

Výměníky tepla a vlhkosti v intenzivní péči: výhody a rizika jejich používání u mechanicky ventilovaných kriticky nemocných

Línková Š., Rambousková K., Jiroutková K., Duška F.

Klinika anesteziologie a resuscitace 3. LF UK a FNKV Praha

Fyziologickou funkcí horních dýchacích cest je ohřát a zvlhčit vdechovaný vzduch. U pacientů na umělé plicní ventilaci je nutné tuto funkci nahradit. Součástí respirační péče je i užití pasivního (HME, heat and moisture exchanger) nebo aktivního ohřátí a zvlhčení vdechované směsi. V populaci neselektovaných kriticky nemocných nebyly v randomizovaných kontrolovaných studiích zjištěny rozdíly v klinickém výsledku mezi oběma těmito způsoby. Použití HME je technicky jednodušší způsob, který je preferovaný u pacientů bez respirační patologie, u kterých se předpokládá potřeba jen kratší umělé plicní ventilace (UPV); < 4 dny. U ostatních ventilovaných nemocných může být preferováno aktivní zvlhčení, protože HME buď naráží na limitace účinnosti (vysoké inspirační průtoky nebo hypotermie pacienta), životnosti (zanášení sekrety), nebo nežádoucí efekt zvýšení mrtvého prostoru (ARDS; acute respiratory distress syndrome). V článku jsou podrobně rozebrány fyzikální a fyziologické principy a dostupná experimentální a klinická data o různých způsobech zvlhčení v intenzivní péči. Je diskutována nejednotnost doporučení stran frekvence výměny filtrů, kde se zdá, že doporučení výrobců ne zcela reflektují rizika častějšího rozpojování okruhu a experimentální data zcela chybí. Kromě uceleného pohledu na tuto problematiku si článek klade za cíl poskytnout i konkrétní doporučení pro praxi.

Klíčová slova: pasivní výměníky tepla a vlhkosti, HME, péče o dýchací cesty, kriticky nemocní, umělá plicní ventilace.

Heat and moisture exchangers in intensive care: benefits and risks of their use in mechanically ventilated critically ill patients

The upper airway naturally warms and humidifies inspired air. For patients with artificial airways, this function is assumed by respiratory care devices, utilizing passive (HME, Heat and Moisture Exchangers) or active humidification. Despite no observed differences in clinical outcomes between these methods in randomised trials with critically ill patients, each has its particular benefits. HME, being technically simpler, is favoured in patients without respiratory pathologies, who are expected to be on only short-term mechanical ventilation (< 4 days). For other ventilated patients, active humidification might be more appropriate, especially when HME's efficacy is limited due to high inspiratory flow, patient hypothermia, contamination risk, or in patients sensitive to increased dead space, such as in ARDS. This paper explores the physiological principles, experimental findings, and clinical data regarding respiratory humidification in intensive care. It also highlights the disparity in recommendations on the frequency of filter changes. Manufacturers' guidelines often do not consider the risks associated with frequent circuit disconnection, and there is a noticeable absence of experimental data on this topic. This paper seeks to offer a holistic understanding of respiratory humidification in intensive care, coupled with actionable recommendations for clinical practice.

Key words: heat and moisture exchangers, HME, respiratory care, critically ill, mechanical ventilation.

Úvod

Při invazivní umělé plicní ventilaci v intenzivní péči jsou dýchací cesty zajištěny endotracheální nebo tracheostomickou kanylou a izolovány manžetou, na operačním sále mají své místo též supraglotické pomůcky.

V obou případech jsou obcházeny horní dýchací cesty, jejichž funkci je třeba nahradit a vdechovanou směs ohřát a nasycit vodní parou. Vydechovaný i alveolární vzduch o teplotě 37 °C je plně nasycen vodní parou a obsahuje 44 g·m⁻³ vodní páry. Teplota a vlhkost vdechovaného

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORKY:

Mgr. Šárka Línková, Dis., sarka.linkova@fnkv.cz

Článek přijat redakcí: 28. 8. 2023; Článek přijat k tisku: 2. 1. 2024

Cit. zkr: Anest intenziv Med. 2024;35(1):31-37

vzduchu v orofaryngu dosahují hodnot 32–34 °C a 32 g·m⁻³ (při minutové ventilaci v rozsahu 7 až 42 l/min). Relativní vlhkost vzduchu se během měření vždy blíží 100 % [1].

Výměníky tepla a vlhkosti se používají od 50. let 20. století, kdy došlo k rozšíření umělé plicní ventilace u tracheostomovaných pacientů. Ve své zprávě o epidemii dětské obrny v Dánsku v roce 1952 Lassen uvedl, že při použití techniky tracheostomie a přetlakové umělé ventilace je „nezbytný dobrý zvlhčovač vzduchu, jinak může dojít k inkrustaci sekretu“ (Obr. 1) [2]. Vdechovaná směs plynů je při pokojové teplotě již při obsahu vodní páry 17 g·m⁻³ plně nasycena. Kapacita směsi plynů zadržovat vodní páru roste exponenciálně s teplotou (Obr. 2). Pokud nebyla tato směs adekvátně zvlhčována, došlo po jejím zahřátí v dolních dýchacích cestách k jejímu dosycení odparem ze slizničních sekretů, což vedlo k jejich zasychání, dysfunkci řasinkového epitelu, poškození sliznice a častým katastrofickým mechanickým okluzím dýchacích cest.

Zpočátku se ke zvlhčení vdechované směsi plynů používala primitivní zařízení s nedostatečnou účinností. Velmi rychle však vývoj směřoval k výměníku tepla a vlhkosti [3, 4], poprvé popsaného zařízení, které mělo zajistit účinné pasivní zvlhčování vdechovaných plynů zachytáváním tepla a vlhkosti vydechovaného vzduchu a odevzdáváním do vdechované směsi při následujícím dechu [5]. První výměník tepla a vlhkosti se objevil v klinické praxi v roce 1958 (Obr. 3). V počátcích umělé plicní ventilace byla formulována první doporučení týkající se vlhkosti a teploty vdechované směsi plynů [6, 7], která v roce 1969 shrnul Chamney; bylo doporučeno, aby se směs plynů dodávaná pacientům, jejichž horní dýchací cesty jsou obcházeny, zahřívala na teplotu nejméně 30 °C a zvlhčovala na nejméně 30 g·m⁻³ [8].

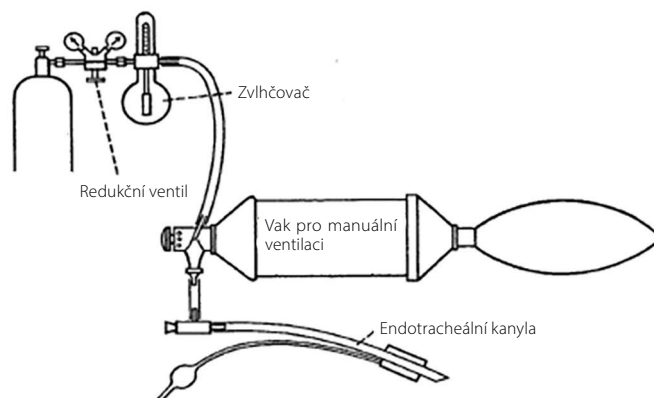
V dnešní klinické praxi je zvlhčování během umělé plicní ventilace široce akceptováno a standardně používáno, nicméně neexistuje shoda ohledně optimálního technického řešení této otázky.

Rizika spojená s nedostatečným zvlhčením vdechované směsi plynů

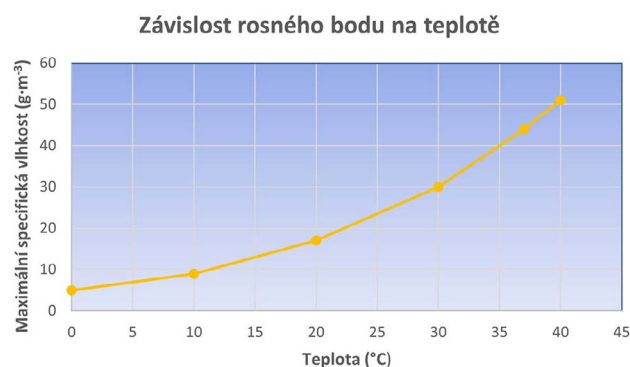
Pokud je nedostatečně zvlhčená směs plynů přiváděna přímo do průdušnice, může dojít k poškození sliznice, především trpí schopnost řasinek transportovat hlen směrem k hrtanu [9]. Williams et al. na základě dat ze sedmnácti publikovaných studií o vlivu různých úrovní vlhkosti na dýchací cesty stratifikovali mukociliární dysfunkci na mírnou, kdy dochází ke zahuštění hlenu a zpomalení jeho transportu, a závažnou, kdy se pohyb řasinek výstelky ve velkých dýchacích cestách zcela zastaví a dochází k poškození buněk. Za ideální považovali ventilovat pacienty směsí plynů o teplotě 37 °C, plně nasycených vodní párou (44 g·m⁻³), tj. body temperature and pressure saturated (BTPS) [10] a definovali optimum jako nulový deficit vlhkosti vzhledem k těmto podmínkám. Z dostupných dat však nevyplynou žádné důkazy, že by se klinicky významná mukociliární dysfunkce projevila do deficitu vlhkosti přibližně -11 g·m⁻³, což umožňuje stanovit minimální přijatelnou hodnotu vlhkosti vdechované směsi plynů o teplotě 37 °C na 33 g·m⁻³.

Řádné zvlhčení vdechované směsi plynů je potřebné i během anestezie, jak dokládá již práce Chalona et al. z roku 1972. Expozice řa-

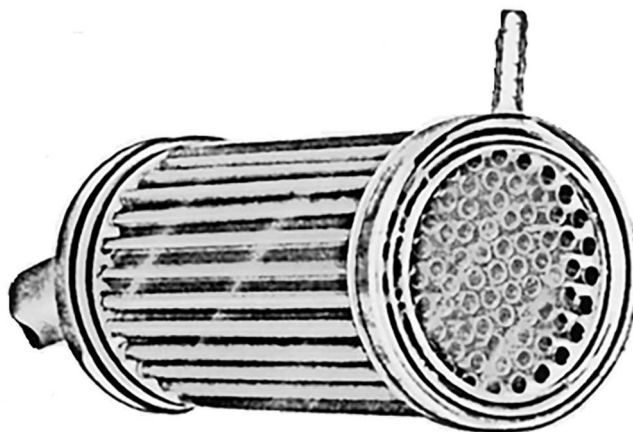
Obr. 1. Dýchací okruh používaný k manuální ventilaci pacientů při epidemii poliomyelitidy v Kodani v roce 1952. Ke zvlhčení se užívalo pouze probublávání inhalační směsi pod vodou (upraveno dle [2])



Obr. 2. Závislost rosného bodu na teplotě



Obr. 3. Allanderův výměník tepla a vlhkosti (HME), který sestával ze soustavy ocelových trubiček v plexisklovém pouzdru (upraveno dle [5])



sinkového epitelu nezvlhčené směsi inhalačních anestetik vede během tří hodin k poškození řasinek a cytoplazmatickým změnám až u 39 % buněk, u 48 % slizničních buněk byly pozorovány změny buněčného jádra v porovnání se stavem na začátku anestezie [11].

Doporučení týkající se zvlhčení a ohřevu vdechované směsi plynů během neinvazivní plicní ventilace (NIV) nejsou striktní. Faktem je, že během NIV nejsou zcela vyřazeny přirozené mechanismy zvlhčení a ohřevu vdechované ventilační směsi v horních dýchacích cestách, ovšem maximální přípustná hodnota objemové koncentrace vodních par medicínálních plynů je 67 ppmV, což znamená, že jejich absolutní vlhkost se při pokojové teplotě blíží nule. Zvlhčení

a ohřátí vdechované směsi plynů během NIV jednoznačně vedou ke zvýšení komfortu a compliance pacientů k této léčbě, výsledkem je pak celkově lepší efekt terapie. Doporučené postupy pro invazivní a neinvazivní ventilaci, které vydala American Association for Respiratory Care v roce 2012 [12], se při použití NIV přiklání k aktivní formě zvlhčení vdechované směsi plynů. Technicky je možné využít i pasivní výměník tepla a vlhkosti, který ale objektivně vede ke zvýšení objemu mrtvého prostoru, retenci CO₂ a navýšení dechové práce, což může vést k subjektivnímu zhoršení dušnosti pacienta a k progresi respiračního selhání [9].

Možné způsoby zvlhčení a ohřevu vdechované směsi u uměle ventilovaných pacientů

Zařízení ke zvlhčení a ohřátí vdechované směsi plynů lze principiálně rozdělit na aktivní neboli vyhřívané zvlhčovače (heated humidifiers, HHs), v nichž je voda ohřívána, a pasivní zvlhčovače, které zachycují teplo vydechovaného vzduchu a uvolňují ho do směsi plynů při každém inspiriu pacienta (heat and moisture exchangers, HMEs) [13].

Aktivní zvlhčovače využívají pro zvlhčení a ohřev přívod sterilní vody, která se za pomoci topného tělesa ohřívá a takto upravená je uvolňována do ventilačního okruhu. Okruh, který využívá tohoto principu, se nazývá „vlhký okruh“. Zařízení, která jsou schopna aktivního ohřevu a zvlhčení, je možné dále rozdělit na dvě základní skupiny: vyhřívané zvlhčovače a boostery. Vyhřívané zvlhčovače obsahují komoru se sterilní vodou a nastavitelnou teplotou ohřevu. Ventilační směs proudí inspirační větví přes tuto komoru, kde dojde k jejímu ohřátí a zvlhčení (nejčastěji probubláváním nebo odpařováním) a následně je ventilačním okruhem přiváděna k pacientovi [14]. Booster obsahuje topné těleso s portem pro připojení sterilní vody a GORA-TEX membránu, díky které dochází k automatické regulaci vlhkosti v závislosti na velikosti dechového objemu a saturace vodní parou. Může se jednat o samostatnou komponentu nebo může být součástí HME filtru (například filtr Hygrovent Gold). Vzhledem ke své funkci, jsou tato zařízení, ve srovnání s pasivními výměníky tepla a vlhkosti, dražší a náročnější na obsluhu.

Pasivní zvlhčovače fungují na principu zadržování tepla a vlhkosti ve směsi plynů vydechovaných pacientem. Pro svou funkci nevyužívají žádné přídatné komponenty. Ventilační okruh využívající tento způsob zvlhčení se nazývá „suchý okruh“. Tento typ zvlhčovače je možné používat nejen u pacientů na UPV, nýbrž i u spontánně ventilujících pacientů po laryngektomii, u kterých tvoří nepostradatelnou pomůcku v péči o dýchací cesty.

Na základě dostupných dat získaných metaanalýzou osmnácti randomizovaných kontrolovaných studií, které probíhaly mezi roky 1987–2013 a do kterých bylo zařazeno celkem 2442 dospělých kriticky nemocných, se zdá, že typ zvlhčovacího zařízení (aktivní nebo pasivní) nemá vliv na četnost výskytu komplikací spojených s umělou plicní ventilací jako je okluze dýchacích cest anebo rozvoj ventilátorové pneumonie, nebyl prokázán ani mortalitní rozdíl [13, 15]. Výhodou HME filtru oproti tepelnému zvlhčovači je zejména

jeho nižší cena [15, 16] a snadnější manipulace, kdy odpadá nutnost napojování přídatných roztoků. Nevýhodou je umělé zvyšování mrtvého prostoru a odporu v dýchacích cestách.

Pasivní výměník tepla a vlhkosti v klinické praxi

Pasivní výměník tepla a vlhkosti (HME filtr, heat and moisture exchanger filter) je nejrozšířenějším typem zvlhčovače u pacientů vyžadujících umělou plicní ventilaci. Nahrazuje přirozenou schopnost horních cest dýchacích zvlhčovat a ohřívát vdechovaný vzduch. Jeho nedílnou součástí je antimikrobiální filtr, který brání vniknutí potenciálních patogenů přítomných ve ventilačním okruhu nemocného do jeho dýchacích cest a naopak. Chrání ventilační okruh a okolní prostředí pacienta před patogeny, které mohou být přítomné v jeho dýchacích cestách. Antimikrobiální účinnost filtrace může být bakteriální (BFE), anebo virová (VFE).

HME filtry používané v intenzivní péči fungují na dvou hlavních principech, hygroskopii a hydrofobii, popřípadě oba principy kombinují. Hygroskopické filtry fungují na principu pohlcování vzdušné vlhkosti při výdechu, přičemž při nádechu tuto vlhkost opět uvolňují. Jejich membrána obsahuje hygroskopické, bakteriostatické, papírové či pěnové médium. Příkladem jsou filtry Humid-Vent 2S, Thermovent 1200, Humid-Vent Filter Light Straight. Na hydrofobním principu funguje například filtr BB100MFS (Pall) [17]. Tyto filtry obsahují plisovanou hydrofobní vrstvu, ve které dochází ke kondenzaci a odpařování vodní páry, čímž pomáhá navracet vlhkost do okruhu, současně mají funkci antimikrobiální. Hygroskopický princip je kombinován s hydrofobním například u filtru Hygrobac electrostatic filter, který obsahuje membrány obě: hygroskopická zajišťuje především zvlhčení vdechované směsi plynů, zatímco hydrofobní chrání před vstupem potenciálně patogenních mikroorganismů do dýchacích cest pacienta.

U řady filtrů není snadné zjistit, na jakém principu fungují, v doprovodných materiálech nemusí být tato informace uvedena. Někteří výrobci své filtry dělí i jiným způsobem. Například firma Draeger nabízí HME filtry mechanické a elektrostatické. Mechanické filtry obsahují husté tkanou síť keramických nebo skelných vláken vázaných pryskyřicí a papírové skládané médium. Elektrostatické obsahují polymerová vlákna, která jsou polarizovaná a vytvářející tak elektrický náboj. Jsou méně husté tkané. HME filtry této firmy také obsahují mikroporézní polymerní pěnu, která zadržuje a vrací vlhkost do ventilačního okruhu nemocného [18].

Všichni výrobci HME filtrů musejí při uvedení výrobků na český trh splňovat požadavky ČSN EN ISO 9360-2 (852769) *Anestetická a respirační zařízení – Výměníky tepla a vlhkosti pro zvlhčování vdechovaných plynů u lidí – Část 2: Výměníky tepla a vlhkosti pro použití u pacientů při tracheostomii s minimálními dechovými objemy od 250 ml*. Tato norma vyžaduje, aby výrobci těchto pomůcek zveřejňovali měření vnitřního objemu, odporu a míru zvlhčovacích vlastností [19]. Měření probíhají v laboratorních podmínkách, a jak ukazuje výzkum Mattea Filippiniho a jeho kolegů, účinnost a efektivita některých HME filtrů zkoušených in vivo se mohou výrazně lišit od zjištěných laboratorních hodnot [20].

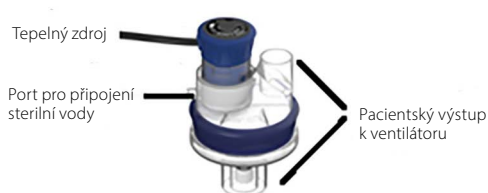
Doporučení k používání HME filtrů v intenzivní péči

Dle doporučení Americké asociace pro respirační péči z roku 2012 [21] by používání HME filtrů mělo být preferováno u pacientů se zajištěnými dýchacími cestami, u kterých je předpoklad ventilace kratší než 96 hodin nebo nejsou-li přítomny kontraindikace. V doporučení je dále uvedeno, že HME filtr by neměl být používán:

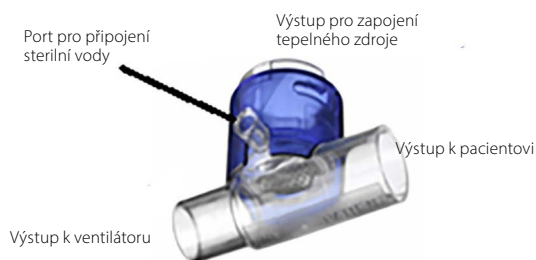
- u pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C, kdy není možné z vydechovaného vzduchu zadržet potřebné teplo;
- u pacientů s ARDS, u kterých je potřeba minimalizovat mrtvý prostor (protektivní ventilační strategie s nízkými dechovými objemy);
- u pacientů s minutovou ventilací > 10 l/min;
- u pacientů s bronchopulmonální fistulou, u kterých je expirační dechový objem o 70 % nižší oproti inspiračnímu;
- u pacientů s obtížným odpojováním od umělé plicní ventilace a omezenou respirační rezervou.

V těchto případech by mělo být preferováno aktivní zvlhčení, jehož forma není přesně dána. Je tedy možné volit mezi aktivním HME filtrem (boosterem, Obr. 4) [22], boosterem bez HME filtru (Obr. 5) [23] nebo te-

Obr. 4. Aktivní HME booster (upraveno dle [19])



Obr. 5. Aktivní booster bez HME filtru (upraveno dle [20])



Obr. 6. Ukázka tepelného zvlhčovače (upraveno dle [21])



pelným zvlhčovačem (Obr. 6) [24]. Použití HME filtrů u pacientů s mírným až středně těžkým ARDS prokazatelně vede k rozvoji hyperkapnie [25]. Doporučení dále uvádí minimální hodnotu vlhkosti 30 g·m⁻³, kterou by HME filtry měly garantovat. V účinnosti zvlhčení je možné mezi jednotlivými druhy HME filtrů nalézt překvapivě významné rozdíly [25, 26, 27].

Zapojení HME filtrů do ventilačního okruhu v rozporu s výše uvedenými doporučeními je nutné důkladně zvážit a individualizovat typ HME s přihlédnutím k potřebám pacienta (objemem či intenzitou pohlcování vlhkosti). Jasnými kontraindikacemi pro používání HME filtrů jsou vysoká produkce sputa a krvácení z dýchacích cest. V těchto případech by měla být jednoznačně preferována aktivní forma ohřevu vdechované směsi plynů. Používání HME filtrů je u těchto pacientů spojeno s vysokým rizikem jejich ucpání, které se iniciálně projevuje nárůstem inspiračního tlaku (PIPs, peak inspiratory pressures) [28]. Nutnost časté výměny pak zvyšuje vynaložené finanční náklady a riziko kontaminace.

Rozhodně nelze doporučit použití HME filtrů současně s aktivním zvlhčovačem. Simultánní užívání obou typů zvlhčení (aktivního i pasivního) způsobí přesycení HME filtru vodními parami, což může vést až k náhlému zvýšení tlaku v dýchacích cestách, snížení minutového objemu a desaturaci pacienta. Během 24 hodin může dojít až k úplné okluzi dýchacích cest [29]; v souvislosti s touto technickou komplikací umělé plicní ventilace byly popsány i fatální případy [30, 31]. Klinicky významná okluze endotracheální kanyly v souvislosti s nesprávně zvoleným způsobem zvlhčení vdechované směsi plynů může napodobovat na obrazovce ventilátoru obraz bronchiální obstrukce, což může oddálit její časné rozpoznání a vést ke komplikacím [16]. V souvislosti s okluzí byly popsány i případy plicního edému [32]. Prevencí by mohlo být zavedení lokálního systému zlepšování kvality péče – používání varovného systému Humidicare HME, který využívá na teplotě závislou změnu barvy filtru [30] a použití optimálního typu zvlhčení pro každého konkrétního pacienta, který by odpovídal jeho individuálním potřebám.

Standardní HME může během nebulizace vychytávat účinnou látku ve filtru. Může dojít ke zvýšení inspiračního tlaku a k nedostatečné účinnosti nebulizace [33, 34]. Řešením by mohlo být použití speciálních HME-AD filtrů (HME for aerosol delivery), ovšem přesvědčivá experimentální data zatím chybí [33].

Otázka vlivu použití konkrétního typu zvlhčení na incidenci ventilátorové tracheobronchitidy či pneumonie není zatím jednoznačně zodpovězena [35]. V roce 2017 byl publikován Cochrane systematický přehled [15]. Autoři se snažili odpovědět na otázku, zda jsou v prevenci komplikací spojených s umělou plicní ventilací v intenzivní péči účinnější výměníky tepla a vlhkosti nebo vyhřívané zvlhčovače vzduchu a jestli věk pacienta, celková doba zvlhčování anebo typ HME mohou mít na incidenci komplikací nějaký vliv. Na základě 34 studií, ve kterých bylo zařazeno celkem 2 848 účastníků, autoři uzavírají, že nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v incidenci okluze dýchacích cest, mortalitě ani četnosti ventilátorové pneumonie mezi jednotlivými typy zvlhčení vdechované směsi plynů – HME versus HHs. Nižší riziko rozvoje ventilátorové pneumonie bylo popsáno při používání hydrofobních HME filtrů, které pohlcují méně vlhkosti, ovšem evidence je slabá.

S jistou opatrností lze konstatovat, že vznik respiračních komplikací typu atelektázy a pneumothoraxu též není ovlivněn používáním HME filtrů. Při respektování zavedených doporučení neovlivňují HME filtry hodnotu parciálního tlaku oxidu uhličitého (PaCO_2), dechový objem ani minutovou ventilaci [15], a to včetně u pacientů s CHOPN (chronickou obstrukční bronchopulmonální chorobou), kdy též nebyl prokázán vliv HME filtrů na maximální dechové tlaky nebo minutovou ventilaci [36]. Ovšem u spontánně ventilujících tracheostomovaných pacientů používání HME filtrů (aktivních i pasivních) v porovnání s vyhřívaným zvlhčovačem signifikantně zvyšuje inspirační úsilí a významně zhoršuje PaCO_2 a pH [37].

Tamashiro et al. publikovali data naměřená na zdravých dospělých, kdy srovnávali hodnoty EtCO_2 (end-tidal CO_2) na straně Y spojky HME filtru oproti hodnotám na straně patientské a nepotvrdili, že by tyto hodnoty byly významně rozdílné, čímž vyvrátili obavy, zda HME filtry ovlivňují hodnoty kapnografie měřené za filtrem [38]. Lucato et al. zjistili, že maximální inspirační a expirační tlaky měřené manovakuumetrem a vitální kapacita plic měřená respirometrem na obou stranách HME filtru jsou srovnatelné [39]. Obě studie byly provedené u zdravých dospělých.

Frekvence výměny HME filtru

Filtr se běžně vkládá do ventilačního okruhu mezi Y-spojku a endotracheální, případně tracheostomickou kanylu pacienta. U filtru se rozlišuje patientský a ventilátorový výstup (část). Výměny HME filtrů většina výrobců doporučuje provádět každých 24 hodin nebo v případě viditelného znečištění či poškození i dříve. Toto tvrzení obhajují zachováním správné účinnosti filtru, a tudíž bezpečností pacienta [18]. Existují ovšem data, která poukazují na možnost ponechat HME filtr ve ventilačním okruhu nemocného déle než 24 hodin, a to od 48 hodin až po jeden týden [40, 41, 42]. Delší interval výměny a automatická výměna při viditelném znečištění, poškození či nefunkčnosti HME se zdá být vhodným kompromisem mezi bezpečností pacienta a snahou minimalizovat finanční náklady spojené s péčí o ventilované pacienty [43, 44]. U pacientů s CHOPN by interval výměny neměl překročit 48 hodin [45]. U pacientů bez plicní patologie se zdá být bezpečná výměna HME filtru i po 96 hodinách, při zachování technických i antimikrobiálních vlastností filtru. Nepřímé důkazy však připouštějí možnost mírného vzestupu odporu filtru [46].

Benefit nového HME filtru je zapotřebí vážit vůči rizikům rozpojení okruhu, které vede ztrátou PEEP ke kolapsu dependentních oblastí plic a ke zvýšení nitroplicního zkratu. Bylo popsáno i akutní cor pulmonale a další komplikace [47, 48]. Rozpojení okruhu je spojeno s rizikem expozice personálu potenciálně kontaminovanému aerosolu [49, 50]. Při plánovaném rozpojení ventilačního okruhu je možné využít funkce ventilátoru k pozastavení ventilace, uzavřít okruh svorkou pro extrakorporální membránovou oxygenaci s omezením rozpojení na 5 sekund [51] nebo použít bypassový adaptér Flusso, který při studii prokázal schopnost na krátkou dobu zabránit

úniku oxidu dusnatého a je tak možné předpokládat jeho účinnost i ve vztahu k aerosolu [52]. Nelze však zcela zabránit zhoršení nitroplicního zkratu při rozpojení [53].

Závěr

Doporučení pro praxi intenzivní péče v roce 2023

Zvlhčení a ohřátí vdechované směsi plynů bylo a je nezbytnou součástí péče o mechanicky ventilované pacienty. Nedostatečné zvlhčení je spojeno s rizikem selhání mukociliárního transportu, poškození sliznice a obstrukce dýchacích cest či endotracheální rourky nebo tracheostomické kanyly exsikovými sekrety. V neselektované populaci kriticky nemocných nebyly v randomizovaných klinických studiích zaznamenány rozdíly v klinickém výsledku mezi oběma hlavními způsoby zvlhčování – pasivním a aktivním. Nejčastější používanou metodou je pasivní zahřátí a zvlhčení pomocí HME, které má výhodu v jednoduchosti provedení, portabilitě, nízké ceně. Nepoužívá externí zdroj vody, u které by mohla hrozit kontaminace. HME je proto první volbou pro pacienty bez respirační patologie, u kterých se očekává kratší umělá plicní ventilace. Je nutné respektovat doporučení výrobce a zároveň minimalizovat frekvenci rozpojování okruhu. Aktivní zvlhčovače jsou preferovány u těch nemocných, u kterých HME nebude fungovat dostatečně z důvodu nízké teploty vydechované směsi (hypotermie < 32 °C) nebo existuje riziko obstrukce sekrety a nárůst rezistance (nemocní s vysokou produkcí sputa a předpokládanou dlouhodobou UPV). HME jsou nevhodné u pacientů, kteří netolerují nárůst mrtvého objemu dýchacích cest (ARDS), jejich použití u spontánně ventilujících pacientů je spojeno se zvýšeným dechovým úsilím, což může vést k pomalejšímu odvykání od umělé plicní ventilace

Výzvy a nezodpovězené otázky

Výše uvedená praktická doporučení jsou postavena spíše na aplikaci patofyziologických principů než na datech z randomizovaných kontrolovaných studií o vlivu zvoleného způsobu zvlhčení na klinicky důležité endpointy, jako je frekvence respiračních komplikací nebo délka UPV. Doporučení týkající se intervalu výměny HME filtru na rozdíl od doporučení týkajících se výměny ventilačního okruhu (výměna jen při „viditelném znečištění“) nejsou jednotná, což v praxi vede ke zbytečně častému rozpojování ventilačního okruhu, a tedy k ohrožení pacientů či personálu, uměle zvýšené pracovní zátěži sester a vynaložených finančních nákladů. I v případě jiných invazivních přístupů se v rámci intenzivní péče prokázala výhoda menšího zasahování do sterilního systému – například žilní vstupy. Je zapotřebí dalšího výzkumu zaměřeného především na vyhodnocení přínosu nové generace HME, na účinnost funkce HME filtrů in vivo obecně a především pak na jejich vliv na mikrobiální osídlení dýchacích cest kriticky nemocných.

PROHLÁŠENÍ AUTORŮ: Prohlášení o původnosti: Prohlášení o původnosti: Práce je původní a nebyla publikována ani není zaslána k recenznímu řízení do jiného média. **Střet zájmů:** Autoři prohlašují, že nemají střet zájmů v souvislosti s tématem práce. **Podíl autorů:** Všichni autoři rukopis četli, souhlasí s jeho zněním a zasláním do redakce časopisu Anestezilogie a intenzivní medicína. LŠ – hlavní autor, rešeršní činnost, finální úprava článku, RK – rešeršní činnost, korektura textu, JK – úprava textu, ideové vedení, finální úprava článku, DF – návrhy na vylepšení článku, ideové vedení. **Financování:** N/A. **Registrace:** N/A. **Projednání etickou komisí:** N/A.

LITERATURA

- Cole P. Some aspects of temperature, moisture and heat relationships in the upper respiratory tract. *J Laryngol Otol.* 1953 Aug;67(8):449-56. doi: 10.1017/s0022215100048908. PMID: 13085046.
- Lassen HC. A preliminary report on the 1952 epidemic of poliomyelitis in Copenhagen with special reference to the treatment of acute respiratory insufficiency. *Lancet.* 1953 Jan 3;1(6749):37-41. doi: 10.1016/s0140-6736(53)92530-6. PMID: 13011944.
- Drägerwerk Lübeck. Deutsches Patentamt Patentschrift 1 169 615. Lübeck: Drägerwerk, August 27, 1954 Aug 27.
- Walley RV. Humidifier for use with tracheotomy and positive-pressure respiration. *Lancet.* 1956 May 26;270(6926):781-2. doi: 10.1016/s0140-6736(56)91245-4. PMID: 13320881.
- Koch H, Allander C, Ingelstedt S, Toremalm NG. A method for humidifying inspired air in posttracheotomy care. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1958 Dec;67(4):991-1004. doi: 10.1177/000348945806700409. PMID: 13606695.
- Déry R, Pelletier J, Jacques A, Clavet M, Houde JJ. Humidity in anaesthesiology. 3. Heat and moisture patterns in the respiratory tract during anaesthesia with the semi-closed system. *Can Anaesth Soc J.* 1967 Jul;14(4):287-98. doi: 10.1007/BF03003698. PMID: 6067948.
- Ingelstedt S. Studies on the conditioning of air in the respiratory tract. *Acta Otolaryngol Suppl.* 1956;131:1-80. PMID: 13381446.
- Chamney AR. Humidification requirements and techniques. Including a review of the performance of equipment in current use. *Anaesthesia.* 1969 Oct;24(4):602-17. doi: 10.1111/j.1365-2044.1969.tb02914.x. PMID: 4900398.
- Esquinas AM. Humidification in the Intensive Care Unit. 2nd ed. Springer Cham; 2023. ISBN 978-3-031-23952-6. doi:10.1007/978-3-031-23953-3.
- Williams R, Rankin N, Smith T, Galler D, Seakins P. Relationship between the humidity and temperature of inspired gas and the function of the airway mucosa. *Crit Care Med.* 1996 Nov;24(11):1920-9. doi: 10.1097/00003246-199611000-00025. PMID: 8917046.
- Chalon J, Loew DA, Malebranche J. Effects of dry anesthetic gases on tracheobronchial ciliated epithelium. *Anesthesiology.* 1972 Sep;37(3):338-43. doi: 10.1097/00000542-197209000-00010. PMID: 4115208.
- American Association for Respiratory Care; Restrepo RD, Walsh BK. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation: 2012. *Respir Care.* 2012 May;57(5):782-8. doi: 10.4187/respcare.01766. PMID: 22546299.
- Vargas M, Chiumello D, Sutherasan Y, Ball L, Esquinas AM, Pelosi P, et al. Heat and moisture exchangers (HMEs) and heated humidifiers (HHs) in adult critically ill patients: a systematic review, meta-analysis and meta-regression of randomized controlled trials. *Crit Care.* 2017 May 29;21(1):123. doi: 10.1186/s13054-017-1710-5. PMID: 28552074; PMCID: PMC5447307.
- Al Ashry HS, Modrykamien AM. Humidification during mechanical ventilation in the adult patient. *Biomed Res Int.* 2014; 2014:715434. doi: 10.1155/2014/715434. Epub 2014 Jun 25. PMID: 25089275; PMCID: PMC4096064.
- Gillies D, Todd DA, Foster JP, Batuwitage BT. Heat and moisture exchangers versus heated humidifiers for mechanically ventilated adults and children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017 Sep 14;9(9):CD004711. doi: 10.1002/14651858.CD004711.pub3. PMID: 28905374; PMCID: PMC6483749.
- Al Dorzi HM, Ghanem AG, Hegazy MM, Al Matrood A, Alchin J, Mutairi M, et al. Humidification during mechanical ventilation to prevent endotracheal tube occlusion in critically ill patients: A case control study. *Ann Thorac Med.* 2022 Jan-Mar;17(1):37-43. doi: 10.4103/atm.atm_135_21. Epub 2022 Jan 14. PMID: 35198047; PMCID: PMC8809127.
- Lucato JJ, Tucci MR, Schettino GP, Adams AB, Fu C, Forti G Jr, et al. Evaluation of resistance in 8 different heat-and-moisture exchangers: effects of saturation and flow rate/profile. *Respir Care.* 2005 May;50(5):636-43. PMID: 15871758.
- Dräger. Drägerwerk AG & Co: Dräger Medical, s. r. o. (Česká republika); 2022. DMC-103371 | 22.09-1.
- ČSN EN ISO 9360-2 (852769). Anestetická a respirační zařízení – Výměníky tepla a vlhkosti pro zvlhčování vdechovaných plynů u lidí: Část 2: Výměníky tepla a vlhkosti pro použití u pacientů při tracheostomii s minimálními dechovými objemy od 250 ml. Praha: ČSN; říjen 2009.
- Filippini M, Serpelloni M, Quaranta V, Bellitti P, Sardini E, Latronico N. A New Method for In Vivo Analysis of the Performances of a Heat and Moisture Exchanger (HME) in Mechanically Ventilated Patients. *Pulm Med.* 2019 Feb 26;2019:9270615. doi: 10.1155/2019/9270615. PMID: 30937191; PMCID: PMC6413364.
- American Association for Respiratory Care; Restrepo RD, Walsh BK. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation: 2012. *Respir Care.* 2012 May;57(5):782-8. doi: 10.4187/respcare.01766. PMID: 22546299.
- Cheirón. HME Booster [Internet]. Praha: Cheirón, a. s.; 2023 [cited 28. 8. 2023].
- Cheirón. Anestezie a plicní ventilace [Internet]. Praha: Cheirón, a. s.; 2023 [cited 28. 8. 2023].
- Amimedical. H900 - aktivní zvlhčovač pro plicní ventilaci [Internet]. Praha: Analytical Medical Instruments, s. r. o.; 2023 [cited 28. 8. 2023].
- Shimoda T, Sekino M, Higashijima U, Matsumoto S, Sato S, Yano R, et al. Removal of a catheter mount and heat-and-moisture exchanger improves hypercapnia in patients with acute respiratory distress syndrome: A retrospective observational study. *Medicine (Baltimore).* 2021 Sep 10;100(36):e27199. doi: 10.1097/MD.00000000000027199. PMID: 34516524; PMCID: PMC8428744.
- Ahmed SM, Mahajan J, Nadeem A. Comparison of two different types of heat and moisture exchangers in ventilated patients. *J Emerg Trauma Shock.* 2009 Sep;2(3):164-9. doi: 10.4103/0974-2700.55327. PMID: 20009305; PMCID: PMC2776363.
- Suliman HS, Fecura SE, Baskin J, Kalns JE. Laboratory evaluation of 10 heat and moisture exchangers using simulated aeromedical evacuation conditions. *Mil Med.* 2011 Jun;176(6):656-9. doi: 10.7205/milmed-d-10-00198. PMID: 21702383.
- Dewasurendra AM, McHugh SM. High Peak Inspiratory Pressures After a Change of Heat and Moisture Exchangers: A Case Series. *A J Pract.* 2021 Jun 10;15(6):e01483. doi: 10.1213/XAA.0000000000001483. PMID: 34111034.
- Hallo-Carrasco A, Gruenbaum BF, Gruenbaum SE. Heat and Moisture Exchanger Occlusion Leading to Sudden Increased Airway Pressure: A Case Report Using ChatGPT as a Personal Writing Assistant. *Cureus.* 2023 Apr 8;15(4):e37306. doi: 10.7759/cureus.37306. PMID: 37168205; PMCID: PMC10166637.
- Patel V, Dean J, Vayalil Lawrence J, Selvanayagam S, Blunt MC, Young PJ. Humidicare - an implementation study of a novel HME safety device designed to prevent ventilator circuit occlusion due to inadvertent dual humidification. *J Med Eng Technol.* 2021 Feb;45(2):129-135. doi: 10.1080/03091902.2021.1873440. Epub 2021 Feb 8. PMID: 33554700.
- Doyle A, Mariyaselvam M, Wijewardena G, English N, Gent E, Young P. The simultaneous use of a heat and moisture exchanger and a heated humidifier causes critical airway occlusion in less than 24 hours. *J Crit Care.* 2015 Aug;30(4):863.e1-3. doi: 10.1016/j.jcrc.2015.03.033. Epub 2015 Apr 8. PMID: 25937239.
- Udeshi A, Cantie SM, Pierre E. Postobstructive pulmonary edema. *J Crit Care.* 2010 Sep;25(3):508.e1-5. doi: 10.1016/j.jcrc.2009.12.014. Epub 2010 Apr 22. PMID: 20413250.
- Ari A, Alwadeai KS, Fink JB. Effects of Heat and Moisture Exchangers and Exhaled Humidity on Aerosol Deposition in a Simulated Ventilator-Dependent Adult Lung Model. *Respir Care.* 2017 May;62(5):538-543. doi: 10.4187/respcare.05015. Epub 2017 Mar 7. PMID: 28270542.
- Ari A, Dang T, Al Enazi FH, Alqahtani MM, Alkhatami A, Qoutah R, et al. Effect of Heat Moisture Exchanger on Aerosol Drug Delivery and Airway Resistance in Simulated Ventilator-Dependent Adults Using Jet and Mesh Nebulizers. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv.* 2018 Feb;31(1):42-48. doi: 10.1089/jamp.2016.1347. Epub 2017 Aug 22. PMID: 28829202.
- Meneguetti MG, Auxiliadora-Martins M, Nunes AA. Effectiveness of heat and moisture exchangers in preventing ventilator-associated pneumonia in critically ill patients: a meta-analysis. *BMC Anesthesiol.* 2014 Dec 13;14:115. doi: 10.1186/1471-2253-14-115. PMID: 25844065; PMCID: PMC4384307.
- Lucato JJJ, Barbosa RCC, Picanço PSA, Cunha TMND, Righetti RF. Influence of a heat and moisture exchanger with a microbiological filter on measurements of maximal respiratory pressures and vital capacity in patients with COPD. *J Bras Pneumol.* 2019 Dec 13;46(1):e20190054. doi: 10.1590/1806-3713/e20190054. PMID: 31851222; PMCID: PMC7462669.
- Schreiber AF, Ceriana P, Ambrosino N, Piran M, Malovini A, Carlucci A. Short-Term Effects of an Active Heat-and-Moisture Exchanger During Invasive Ventilation. *Respir Care.* 2019 Oct;64(10):1215-1221. doi: 10.4187/respcare.06799. Epub 2019 Jul 3. PMID: 31270176.
- Tamashiro S, Nakayama I, Gibo K, Izawa J. Comparison of mainstream end tidal carbon dioxide on Y-piece side versus patient side of heat and moisture exchanger filters in critically ill adult patients: a prospective observational study. *J Clin Monit Comput.* 2023 Apr;37(2):399-407. doi: 10.1007/s10877-022-00901-6. Epub 2022 Aug 3. PMID: 35920950; PMCID: PMC9362078.
- Lucato JJ, Nogueira da Cunha TM, Rocha SS, Palmieri de Carvalho FM, Botega DC, Torquato JA, Gimenes AC et al. Influence of heat and moisture exchanger use on measurements performed with manovacuometer and respirometer in healthy adults. *Multidiscip Respir Med.* 2015 Dec 19;11:1. doi: 10.1186/s40248-015-0037-9. PMID: 26753093; PMCID: PMC4705747.
- Hess DR, Kallstrom TJ, Mottram CD, Myers TR, Sorenson HM, Vines DL; American Association for Respiratory Care. Care of the ventilator circuit and its relation to ventilator-associated pneumonia. *Respir Care.* 2003 Sep;48(9):869-79. PMID: 14513820.
- Liu H, Wang H, Mu Z, Ye L, Jiang Y. Heat and moisture exchanger used in a cardiothoracic surgery intensive care unit: Airway resistance and changing interval. *Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg.* 2020 Oct 21;28(4):593-600. doi: 10.5606/tgkdc.dergisi.2020.20088. PMID: 33403131; PMCID: PMC7759046.
- Markowicz P, Ricard JD, Dreyfuss D, Mier L, Brun P, Coste F, et al. Safety, efficacy, and cost-effectiveness of mechanical ventilation with humidifying filters changed every 48 hours: a prospective, randomized study. *Crit Care Med.* 2000 Mar;28(3):665-71. doi: 10.1097/00003246-200003000-00011. PMID: 10752812.
- Ševčíková K. Důvody rozpojování ventilačního okruhu a jejich četnost u pacientů na umělé plicní ventilaci. Diplomová práce. Praha: 3. LFUK; 2023.
- Boyer A, Thiéry G, Lasry S, Pigné E, Salah A, de Lasseuse A, et al. Long-term mechanical ventilation with hygroscopic heat and moisture exchangers used for 48 hours: a prospective clinical, hygrometric, and bacteriologic study. *Crit Care Med.* 2003 Mar;31(3):823-9. doi: 10.1097/01.CCM.0000055382.87129.DD. PMID: 12626991.

45. Ricard JD, Le Mièrre E, Markowicz P, Lasry S, Saumon G, Djedāini K, et al. Efficiency and safety of mechanical ventilation with a heat and moisture exchanger changed only once a week. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000 Jan;161(1):104-9. doi: 10.1164/ajrccm.161.1.9902062. PMID: 10619805.
46. Thomachot L, Boisson C, Arnaud S, Michelet P, Cambon S, Martin C. Changing heat and moisture exchangers after 96 hours rather than after 24 hours: a clinical and microbiological evaluation. *Crit Care Med*. 2000 Mar;28(3):714-20. doi: 10.1097/00003246-200003000-00019. PMID: 10752820.
47. Kubiak BD, Albert SP, Gatto LA, Trikha G, El-Zammar O, Nieman GF. Loss of airway pressure during HFOV results in an extended loss of oxygenation: a retrospective animal study. *J Surg Res*. 2010 Aug;162(2):250-7. doi: 10.1016/j.jss.2009.04.026. Epub 2009 May 18. PMID: 19560160.
48. Katira BH, Engelberts D, Otulakowski G, Giesinger RE, Yoshida T, Post M, et al. Abrupt Deflation after Sustained Inflation Causes Lung Injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2018 Nov 1;198(9):1165-1176. doi: 10.1164/rccm.201801-0178OC. PMID: 29902384.
49. Li YC, Lin HL, Liao FC, Wang SS, Chang HC, Hsu HF, et al. Potential risk for bacterial contamination in conventional reused ventilator systems and disposable closed ventilator-suction systems. *PLoS One*. 2018 Mar 16;13(3):e0194246. doi: 10.1371/journal.pone.0194246. PMID: 29547638; PMCID: PMC5856346.
50. Chung FF, Lin HL, Liu HE, Lien AS, Hsiao HF, Chou LT, et al. Aerosol distribution during open suctioning and long-term surveillance of air quality in a respiratory care center within a medical center. *Respir Care*. 2015 Jan;60(1):30-7. doi: 10.4187/respcare.03310. Epub 2014 Oct 14. PMID: 25316895.
51. Turbil E, Terzi N, Schwebel C, Cour M, Argaud L, Guérin C. Does endo-tracheal tube clamping prevent air leaks and maintain positive end-expiratory pressure during the switching of a ventilator in a patient in an intensive care unit? A bench study. *PLoS One*. 2020 Mar 11;15(3):e0230147. doi: 10.1371/journal.pone.0230147. PMID: 32160252; PMCID: PMC7065807.
52. Mehri R, Alatrash A, Ogorodnik N, Matida EA, Fiorenza F. In vitro investigation of the Flusso™ Bypass adapter efficiency upon ventilator circuit disconnect in a clinical simulated environment. *Can J Respir Ther*. 2020 Dec 8;56:86-91. doi: 10.29390/cjrt-2020-033. PMID: 33313385; PMCID: PMC7724989.
53. Minaříková P. Efekt svorkování tracheální rourky a jeho vliv na fyziologii ventilace plic u kriticky nemocných. Diplomová práce. Praha: 3. LFUK; 2022.