmH ₂ O
Ventilácia	PCO ₂ 35-45 mmHg pre zdravé pľúca Vyššie PCO ₂ akceptované u akútnych (ne)pulmonálnych pacientov okrem špecifických ochorení s odlišnými odporúčaniami Cielové pH > 7,2 Normálne pH pre pacientov s pulmonálnou hypertenziou
Weaning a a pripravenosť na extubáciu	
Weaning	Začni weaning tak skoro, ako je to možné Denne vykonávaj testy na pripravenosť na extubáciu
Neinvazívna ventilácia po extubácii	Zváž neinvazívnu ventiláciu u pacientov s neuromuskulárnymi ochoreniami
Kortikosteroidy	Použi u pacientov s vyšším rizikom pre po-extubačný stridor
Podporné opatrenia	
Zvlhčovanie	Použi zvlhčovanie
Endotracheálne odsávanie	Nepoužívaj rutinne, iba pri indikácii Nepoužívaj rutinnú instiláciu fyziol. roztoku pred odsávaním
Fyzioterapia hrudníka	Nepoužívaj rutinne Zváž použitie kašlového asistenta u pacientov s neuromuskulárnym ochorením
Polohovanie	Udržiavaj elevovanú hornú polovicu postele 30-45°
Endotracheálna kanyla a patientský okruh	Používaj balónikové kanyly, udržiavaj tlak v balóniku ≤20cmH ₂ O Minimalizuj mŕtvý priestor pridaním komponentov Použi double-limb okruhy na invazívnu ventiláciu Nepoužívaj domáce ventilátory v akútnej fáze na ICU
Iné	
Manuálna ventilácia	Vyhni sa manuálnej ventilácii okrem špecifických situácií riadiacich sa inými odporúčaniami

Tabuľka 4 Potenciál klinickej využiteľnosti odporúčaní u detí na UPV

Hlavným cieľom ventilácie je adekvátna ventilácia a oxygenácia pacienta. Tá sa dá dosiahnuť aj tlakovou aj objemovou ventiláciou. Na zjednodušenom praktickom príklade je možné ventilátory rozdeliť na:

1. objemovo limitované, časovo cyklované (tzv. objemové ventilátory) s/bez kontinuálneho prietoku. Ventilátor ukončí inspírium po dosiahnutí nastaveného dychového objemu. Tu sa ale mení veľkosť jednotlivých inspiračných tlakov (PIP) v závislosti od aktuálnej compliance pľúc a odporu dýchacích ciest.
2. tlakovo limitované, časovo cyklované (tzv. tlakové ventilátory) s/bez kontinuálneho prietoku. Ventilátor ukončí inspírium po dosiahnutí nastaveného PIP. Tu sa ale mení veľkosť jednotlivých dychových objemov v závislosti od aktuálnej compliance pľúc.

3. kombinované.

Všetky skupiny môžu mať pridanú jednu alebo všetky nasledovné schopnosti:

- asistovanú formu dýchania (synchronizovanú s dychovým úsilím pacienta) s jednou alebo dvomi spúšťacími premennými (tlak, prietok) s/bez možnosti regulácie ich citlivosti
- podpornú formu dýchania (označovanú ako tlaková podpora, objemová podpora, CPAP, BiPAP)
- systém umožňujúci spontánne dýchanie
- systém umožňujúci neinvazívnu ventiláciu.

Typy ventilácie

1. Riadená ventilácia

Riadené dýchanie je spustené, limitované a cyklované ventilátorom. Pacient nemá žiadne dychové úsilie.

2. Asistovaná ventilácia

Asistované dýchanie je spustené pacientom, limitované a cyklované ventilátorom. Pacient musí vyvinúť spontánne dychové úsilie k spusteniu nádychu v závislosti od typu a nastavenia spúšťacej premennej.

3. Podporná ventilácia

Podporné dýchanie je spustené a cyklované pacientom. Limitované je ventilátorom. Pacient zaháji a ukončí nádych a ventilátor dodá nastavené limitujúce premenné.

Najnovšie generácie ventilátorov môžu kontinuálne monitorovať všetky kontrolované a fázové premenné. Taktiež ich môžu aktuálne meniť od jedného dychového cyklu ku druhému. Dokážu súčasne kontinuálne počítať compliance a odpor a to nielen číselne ale aj zobrazit' príslušné krivky. Tým sa kontrolované a fázové premenné stávajú tzv. podmienenými premennými, pretože môže pred každým dychom meniť vzájomné nastavenie kontrolovaných a fázových premenných podľa aktuálnych podmienok a stavu pacienta.

1. Riadená (kontrolovaná) ventilácia

Pri tomto type ventilácie je každý dych plne generovaný a podporovaný ventilátorom, bez ohľadu či pacient dýcha alebo nedýcha. Pri súčasných ventilátoroch sa v situácii, keď pacient prestane dýchať automaticky prepne režim z asistovanej do riadenej ventilácie. V klasickom kontrolovanom móde pacient nie je schopný dýchať. Preto pri konvenčnom kontrolovanom móde nie je možné docieľiť weaning znižovaním počtu dychov. Pri prebúdzaní často vzniká asynchronia ventilátor-pacient. Pacienti vyžadujú sedáciu a/alebo myorelaxanciu. Novšie prístroje už umožňujú typy kontrolovaných módov s asistovanou ventiláciou, kde každý pacientov dych je plne podporovaný prístrojom.

- Objemová ventilácia (VCV - volume control ventilation).** Ventilátor dodá nastavený V_t počas nastaveného T_i v zvolenej frekvencii. Obvykle sa používa konštantný prietok. Cyklickou premennou je čas. Výhodou je dodávanie konštantných dychových objemov a minútovej ventilácie (MV). Väčšina ventilátorov umožňuje použiť tzv. inspiračnú pauzu vyjadrenú v % z T_i . Ak ju použijeme, ventilátor po dodaní príslušného V_t predĺži inspírium ponechaním uzavretého ventilu, čím sa udržuje pretlak v dýchacích cestách bez prietoku. Inspiračná pauza umožňuje lepšiu redistribúciu vzduchu v pľúcach a na tlakovej krivke sa zobrazí ako tzv. plateau (Pplat- plateau pressure).

- Tlaková ventilácia (PCV - pressure control ventilation).** Ventilátor dodá pozitívny tlak do úrovne nastavenej hodnoty počas zvoleného T_i a frekvencie. Prietok má deceleračný charakter. V_t a MV nie sú konštantné a závisia od odporu a compliance pľúc. Výhodou je presná tlaková regulácia ventilácie.

- Tlakovo regulovaná objemová ventilácia.** Ventilátor používa deceleračný prietok na dodanie nastaveného V_t počas nastaveného T_i a frekvencie dýchania. Odpor a compliance sú kontinuálne monitorované a podľa toho ventilátor aktuálne mení prietok a tlak od jedného

dychového cyklu k druhému tak, aby dodal nastavený V_t pri čo najnižšom PIP. Jednotlivé hodnoty premenných môžu mať u jednotlivých dychov určitú odchýlku od nastavených hodnôt.

2. Asistovaná ventilácia

Označuje sa A (assist) alebo S (synchronized). Je v podstate totožná s riadenou ventiláciou. Ventilátor má však možnosť niektorej z foriem asistovaného dýchania so spúšťajúcou premennou. Ventilátor čaká na dychové úsilie pacienta a po jeho rozpoznaní dodá mechanický dych podľa dopredu nastavených parametrov v objemovom alebo tlakovom režime. Ak pacient prestane dýchať, ventilátor sa automaticky prepne do riadeného režimu. Výhodou je synchronizácia mechanického dychu s dychom pacienta (zníženie dychovej práce, stresu a traumatizácie pacienta).

- *Asistovaná/kontrolovaná ventilácia (A/C) - assist/control*). Ventilátor dodá nastavený objemový alebo tlakový dych pri každom spontánnom dychu pacienta. Každý pacientov dych je asistovaný ventilátorom, bez ohľadu na nastavenú frekvenciu. Pokiaľ je teda nastavená frekvencia nižšia ako pacientova, riadi sa ventilátor pacientovou frekvenciou. Pokiaľ pacient prestáva dýchať, ventilátor dodá počet dychov podľa nastavenej frekvencie. Môže vzniknúť hypoventilácia a weaning nemusí byť bezproblémový.

- *Intermitentná a synchronizovaná intermitentná ventilácia (IMV -intermitent mandatory ventilation, SIMV - synchronized IMV)*. Pri IMV režime ventilátor dodá dopredu nastavený počet mechanických dychov. Medzi jednotlivými dychmi pacient dýcha spontánne. Pri režime SIMV sú mechanické dychy synchronizované s dychovým úsilím pacienta. Predurčený počet dychov je synchronizovaný. Ostatné spontánne dychy nad tento nastavený počet nie sú asistované. Ak pacient prestane dýchať, ventilátor dodá počet nastavených dychov. Tieto režimy umožňujú postupné znižovanie mechanickej podpory a súčasnú synchronizáciu s pacientom.

- *Regulovaná minútová ventilácia (MMV - mandatory minute ventilation)*. Pacient dýcha spontánne a ventilátor meria dychové objemy v určitých intervaloch. Ak pacient nedosiahne požadovanú hodnotu, ventilátor dodá dych v objemovom/tlakovom režime tak, aby kompenzoval chýbajúci V_t a aby zabezpečil prednastavenú MV. Ak pacient prestane dýchať, ventilátor sa prepne do zvoleného riadeného režimu.

- *Dvojúrovňová ventilácia (APRV- airway pressure release ventilation)*. Pacient dýcha spontánne na dvoch úrovniach pozitívneho tlaku (vyššej a nižšej - T high, T low), ktoré ventilátor mení v nastavených intervaloch (T high a T low) a hodnotách. Tu sa používa kontinuálny prietok (CPAP).

3. Podporná ventilácia

Jej primárnou úlohou je zlepšiť koordináciu pacienta s ventilátorom. Pacient však musí spontánne dýchať. Môže sa použiť ako samostatný režim; v spojení s iným režimom alebo pri odpájaní.

- *Tlaková podpora (PS - pressure support alebo i BiPAP)*. Pacient dýcha spontánne a každý jeho dych je podporovaný ventilátorom do výšky dopredu nastaveného pozitívneho tlaku, vo forme tlakovo limitovanej prietokom cyklovanej ventilácie. Podpora ventilátorom je synchronizovaná s inspiračným úsilím. Pacient iniciuje vdych a ventilátor dodá prúd vzduchu podľa pacientovho úsilia so súčasne zatvoreným exhaláčným ventilom (čím sa zaistí nastavený pretlak). Ventilátor otvorí výdychový ventil vtedy, keď sa rýchlosť inspiračného prietoku zníži na vopred nastavenú hodnotu - obvykle 5 - 20 % iniciálnej rýchlosti. Pacient tak reguluje začiatok aj koniec inspiria, hĺbku vdychu a prietok. Dodaný V_t závisí od nastaveného pretlaku, pacientovho úsilia, odporu a compliance. Dychová práca je znížená a nízka podpora (3 - 5 cm H_2O) sa môže použiť ku kompenzácii odporu endotracheálnej kanyly.

- *Kontinuálny pozitívny tlak (CPAP - continuous positive airway pressure)*. Ventilátor udržiava stály nastavený pretlak v dýchacích cestách. Pacient dýcha spontánne. Prietok je kontinuálny alebo separátny - podľa typu prístroja.

- *Objemová podpora (VSV - volume support ventilation alebo VAPS - volume assured pressure support)*. Opäť ide o tlakovo limitovanú, prietokom cyklovanú ventiláciu so zaistením nastaveného Vt alebo MV. Ventilátor sleduje Vt jednotlivých dychov a pokiaľ sa nedosiahne nastavená hodnota, doplní ju zvýšením tlakovej podpory.

Novšie typy ventilačných módov

Neinvazívna ventilácia (NIV - noninvasive ventilation)

Jedná sa o relatívne nový spôsob ventilácie pacienta. V pediatrickej intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti nachádza čoraz širšie uplatnenie. NIV je definovaná ako ventilačný mód, kde je podporovaný dych pacienta dodaním mechanického asistovaného dychu a to bez potreby intubácie pacienta. Je to pre pacienta komfortná metóda, nie je potrebná analgosedácia resp. minimálna analgosedácia. NIV rozdeľujeme na ventiláciu negatívnym tlakom (NPV - negative pressure ventilation) a neinvazívnu ventiláciu pozitívnym tlakom (NIPPV - noninvasive positive pressure ventilation).

PRVC (Pressure-regulated volume control)

Predstavuje dvojito kontrolovaný (hybridný) ventilačný mód, pri ktorom sú dychy mandatórne, dychová frekvencia fixná a inspiračné tlaky varírujú na dosiahnutie prednastaveného dychového objemu. Ventilátor dosahuje predvolené dychové objemy tlakovo riadenou dodávkou plynov, za čo najnižších inspiračných tlakov. PRVC sa využíva pri protektívnej ventilácii pľúc, nakoľko variabilné špičkové inspiračné prietoky redukujú dychovú prácu pacienta viac ako fixné prietoky.

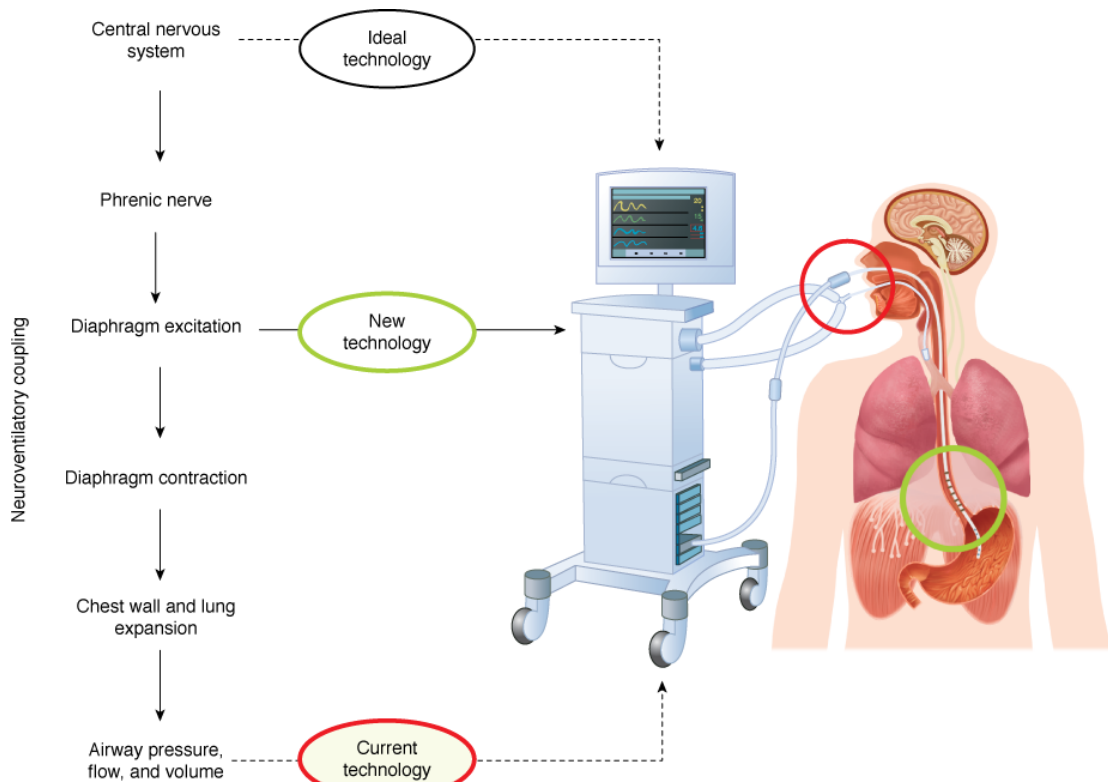
ASV (Adaptive support ventilation)

Je tlakovo riadený ventilačný režim optimalizujúci vzťah medzi dychovým objemom a dychovou frekvenciou prispôbovaný mechanike pľúc, na dosiahnutie adekvátnej minútovej ventilácie. Na ventilátore sa nastaví maximálny plateau tlak a požadovaná minútová ventilácia podľa pacientovej ideálnej váhy. Ventilátor si automaticky určí cieľové vzorce podľa zadaných nastavení a zároveň monitoruje respiračné dáta (rezistenciu, compliance, auto-PEEP).

NAVA (neurally adjusted ventilatory assist)

Podľa nielen môjho názoru predstavuje NAVA nový revolučný prístup k ventilácii pacientov. NAVA je metóda mechanickej ventilácie, riadená mozgovými signálmi (t.j. stimuláciou brušnej nervovej membrány), ktorá môže pomôcť pacientom v kritických podmienkach zlepšením interakcie medzi pacientom a ventilátorom. Dýchanie je stimulované respiračným centrom v mozgu. Stimul putuje frenickým nervom, stimuluje bránicu a to vedie k svalovej kontrakcii a poklesu bránice. Výsledkom je pokles tlaku v dýchacích cestách, čo spôsobí prítok vzduchu do pľúc. Pomocou špeciálnej NAVA nazogastrickej sondy (NGS) vieme merať elektrickú aktivitu bránice (Edi signál). Vieme zmerať jeho intenzitu a kvalitu. Edi signál je vlastne elektrickým triggerom pacientovi vlastným, ktorý okamžite spustí dychový cyklus.

Pri konvenčných typoch ventilácie sú tlakové a prietokové triggerové senzory umiestnené na konci ventilačného okruhu (tesne pri endotracheálnej kanyle). Merajú tlakové a prietokové zmeny. To je fakt, ale treba si uvedomiť že je to merané mimo pacienta a môžu byť ovplyvnené rôznymi falošnými faktormi. To môže mať za následok diskomfort pacienta a problematické triggerovanie. Okrem toho takto merané zmeny majú síce minimálnu ale predsa len akú- takú časovú opozdenosť. Priame meranie Edi signálu a jeho kvality a intenzity je pacientovi vlastné, zaznamenáva jeho stimuláciu z dychového centra, je rýchle a priamo odzrkadľuje aktuálny stav spontánnej dychovej aktivity pacienta. Ja v tejto novej metóde vidím veľký prísľub a budúcnosť (obr. 3).



Source: Tobin MJ: *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*, 3rd Edition: www.accessanesthesiology.com
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Obrázok 3 Porovnanie snímania triggerov pri konvenčnej ventilácii a pomocou NAVA sondy (Edi signál)

Zásady protektívnej ventilácie pľúc

Protektívnu ventiláciu pľúc považujeme v súčasnosti za štandard pri umelej pľúcnej ventilácii. Napriek nie moc úspešnému pokusu detských intenzivistov o medzinárodný konsenzus stanovenia zásad protektívnej ventilácie u detí, sme naďalej odkázaní na poznatky od dospelých intenzivistov. Umelá pľúcna ventilácia síce nahrádza jednu zlyhanú vitálnu funkciu, ale stále je to nefyziologická ventilácia. Je dokázané, že už po 10 - 20 minútach od začatia UPV sa rozbehnú rôzne nežiaduce patologické procesy. UPV môže relatívne ľahko poškodiť pacienta a viesť k ventilátorom indukovanému poškodeniu pľúc (VILI syndróm). Umelá pľúcna ventilácia je nástroj na obnovu vitálnej funkcie, ale v rukách neskúseného intenzivistu sa stáva „zbraňou“ závažne poškodzujúcou už aj tak kriticky chorého pacienta. Preto sa stanovili zásady protektívnej ventilácie pľúc (vždy v danej dobe reflektujú na aktuálne vedecké poznatky a technologické možnosti), ktoré minimalizujú nežiaduce účinky UPV na pacienta. V podstate zásady sú jednoduché - nízkoobjemová tlakovo limitovaná ventilácia:

- nastaviť dychový objem V_t 4 - 8 ml/kg prediktívnej telesnej hmotnosti
- limitácia inspiračného tlaku P plateau < 30 cmH₂O
- navodenie permissívnej hyperkapnie
- stratégia „open lung tool“ - otvoriť a nenechať skolabovať atelektatické časti pľúc správnym nastavením PEEP.

Výber najvhodnejšej ventilačnej stratégie

Ventilačných módov a stratégií je relatívne veľký počet a stále nám pribúdajú nové. V tomto článku som nespomenul HighFlow, HFOV, ECMO. Neexistuje jednoznačné odporúčanie pri akej chorobe, jej intenzite, klinickom stave pacienta, ktorý ventilačný mód použiť, ako najvhodnejšie iniciálne nastaviť ventilačné parametre, kedy a ako ich meniť. Ako je schematicky znázornené na obrázku 4, odporúčania „Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conferencie 2017“ sú relatívnej jasné. Ale múdry a skúsený intenzivista v tom nájde množstvo prekážok a nejasností, na ktoré doteraz nie sú známe odpovede. Menej skúsený bude mať z týchto odporúčaní len „medicínsky guláš“. V konečnom dôsledku naozaj záleží len na tom, aké bohaté skúsenosti lekár má a ako ich vie pri zmene klinického stavu (počas umelej pľúcnej ventilácie) využiť.

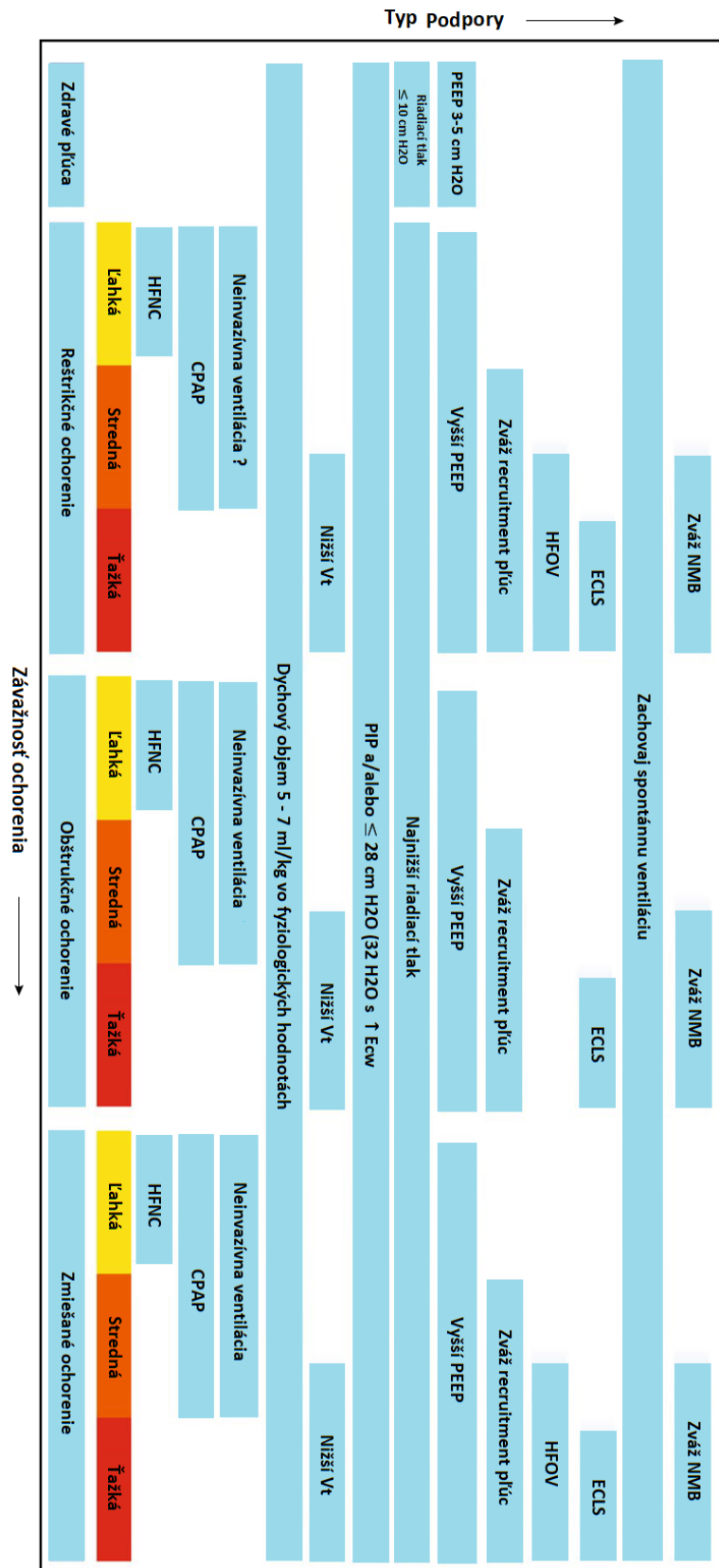
Monitorovanie pacienta počas UPV

Každý ventilovaný pacient má byť komplexne a hlavne kontinuálne monitorovaný (obr. 5). V prvom rade najlepším monitorom je lekár a sestra. Lekár má komplexne klinicky vyšetriť pacienta (nie len respiračný systém) a tieto vyšetrenia pravidelne opakovať. Ku komplexnému monitorovaniu patria:

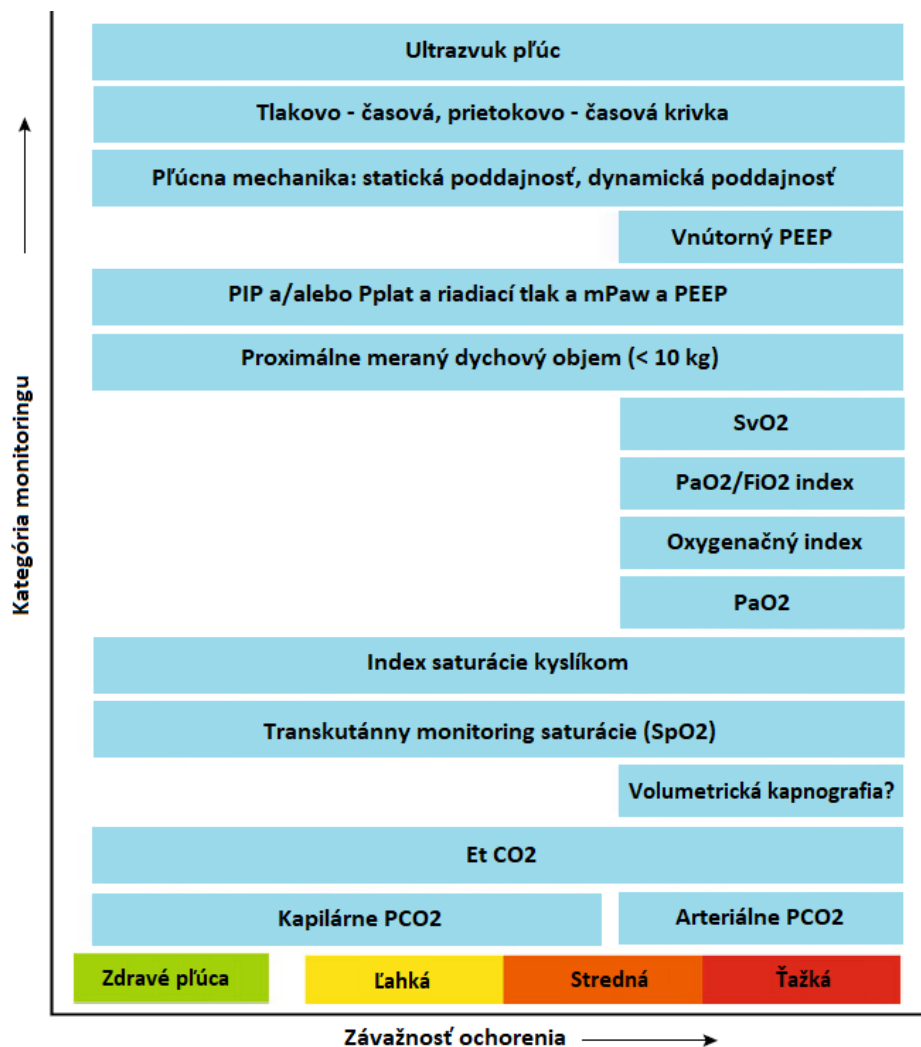
- vitálne funkcie (využiť všetky dostupné možnosti)
- ventilátorom monitorované a derivované parametre (hodnoty), sledovať časové zmeny kriviek (tlak, prietok, objem), hodnotiť tlakovo-objemovú slučku a jej zmeny („zlatý štandard“), prietok-objemovú slučku, compliance a odpor
- EtCO₂, PaO₂, PaCO₂, oxymetria, SvO₂, volumetrická kapnografia
- indexy: oxygenačný index, PaO₂/FiO₂ index, LIS index
- zobrazovacie metódy: sono pľúc (stáva sa zlatým štandardom), RTG, CT MR, tomografia, flexibilná bronchoskopia, EBUS - videobronchoskopia spojená s ultrazvukom
- využívať kontinuálne neinvazívne metódy monitorovania zmeny vzdušnosti pľúc (počas dychového cyklu) - napr. neinvazívna elektrická impedančná tomografia
- komplexná laboratórna a mikrobiologická diagnostika.

Záverom

V súčasnosti UPV je bežným štandardom práce intenzivistov a anesteziológov. Stúpa počet ventilovaných pacientov. Postupom času sa vypracúvajú novšie a presnejšie odporúčania, ktoré nám napomáhajú skvalitňovať našu prácu a hlavne zachraňovať čoraz širšiu škálu kriticky chorých pacientov. Pozitívom je klesajúca mortalita respiračne zlyhaných pacientov. Do klinickej praxe sa dostávajú modernejšie a sofistikovanejšie prístroje, ktoré umožňujú kvalitnejšie a cielenejšie vykonávať umelú pľúcnu ventiláciu. S novou technikou prichádzajú aj novšie ventilačné módy a stratégie. Samozrejmosťou je aj skvalitňovanie práce intenzivistov s sestier. Na druhej strane umelá pľúcna ventilácia je stále „UMELOU-NEFYZIOLOGICKOU“ a nahradiť zlyhanú/zlyhávajúcu vitálnu funkciu - dýchanie nie je vôbec jednoduché. Treba ale konštatovať, že v pediatrickej intenzívnej a resuscitačnej starostlivosti nám stále chýba dostatočný počet kvalitných randomizovaných štúdií, ktoré by pomohli stanoviť jasné zásady umelej pľúcnej ventilácie a protektívnej ventilácie u detí. Detskí intenzivisti musia naďalej využívať poznatky získané v dospeljej populácii a u novorodencov. V ich práci je nevyhnutná dostatočná klinická skúsenosť a rozvaha.



Obrázok 4 Odporúčania „ventilačných režimov“, „nastavenia ventilátora“ podľa PEMVECC



Obrázok 5 Odporúčania pre monitoring ventilovaných pacientov

Literatúra

1. Fedor M, a kol. Intenzivní péče v pediatrii, Osveta, 2006
2. Flavia J, et al. 'Lung-protective' ventilation in acute respiratory distress syndrome: still a challenge? J Thorac Dis 2017;9: 2238-2241.
3. Khilnani P, et al. Pediatric and neonatal mechanical ventilation. 2 edition, Jaypee brothers medical publishers, 2011.
4. Kneyber MCJ, et al.: Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the paediatric mechanical ventilation consensus conference (PEMVECC), Intensive Care Med 2017;43:1764-1780.
5. Morrison WE, et al.: Roder's handbook of pediatric intensive care, fifth edition, Wolters Kluwer, 2017.
6. Nilofer S, et al. A study of mechanical ventilation in children. Int J Contemp Pediatr 2017; 4:2088-2092.
7. Novák I, a kol: Intenzivní péče v pediatrii, Galen, 2018.
8. Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome: Consensus Recommendations From the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. The Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group, Pediatr Crit Care Med 2015;16:428-439.
9. Rimensberger P et al.: Pediatric and neonatal mechanical ventilation. From basics to clinical practice. Springer, 2015.