

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].

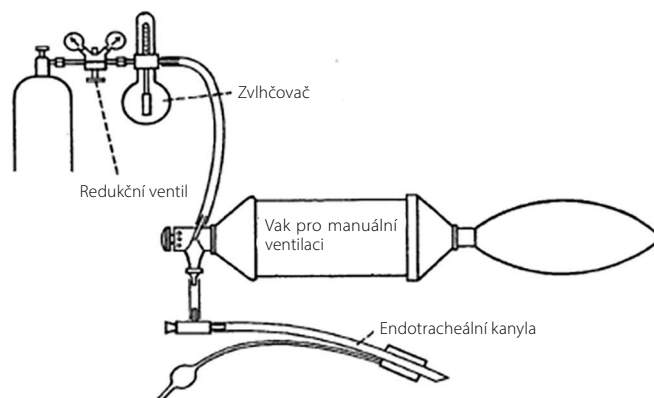
V dnešní klinické praxi je zvlhčování během umělé plicní ventilace široce akceptováno a standardně používáno, nicméně neexistuje shoda ohledně optimálního technického řešení této otázky.

Rizika spojená s nedostatečným zvlhčením vdechované směsi plynů

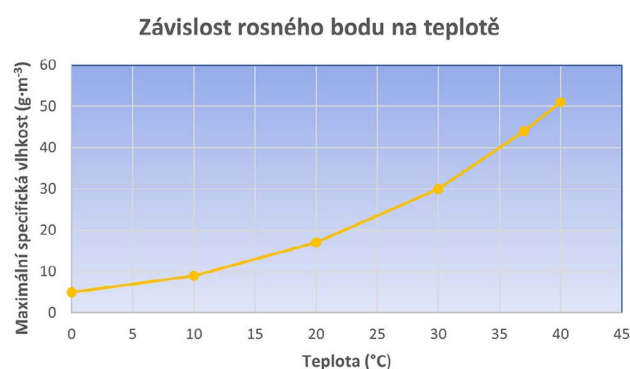
Pokud je nedostatečně zvlhčená směs plynů přiváděna přímo do průdušnice, může dojít k poškození sliznice, především trpí schopnost řasinek transportovat hlen směrem k hrtanu [9]. Williams et al. na základě dat ze sedmnácti publikovaných studií o vlivu různých úrovní vlhkosti na dýchací cesty stratifikovali 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-

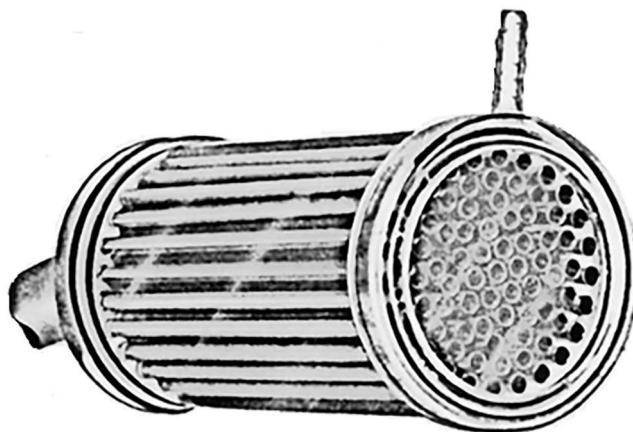
Obr. 1. Dýchací okruh používaný k manuální ventilaci pacientů při epidemii poliomyelitidy v Kodani v roce 1952. Ke zvlhčení se užívalo pouze probublávání inhalační směsi pod vodou (upraveno dle [2])



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