

UNIVERZITA KARLOVA
3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Ústav ošetrovatelství



Bc. Martina Horinová

**Používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti
u invazivně ventilovaných nemocných**

*Use of Passive Heat and Moisture Exchangers
in Invasively Ventilated Patients*

Diplomová práce

Praha, květen 2025

Autor práce: Bc. Martina Horinová

Studijní program: Intenzivní péče

Navazující magisterský studijní obor: Intenzivní péče

Vedoucí práce: **Mgr. Šárka Línková, DiS**

Pracoviště vedoucího práce: **Klinika anesteziologie a resuscitace**

3.LF UK a FNKV

Předpokládaný termín obhajoby: červen 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci vypracovala samostatně a použila výhradně uvedené citované prameny, literaturu a další odborné zdroje. Současně dávám svolení k tomu, aby má závěrečná práce byla používána ke studijním účelům.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému Theses.cz a Turnitin za účelem soustavné kontroly podobnosti závěrečných prací.

V Praze dne Bc. Martina Horinová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala své vedoucí práce, Mgr. Šárce Línkové, DiS., za její vlídný přístup, trpělivost a ochotu během psaní této práce. Velmi si vážím jejich cenných rad, odborného vedení i času, který mi věnovala. Poděkování patří také všem staničním a vrchním sestřám, které ochotně poskytli odpovědi za jednotlivá pracoviště a tím umožnili realizaci této práce. Jejich spolupráce byla naprosto nepostradatelná. Dále děkuji i RNDr. Martinu Černému za pomoc se statistickým zpracováním výsledků. V neposlední řadě děkuji všem, kteří mě během této práce podporovali a pomohli mi jakoukoli formou k jejímu dokončení.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá použitím pasivních výměníků tepla a vlhkosti (HME filtrů) u invazivně ventilovaných nemocných. Teoretická část se věnuje fyziologii zvlhčení vzduchu a popisuje důsledky nedostatečného a nadměrného zvlhčení dýchacích cest. Dále shrnuje historii vzniku HME filtrů a věnuje se i jiným metodám zvlhčení dýchacích cest, které jsou k dispozici. Jedna z kapitol se podrobněji věnuje použití HME filtrů v klinické praxi, zaměřuje se na rozdíly mezi jednotlivými druhy filtrů a na kontraindikace jejich použití. Závěrečná část teoretické části popisuje poznatky týkající se frekvence výměny filtrů.

Cílem praktické části bylo zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti u invazivně ventilovaných nemocných na anesteziologicko-resuscitačních pracovištích v České republice a zároveň ověřit, zda je jejich použití v souladu s nejnovějšími doporučeními odborných zdrojů. Jednalo se konkrétně o průřezovou studii realizovanou prostřednictvím anonymního online dotazníku, distribuovaného vrchním a staničním sestrami ARO pracovišť. Sběr dat probíhal tři měsíce a výsledkem bylo získání dat od 71 pracovišť, která ukázala, že pasivní zvlhčení pomocí HME filtrů je preferovaným typem zvlhčení dýchacích cest na většině pracovišť a nezáleží na tom, kdo typ zvlhčení indikuje. Dokonce jsou HME filtry používány i v případech, kdy je jejich použití dle nejnovějších doporučení kontraindikováno.

Bylo doporučeno provést další výzkumy v této oblasti, zvýšit povědomí o jednotlivých typech zvlhčení a jejich použití v praxi. Dále by pro zlepšení péče a minimalizaci komplikací, měl být typ zvlhčení volen dle individuálních potřeb daného pacienta s ohledem na výhody, nevýhody a kontraindikace.

Klíčová slova: pasivní výměníky tepla a vlhkosti, HME, umělá plicní ventilace

Abstract

This Master's thesis deals with the use of passive heat and moisture exchangers (HME filters) in invasively ventilated patients. The theoretical part deals with the physiology of humidification and describes the consequences of insufficient and excessive humidification of the airways. It also summarizes the history of the development of HME filters and discusses other available methods of airway humidification. One of the chapters discusses in more detail the use of HME filters in clinical practice, focusing on the differences between different types of filters and contraindications to their use. The final part of the theoretical section describes the findings regarding the frequency of filter replacement.

The aim of the practical part was to map the current practice of using passive heat and moisture exchangers in invasively ventilated patients in anaesthesiology and resuscitation departments in the Czech Republic and to verify whether their use is in accordance with the latest recommendations of professional sources. Specifically, this was a cross-sectional study conducted through an anonymous online questionnaire distributed to head and station nurses of ARO units. Data collection was conducted over a three-month period and resulted in data from 71 units, which showed that passive humidification using HME filters is the preferred type of airway humidification in most units and it does not matter who indicates the type of humidification. HME filters are even used in cases where their use is contraindicated according to the latest recommendations.

It was recommended to conduct further research in this area, to raise awareness of the different types of humidification and their use in practice. Furthermore, to improve care and minimize complications, the type of humidification should be chosen according to the individual needs of the patient, taking into account advantages, disadvantages and contraindications.

Keywords: passive heat and moisture exchangers, HME, mechanical ventilation

OBSAH

ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ZVLHČENÍ DÝCHACÍCH CEST	11
1.1 KONCEPT VLHKOSTI	11
1.2 FYZIOLOGIE ZVLHČENÍ VZDUCHU V DÝCHACÍCH CESTÁCH	11
1.3 DŮSLEDKY NEDOSTATEČNÉHO ZVLHČENÍ DÝCHACÍCH CEST	12
1.4 DŮSLEDKY NADMĚRNÉHO ZVLHČENÍ DÝCHACÍCH CEST	13
2 HISTORICKÝ VÝVOJ	14
3 METODY ZVLHČOVÁNÍ A OHŘEVU VDECHOVANÉ SMĚSI	16
3.1 AKTIVNÍ ZVLHČOVAČE	16
3.2 AKTIVNÍ VÝMĚNÍK TEPLA A VLHKOSTI	17
3.3 PASIVNÍ VÝMĚNÍK TEPLA A VLHKOSTI	17
4 PASIVNÍ VÝMĚNÍKY TEPLA A VLHKOSTI	18
4.1 HYDROFOBNÍ HME FILTRY	19
4.2 HYGROSKOPICKÉ HME FILTRY	19
4.3 PLISOVANÉ A ELEKTROSTATICKÉ FILTRY	19
4.3.1 <i>Plisované filtry</i>	19
4.3.2 <i>Elektrostatické filtry</i>	20
5 POUŽITÍ HME FILTRŮ V INTENZIVNÍ PÉČI	21
5.1 KONTRAINDIKACE HME FILTRŮ	21
5.2 KOMBINACE HME A HH	22
5.3 POUŽITÍ HME PŘI NEBULIZACI	23
6 FREKVENCE VÝMĚNY HME FILTRU	23
7 VÝBĚR VHODNÉHO ZVLHČENÍ	25
II. EMPIRICKÁ ČÁST	26
8 CÍL, HYPOTÉZY A VÝZKUMNÉ OTÁZKY	26
8.1 CÍL	26
8.2 VÝZKUMNÉ OTÁZKY	26
8.2.1 <i>Výzkumné podotázky</i>	26
8.3 HYPOTÉZY	27
9 METODIKA VÝZKUMU	27

10	SBĚR DAT	28
11	VÝZKUMNÝ VZOREK.....	29
12	ETICKÉ ASPEKTY	29
13	ANALÝZA DAT	30
14	VÝSLEDKY.....	31
14.1	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ HYPOTÉZ	48
14.1.1	<i>Výsledek analýzy hypotézy č. 1.....</i>	<i>48</i>
14.1.2	<i>Výsledek analýzy hypotézy č. 2.....</i>	<i>49</i>
14.1.3	<i>Výsledek analýzy hypotézy č. 3.....</i>	<i>50</i>
14.1.4	<i>Výsledek analýzy hypotézy č. 4.....</i>	<i>52</i>
14.2	VYHODNOCENÍ VÝZKUMNÝCH OTÁZEK	53
14.2.1	<i>Vyhodnocení výzkumných podotázek.....</i>	<i>54</i>
15	DISKUZE	56
15.1	DOPORUČENÍ PRO KLINICKOU PRAXI	61
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM ZKRATEK	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	73
	SEZNAM GRAFŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	75
16	PŘÍLOHY.....	76

ÚVOD

Za fyziologických podmínek je vdechovaný vzduch ohříván a zvlhčován přirozenou funkcí horních cest dýchacích. Pokud je však pacient napojen na umělou plicní ventilaci, je nutné zajistit průchodnost dýchacích cest endotracheální nebo tracheostomickou kanylou, čímž dochází k vyřazení přirozené funkce horních dýchacích cest a z toho důvodu je nezbytné tuto funkci nahradit vhodnou metodou zvlhčení.

V praxi jsou používány dvě hlavní metody zvlhčení dýchacích cest – pasivní zvlhčení pomocí pasivních výměníků tepla a vlhkosti (HME, heat and moisture exchanger) a aktivní zvlhčení. Každá z těchto metod má své indikace, výhody, nevýhody a kontraindikace. Správná volba zvlhčení je klíčová pro zajištění bezpečné ventilace a prevence komplikací. Tato práce se bude primárně věnovat pasivnímu zvlhčení. Hlavním cílem této práce je zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti u invazivně ventilovaných nemocných na anesteziologicko-resuscitačních pracovištích v České republice a zároveň ověřit, zda je jejich použití v souladu s nejnovějšími doporučeními odborných zdrojů.

V teoretické části se budu věnovat fyziologii zvlhčování a popíšu důsledky nedostatečného i nadměrného zvlhčení dýchacích cest. Dále se zaměřím na historii vzniku HME filtrů a zmíním i další dostupné metody zvlhčení dýchacích cest. Jedna z kapitol se bude podrobněji věnovat použití HME filtrů v klinické praxi, přičemž se zaměřím na rozdíly mezi jednotlivými typy filtrů a jejich kontraindikace. Na závěr teoretické části se budu věnovat frekvenci jejich výměny.

V praktické části se zaměřím na vyhodnocení výsledků kvantitativního výzkumu, který byl realizovaný prostřednictvím online dotazníku a který zjišťoval, jak jsou HME filtry používány na anesteziologicko-resuscitačních odděleních v České republice. Na základě výsledků vyhodnotím předem stanovené hypotézy a zodpovím výzkumné otázky a podotázky. Na závěr poskytnu konkrétní doporučení pro praxi.

I. Teoretická část

V říjnu roku 2024 jsem prováděla rešerši k diplomové práci. Pro zpracování rešerše jsem využila služeb Národní lékařské knihovny. Do zadání rešerše jsem blíže specifikovala téma a záměr diplomové práce. Dále jsem zadala několik klíčových slov v češtině a angličtině – passive humidifiers, pasivní zvlhčovač dýchacích cest, airway humidification, zvlhčení dýchacích cest, active vs. passive humidification, aktivní vs. pasivní zvlhčení dýchacích cest, physiological airway humidification, fyziologie zvlhčení dýchacích cest, risks of inadequate humidification, rizika nedostatečného zvlhčení dýchacích cest, HME filter contraindications, kontraindikace použití HME filtru, HME filter replacement frequency, výměna HME filtrů, Heat and Moisture Exchanger (HME) filters, pasivní výměník tepla a vlhkosti, HME and hypothermia, HME filtr a hypotermie, HME and massive secretion, HME a masivní sekrece. Jako časové vymezení jsem zadala rozmezí 2017–2024.

Výsledkem rešerše bylo 58 záznamů z českých zdrojů, zahrnujících 18 knih a e-knih, 29 článků, kapitol a abstraktů, které byli převážně o fyziologii dýchacích cest a umělé plicní ventilaci. Dále bylo výsledkem rešerše českých zdrojů 11 kvalifikačních prací, které sloužily převážně jako inspirace. Ze zahraničních zdrojů bylo identifikováno 370 záznamů. Pro rešerši byly využity různé databáze a zdroje, včetně katalogů knihoven systému Medvik zaměřených na knihy a monografie, Bibliographia Medica Czechoslovaca (BMČ) obsahující články z českého prostředí, Theses.cz a Repozitáře závěrečných prací UK pro kvalifikační práce a Knihovny.cz. Ze zahraničních databází byly použity Medline Complete a CINAHL Plus with Full Text, zaměřené na zdravotnické vědy a ošetrovatelství. Kvůli malému množství záznamů nebyla zpracovaná rešerše omezená časově. Následně jsem rešerši protřídila a využila jen vyhovující články. V průběhu pročítání textů jsem nacházela další vhodné zdroje, které jsem použila v mé práci. Potýkala jsem se však s problémem, že velká část dostupných článků byla poměrně staršího vydání a novějších článků bylo k tomuto tématu velmi málo.

1 Zvlhčení dýchacích cest

1.1 Koncept vlhkosti

Vlhkost je množství vodní páry obsažené ve vzduchu nebo jiném plynu. Množství této páry závisí na teplotě. Čím je vzduch teplejší tím více vodní páry dokáže pojmout. Vlhkost lze rozdělit na absolutní a relativní. (1) (2)

Relativní vlhkost vyjadřuje, kolik vodní páry je obsaženo v plynu, ve srovnání s maximálním množstvím, které by plyn při dané teplotě mohl obsahovat, než by došlo ke kondenzaci. Relativní vlhkost je vyjadřována v procentech (%). (1) (2)

Absolutní vlhkost měří skutečné množství vodní páry v určitém objemu plynu a vyjadřuje se v jednotkách g/m^3 nebo kg/m^3 . Je ovlivněna teplotou a tlakem, což znamená, že při nižších teplotách může plyn dosáhnout 100% relativní vlhkosti, přičemž skutečné množství páry může být stále nízké. To je důležité při zvlhčování, kdy je potřeba zvýšit množství vodní páry ve vzduchu. (3)

1.2 Fyziologie zvlhčení vzduchu v dýchacích cestách

Při fyziologickém dýchání nosem se vdechovaný vzduch během průchodu dýchacími cestami plně nasycuje vodní párou a ohřívá, aby se dostal za optimálních podmínek do alveol. Bylo zjištěno, že teplota vdechovaného vzduchu v orofaryngu dosahuje hodnot 32-34 °C. Absolutní vlhkost vzduchu v této části dýchacích cest je 32 g/m^3 (při minutové ventilaci 7-42 l/min), relativní vlhkost byla během měření vždy okolo 100 %. V alveolách má vdechovaný vzduch při teplotě 37 °C absolutní vlhkost 44 g/m^3 . (4)

Místo v dýchacích cestách, kde je vzduch plně nasycen a ohřát, se nazývá **izotermická saturační hranice (ISB)**. Pod touto hranicí zůstává teplota a vlhkost stálá, zatímco nad ní fungují dýchací cesty jako výměníky tepla a vlhkosti. Za klidových podmínek se ISB obvykle nachází těsně pod karinou. Při vdechování studených a suchých plynů se posouvá tato hranice distálně, protože se na výměně tepla a vlhkosti musí podílet větší část dýchacích cest, aby bylo dosaženo plného nasycení. (1)

ISB se přesouvá distálně do dýchacích cest i v případě, že jsou dýchací cesty zajištěny endotracheální kanylou. Horní cesty dýchací jsou v tomto okamžiku vyřazeny z funkce a ztrácejí schopnost ohřívát a zvlhčovat vdechovaný vzduch.

Tuto funkci přebírají dolní cesty dýchací, pro které to představuje velkou zátěž, protože za fyziologických podmínek nejsou na proces zvlhčování dobře připraveny.

(5)

Nejdůležitější roli v ohřevu a zvlhčení vzduchu představuje nos. Nos funguje jako vynikající zvlhčovač vzduchu. Teplota nosní sliznice je 32 °C. Vdechovaný vzduch je zde přítomen pouze krátce, ale i tak dochází během krátké doby k dostatečnému ohřevu. (2)

Vysoce prokrvená nosní sliznice, spolu s nosními skořepami, zvětšuje povrch a mění proudění vzduchu, tak, že zpomaluje jeho průtok, vytváří turbulentní proudění a směřuje jej do různých částí nosní dutiny, což maximalizuje přenos tepla a vlhkosti. Během nádechu uvolňuje nosní sliznice vlhkost a teplo, což částečně ochlazuje vydechovaný vzduch a způsobuje kondenzaci vodní páry. Přes tyto procesy dochází během 24 hodin k přibližné ztrátě 250 ml vody z dýchacích cest. (2) (1)

V dolních dýchacích cestách je zvlhčování zajištěno odpařováním vody z povrchové vrstvy hlenu, který pokrývá všechny dýchací plochy. Hlen je v dýchacích cestách přítomen v několika formách, například jako kapičky, vločky nebo plaky. Skládá se ze dvou vrstev – gelové vrstvy s mucinem a vodní solné vrstvy produkované serózními buňkami. Hlen nejen zvlhčuje, ale také zachytává nečistoty a pomocí řasinek je transportuje zpět do hltanu. Transport nečistot zpět do hltanu zajišťují řasinky, které se koordinovaně pohybují. Tyto mechanismy zajišťují efektivní ohřev, zvlhčení a filtraci vdechovaného vzduchu a chrání dýchací cesty před poškozením i znečištěním. (1) (6)

1.3 Důsledky nedostatečného zvlhčení dýchacích cest

Za fyziologických podmínek dostatečné zvlhčení vdechovaného vzduchu zajišťují horní cesty dýchací, čímž chrání sliznici před vysycháním a poškozením. Pokud jsou však horní cesty dýchací vyřazeny z funkce (např. při mechanické ventilaci), je nutné tuto funkci nahradit. Při mechanické ventilaci jsou dýchací cesty zajištěny endotracheální nebo tracheostomickou kanylou a dochází k inhalaci chladných a suchých medicínálních plynů. Tyto plyny mají negativní dopad na dýchací cesty, především na respirační epitel, který je vystaven riziku vysušení a poškození. (7)

Poškození respiračního epitelu se může klinicky projevit zvýšenou dechovou prací, atelektázou, kašlem nebo bronchospasmem. (5) Vysušená sliznice navíc způsobuje zhoršení mukociliární funkce, což může vést k retenci sekretů. Tento stav může následně způsobit okluzi endotracheální nebo tracheostomické kanyly. (9) (10)

K výrazným změnám respiračního epitelu dochází již po jedné hodině inhalace suchých plynů. Toto tvrzení je výsledkem studie, kterou provedli Chalon, Loew a Malebranche v roce 1972. Tato studie zkoumala vliv suchých anestetických plynů na respirační epitel. Bylo sledováno 18 zaintubovaných pacientů během celkové anestezie, po dobu tří hodin nebo déle. Pacienti byli rozděleni do tří skupin podle relativní vlhkosti vdechovaných plynů. První skupina pacientů dýchala suché plyny. Druhá skupina dýchala plyny při pokojové teplotě o relativní vlhkosti 60 %, a třetí skupina dýchala plně zvlhčené plyny při teplotě 37 °C. Výplachem bronchů byly v průběhu studie získávány vzorky tracheobronchiálních buněk a následně byly mikroskopicky analyzovány. Výsledky ukázaly významné poškození buněk při inhalaci suchých plynů, zahrnující ztrátu řasinek, cytoplazmatické změny a změny jaderné. Po třech hodinách expozice suchým plynům bylo pozorováno poškození 39 % řasinek a dalších buněčných struktur, zatímco u zvlhčených plynů nebyly zjištěny žádné změny. Z tohoto výzkumu vyplývá, že je nezbytné dýchací cesty zvlhčovat i během anestezie, kdy jsou dýchací cesty zajištěny pouze krátkodobě. (11)

Za nedostatečné zvlhčení vdechovaných plynů lze považovat stav, kdy relativní vlhkost je nižší než 75 %. (8)

1.4 Důsledky nadměrného zvlhčení dýchacích cest

V současné době neexistují jasná kritéria pro definování nadměrného zvlhčování vdechovaných plynů. Některé zprávy naznačují, že k nadměrnému zvlhčování dochází, když je vdechovaný plyn plně nasycen vodní párou při teplotě nad 32 °C, což vede k vyššímu obsahu vodní páry ve vdechovaném vzduchu než ve vydechovaném.

Nadměrné zvlhčení snižuje viskozitu hlenu, zvyšuje objem periciliární vrstvy, ředí surfaktant a může způsobit neutrofilní infiltraci plic a bronchiol. Tyto změny vedou k retenci sekretů, atelektáze, snížení plicní poddajnosti, zvýšení plicního zkratu a zvětšení alveolárně-arteriálního gradientu kyslíku.

Dlouhodobé účinky mohou zahrnovat vznik plicního a generalizovaného edému, přírůstek hmotnosti, hyponatrémii a zvýšenou náchylnost k bakteriálním infekcím, které mohou vyústit v bronchopneumonii. Dodávání nadměrně zvlhčeného vzduchu může také vést ke kondenzaci vody v dýchacím okruhu, což zvyšuje odpor vzduchu a představuje riziko infekce zadržovanými kapkami. (22)

2 Historický vývoj

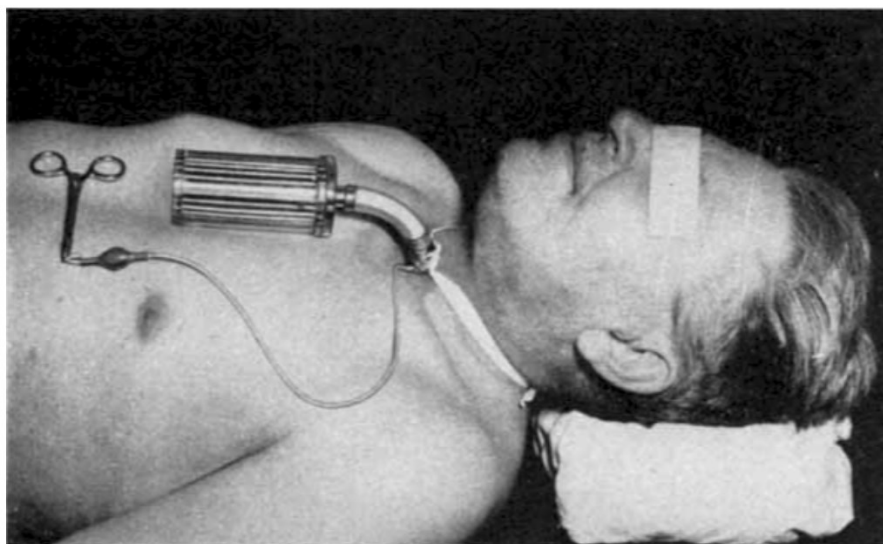
Výměníky tepla a vlhkosti jsou známy od 50. let 20. století, a od 70. let prošly značným vývojem. (12) Na vývoj měla jednoznačně vliv epidemie dětské obrny v Kodani v roce 1952, kdy se lékaři museli vypořádat s velkým množstvím pacientů s respiračním selháním. Na základě toho byla přestavena nová metoda přetlakové umělé plicní ventilace pomocí vaku pro manuální ventilaci. Ve své zprávě o epidemii Lassen zdůraznil, že při použití techniky tracheostomie a přetlakové ventilaci je „nezbytný dobrý zvlhčovač vzduchu, jinak může dojít k inkrustaci sekretů“. Dýchací okruh, který byl tehdy využíván, obsahoval jednoduchý zvlhčovač. Ten pracoval na principu probublávání vdechované směsi pod vodou, což zajišťovalo zvlhčení dýchacích cest. Toto zvlhčovací zařízení bylo jednoduché, a ne tak účinné, proto vývoj rychle směřoval ke vzniku účinnějších zvlhčovačů dýchacích cest. (13)

V roce 1953 Marshall a Spalding popsali první aktivní zvlhčovač. (14) Tento zvlhčovač ohříval vdechovaný vzduch na 35 °C a zvlhčoval ho na 100% nasycení při stejné teplotě. Součástí tohoto přístroje byla elektrická topná spirála a nastavitelný termostat. Tento přístroj byl poměrně rozměrný, proto se začalo uvažovat o tom, že k léčbě přetlakovou ventilací by mohlo stačit něco jednoduššího a menšího. Na základě těchto úvah Walley v roce 1956 jako první popsal zařízení, které mělo zajistit účinné pasivní zvlhčení dýchacích cest u pacientů na přetlakové mechanické ventilaci. Pasivní zvlhčovač se skládal z válce z perspexu (polymethylmethakrylát), který sloužil jako izolační vrstva. Válec obsahoval postříbřené měděné gázy, které sloužily k zachytávání tepla a vlhkosti z vydechovaného vzduchu a následné předávání tepla a vlhkosti do vdechované směsi při dalším nádechu. (15)

Koch a kol. vytvořili v roce 1958 dle návrhů Allandera podobné zařízení pro pasivní zvlhčování vdechovaných plynů (Obrázek č. 1). Tento pasivní výměník tepla a vlhkosti byl tvořen systémem ocelových trubiček uložených v plexisklovém pouzdře. Při sestavování kladli důraz na maximální vnitřní plochu pro efektivní zvlhčení, minimalizaci mrtvého prostoru, nízký odpor a snadnou použitelnost. (16)

S rozvojem umělé plicní ventilace a zvlhčovačů dýchacích cest byla stanovena první doporučení týkající se teploty a vlhkosti vdechované směsi. (17) V roce 1969 Chamney tato doporučení shrnul a uvedl, že u všech pacientů, u nichž jsou obcházeny horní cesty dýchací, by vdechované plyny měly být zahřáté na 30–36 °C a zvlhčené tak, aby obsahovaly 30–40 g/m³ vodní páry. (18)

Současná doporučení Americké asociace pro respirační péči (AARC) zůstávají téměř nezměněná a stanovují, že výměníky tepla a vlhkosti by měly udržovat teplotu vdechovaných plynů v rozmezí **30–34 °C a zajišťovat minimální absolutní vlhkost 30 g/m³**. (19)



Obrázek č. 1: Allanderův HME složený z ocelových trubiček v plexisklovém pouzdře, zdroj (16)

3 Metody zvlhčování a ohřevu vdechované směsi

Zvlhčování o ohřev vdechované směsi je doporučováno u každého invazivně ventilovaného pacienta a považuje za standard péče. V případě zvlhčení během neinvazivní ventilace neexistuje jednoznačný konsenzus a zvlhčování je doporučováno především pro zvýšení komfortu. (19)

Zvlhčovací zařízení lze rozdělit do dvou základních skupin, na aktivní vyhřívané zvlhčovače (Heated humidifiers, HHs) a pasivní zvlhčovače (Passive humidifiers, PHs), jako jsou výměníky tepla a vlhkosti (Heat and Moisture Exchanger, HME). (7)

3.1 Aktivní zvlhčovače

Aktivní zvlhčovače fungují na principu ohřevu vzduchu procházejícího zásobníkem se sterilní vodou, která je pomocí topného tělesa ohřívána. Aktivní zvlhčovač je umístěný v inspirační větvi ventilačního okruhu, proximálně od ventilátoru (Obrázek č. 2). Ohřátý vzduch nasycený vodní párou putuje ze zvlhčovače inspirační větvi do dýchacích cest pacienta. Při poklesu okolní teploty dochází v okruhu ke kondenzaci vody, což vyžaduje pravidelné odstraňování vody, aby se zabránilo riziku kontaminace okruhu a vzniku ventilátorové pneumonie. (5)

Moderní systémy (Heated Wire Humidifier, HWH) obsahují často v inspirační větvi vyhřívané dráty, které minimalizují kondenzaci vody (Obrázek č. 3). Tyto systémy jsou vybaveny senzory na výstupu zvlhčovače a u Y-kusu, které monitorují teplotu a prostřednictvím zpětné vazby regulují ohřev. Pokud skutečná teplota překročí nebo klesne nad či pod definovanou úroveň, spustí se alarm. (5) V ideálním systému by se měl alarm spouštět podle úrovně vlhkosti, ale u komerčně vyráběných senzorů se spouští pouze na základě teploty. Obvykle je teplota zvlhčovače nastavená na 37 °C. (7)

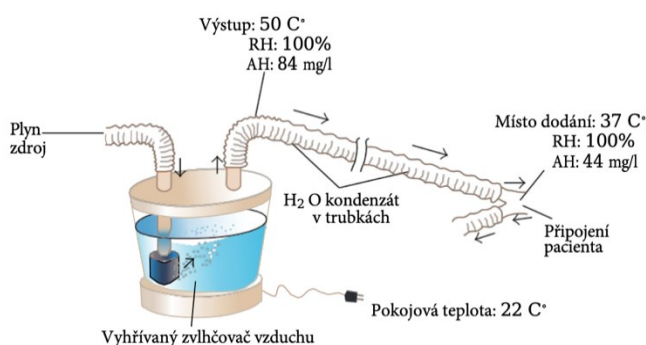
Pro zajišťování aktivního zvlhčování u invazivně ventilovaných pacientů Americká asociace pro respirační péči (AARC) doporučuje, aby zařízení poskytovalo úroveň vlhkosti v rozmezí 33–44 g/m³ a teplotu plynu mezi 34–41 °C na Y-kusu ventilačního okruhu, s relativní vlhkostí 100 %. (19)

3.2 Aktivní výměník tepla a vlhkosti

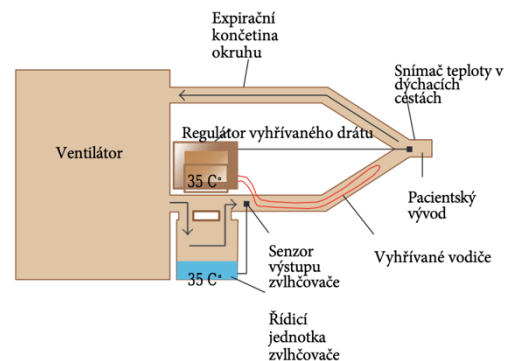
Aktivní výměník tepla a vlhkosti (aHME), známý také jako HME Booster, je typ hybridního aktivního zvlhčovače. Je složen z běžného HME a malého ohřívače umístěného mezi HME a pacientem. Někdy může být ohřívač přímo součástí filtru. Ohřívač obsahuje maloobjemovou komoru s portem pro kontinuální infuzi sterilní vody, a GORA-TEX membránu, která automaticky reguluje vlhkost na základě dechového objemu a nasycení vodní párou. V průběhu výdechové fáze udržuje teplo a vlhkost pasivním způsobem. Mezi výhody tohoto typu aktivního zvlhčovače patří jednoduché použití a prevence nadměrné kondenzace v okruhu. Navíc obsahuje bakteriální filtr, který není u aktivních zvlhčovačů přítomný. Lze jej využít i u pacientů s hypotermií. Nevýhodou oproti aktivnímu zvlhčení může být, že nezahrnuje sledování teploty a zvyšuje odpor. (2)(7)

3.3 Pasivní výměník tepla a vlhkosti

Tento typ zvlhčovače je jedním z nejčastěji využívaných zvlhčovačů u pacientů vyžadujících umělou plicní ventilaci. Zároveň však může být využíván i u spontánně ventilujících pacientů po laryngektomii. Mezi hlavní výhody patří jeho nízké pořizovací a provozní náklady, snadná manipulace a schopnost eliminovat tvorbu kondenzátu v dýchacím okruhu. Princip fungování HME spočívá v jejich schopnosti uchovávat teplo a vlhkost během výdechu a následně dodat alespoň 70 % vlhkosti vdechovanému plynu při nádechu. Jedná se o pasivní systém, protože teplo i vlhkost jsou získávány výhradně od pacienta a do systému se nepřidává žádná energie. (19)



Obrázek č. 2: Aktivní zvlhčovač, upraveno dle (5)



Obrázek č. 3: Heated Wire Humidifier, upraveno dle (5)

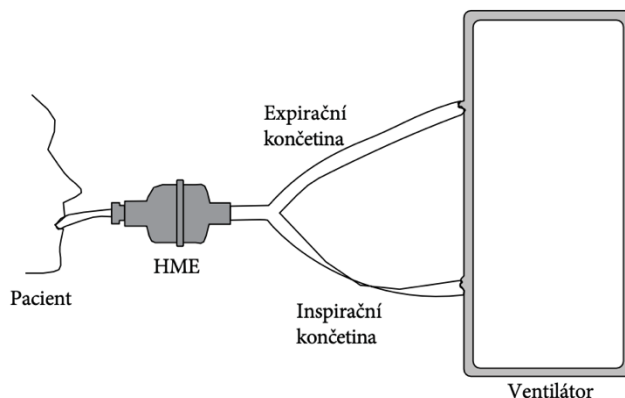
4 Pasivní výměníky tepla a vlhkosti

Jak již bylo zmíněno, HME nahrazují přirozenou funkci horních cest dýchacích tím, že pasivně zvlhčují a ohřívají vdechovanou směs. Nedílnou součástí je antimikrobiální filtr, který brání proniknutí patogenů z ventilačního okruhu do dýchacích cest pacienta. Zároveň tento filtr zabraňuje šíření patogenů z pacientových dýchacích cest do ventilačního okruhu a okolního prostředí, což poskytuje ochranu i zdravotnickému personálu. (20) Tyto zvlhčovače jsou umístěny mezi pacienta a Y-kus ventilátoru (Obrázek č. 4). Toto umístění může zvyšovat odpor proudění vzduchu během výdechové a nádechové fáze, a zvlhčovač se tak stává součástí přístrojového mrtvého prostoru. (3)

Odpor, který filtr klade proudění vzduchu, musí být výrobcem uváděn spolu s informacemi o vnitřním objemu a účinnosti zvlhčení, které filtr poskytuje. Tyto požadavky stanovuje norma 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*, která zajišťuje jednotné standardy pro bezpečné a účinné používání HME v klinické praxi. (21)

Pasivní výměník tepla a vlhkosti by u pacientů na umělé plicní ventilaci měl zajistit minimální vlhkost 30 g/m^3 , jeho výkon však ovlivňují i další faktory, jako je teplota prostředí, vdechový a výdechový průtok, povrch a obsah vodní páry v médiu. (22)

V intenzivní péči se používají HME filtry, které fungují na dvou hlavních principech, hygrokopii a hydrofobii, v některých případech se oba principy kombinují. (20)



Obrázek č. 4: Umístění HME filtru ve ventilačním okruhu, upraveno (5)

4.1 Hydrofobní HME filtry

Hydrofobní HME filtry jsou jednoduché kondenzátory vyrobené z vodoodpudivých materiálů jako například jednorázové pěny, syntetických vláken nebo papíru s velkou plochou, které mají nízkou tepelnou vodivost a udržují vyšší teplotní gradienty než filtry hygroskopické. Hydrofobní filtry odpuzují vlhkost a zadržují teplo vydechaného plynu, které následně dodávají při dalším nádechu. V porovnání s hygroskopickými HME jsou méně využívány, protože častěji způsobují okluzi endotracheální kanyly. (2) (5)

Příkladem hydrofobního filtru používaného v klinické praxi je BB100A nebo BB100AF (Pall). (24)

4.2 Hygroskopické HME filtry

Hygroskopický HME filtr obsahuje pouze hygroskopickou vrstvu, která je vyrobena ze syntetických vláken potažených hygroskopickými solemi, jako je chlorid vápenatý nebo chlorid lithný. Tyto soli slouží k absorbování vodní páry z vydechaného vzduchu a jejímu následnému uvolnění do vdechovaného plynu, čímž optimalizují dodávku vlhkosti a zvyšují tak zvlhčovací schopnost HME. Syntetické vlákno také pomáhá snižovat hromadění kondenzátu. Hygroskopické soli lze přidat do hydrofobního HME, čímž vznikne kombinovaný filtr, který spojuje vlastnosti obou typů (Obrázek č. 5). (2) (23)

Příkladem hygroskopických filtrů jsou Humid-Vent 2S (G2S) , Thermovent 1200. Humid-Vent Filter Light a Hygrobac S DAR (Hygrobac S) jsou filtry, které kombinují hydrofobní a hygroskopický princip. (24)

4.3 Plisované a elektrostatické filtry

K hydrofobním nebo hygroskopickým HME lze přidat filtry, čímž vznikne filtr s výměnou tepla a vlhkosti (HMEF). Tyto filtry fungují na principu elektrostatické nebo mechanické filtrace. Dle mechanismu lze filtry rozdělit na plisované nebo elektrostatické. (5)

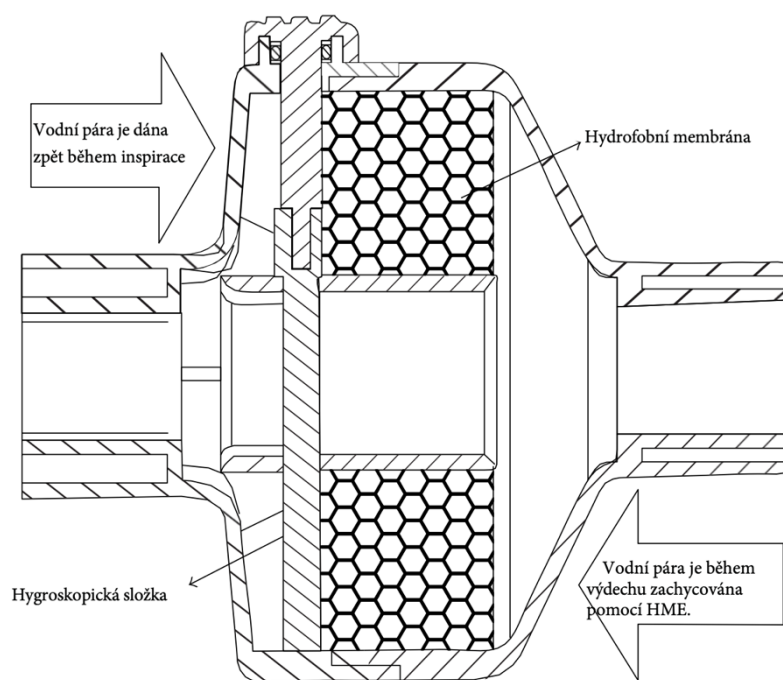
4.3.1 Plisované filtry

Plisované filtry jsou charakteristické hustšími vlákny a menším množstvím elektrostatických nábojů. Ve srovnání s elektrostatickými filtry poskytují lepší

bariéru proti bakteriálním a virovým patogenům. Plisovaný charakter membrány způsobuje turbulentní proudění vzduchu, což zvyšuje usazování patogenů na vnitřní straně filtru. Tento typ filtru však přináší vyšší odpor proudění vzduchu. (5)

4.3.2 Elektrostatické filtry

Elektrostatické filtry jsou vystaveny elektrickému poli. Oproti plisovaným filtrům mají více elektrostatických nábojů a méně hustá vlákna. Jelikož bakterie a viry nesou elektrické náboje, zachycují se v elektrickém poli těchto filtrů. Tyto filtry mají obvykle větší póry než skládané membrány a jejich účinnost spočívá zejména v elektrostatickém mechanismu. Proto se primárně používají jako bariéry proti patogenům. (5)



Obrázek č. 5: HME filtr, upraveno dle (5)

5 Použití HME filtrů v intenzivní péči

Podle doporučení Americké asociace pro respirační péči z roku 2012 by používání HME filtrů mělo být upřednostňováno u ventilovaných pacientů, u nichž se předpokládá krátkodobá ventilace (do 96 hodin) a u nichž nejsou přítomny žádné z kontraindikací použití HME filtru. Dále doporučuje použití HME filtru během transportu pacienta. (19)

5.1 Kontraindikace HME filtrů

Použití HME filtrů je dle doporučení AARC kontraindikováno v těchto případech:

- u pacientů s krvavými, hustými a hojnými sekrety
- u pacientů s bronchopulmonální pístělí, u kterých je expirační dechový objem o 70 % nižší oproti inspiračnímu
- u pacientů s ARDS s protektivní ventilací nízkými minutovými objemy
- u pacientů s tělesnou teplotou $<32\text{ }^{\circ}\text{C}$
- u pacientů s CHOPN, kdy odpor a mrtvý prostor filtru může zvýšit dechovou práci
- u pacientů s minutovou ventilací $> 10\text{ l/min}$ (19) (29)

Ve všech těchto případech by mělo být ke zvlhčení dýchacích cest preferováno aktivní zvlhčení pomocí aktivního tepelného zvlhčovače. (20)

Jak již bylo zmíněno, použití HME filtru je jasnou kontraindikací u pacientů s vysokou produkcí hustého sekretu, přítomností plicního edému nebo krvácením z dýchacích cest. Protože při jeho použití hrozí zvýšené riziko jeho ucpání, které se projeví nárůstem inspiračního tlaku (PIP, peak inspiratory pressure). Aktivní zvlhčení pomocí HH by mělo být těchto případech jasnou volbou. (25)(26)

U pacientů s ARDS, kteří jsou ventilováni malými dechovými objemy, často dochází při tomto protektivním přístupu ke vzniku hyperkapnie. Přidání HME filtru do ventilačního okruhu prokazatelně přispívá k dalšímu rozvoji hyperkapnie v důsledku zvětšení mrtvého prostoru. Naopak při použití aktivního zvlhčení u těchto pacientů ke zvětšení mrtvého prostoru nedochází, a tím je riziko hyperkapnie výrazně eliminováno. (27)(29)

Vzhledem k tomu, že pasivní zvlhčení dýchacích cest zadržuje teplo a vlhkost během expirace a následně je dodává do vdechovaného vzduchu, je funkčnost HME filtru u pacientů s hypotermií velmi omezená a při použití HME filtru není zajištěno

dostatečné zvlhčení. Proto by i u těchto pacientů mělo být přednostně použito aktivní zvlhčení, které dokáže zajistit stabilní teplotu a vlhkost vdechovaných plynů. (28)

Další kontraindikací použití HME filtru uváděnou v odborné literatuře je intoxikace látkami vylučujícími se dýchacími cestami. (30)

5.2 Kombinace HME a HH

HME filtr by neměl být použit ve ventilačním okruhu současně s aktivním zvlhčovačem, protože kombinace HME a HH ve stejném ventilačním okruhu může způsobit kritickou obstrukci dýchacích cest. Ke kritickému uzávěru dýchacích cest, který je definován jako pokles dechového objemu na méně než 50 ml z nastavené hodnoty 500 ml, dochází ve 100 % případů během 24 hodin a obvykle k němu došlo náhle mezi 19. a 23. hodinou. (33)

V případě, že dojde k chybě a jsou tyto dva typy zvlhčení kombinovány, membrána HME se nasytí vodní párou v důsledku vysoké vlhkosti medicínálních plynů odcházejících z HH během inspirační fáze. To může způsobit částečný uzávěr dýchacích cest a zvýšení tlaku ve ventilátoru a může dojít k úplnému uzávěru dýchacích cest a fatálním následkům, pokud se chyba neodhalí včas. (31)

(32)

K chybné kombinaci obou typů zvlhčení může docházet při použití HME na operačním sále nebo při převozu pacienta. Během transportu se často používá z praktických důvodů HME, zatímco na jednotce intenzivní péče může být pacient napojen na HH. Po ukončení transportu a opětovném připojení pacienta na ventilační okruh se však může stát, že HME filtr zůstane v okruhu, což vede k neúmyslnému použití obou typů zvlhčení.

V simulační studii z roku 2018 bylo dokázáno, že rozpoznání této chyby je obtížné, protože během simulované okluze ji správně rozpoznalo pouze 30 % zdravotníků. (31)

Bylo navrženo nové bezpečnostní zařízení Humidicare HME, které usnadňuje klinickým lékařům včasné rozpoznání neúmyslných chyb dvojího zvlhčení. Pokud je Humidicare HME umístěn do zahřátého okruhu obsahujícího HH, zobrazí se na povrchu filtru výrazný barevný text s upozorněním „CAUTION“, který jasně signalizuje chybu. (32)

5.3 Použití HME při nebulizaci

Použití standardního HME může při nebulizaci výrazně snížit depozici aerosolu v dýchacích cestách, protože se účinné látky částečně vychytávají ve filtru. Někteří výrobci doporučují HME filtr během nebulizace odstranit z ventilačního okruhu, což ale znamená opakované odpojování pacienta od okruhu. To může vést ke ztrátě PEEP a zároveň zvýšit riziko infekce jak pro pacienta, tak pro zdravotnický personál. Řešením by mohlo být použití speciálního HME – AD filtru (HME for aerosol delivery) jako je například Gibeck Humid-Flo®.

Tyto filtry určené k nebulizaci umožňují podávání aerosolové terapie během mechanické ventilace bez nutnosti rozpojování ventilačního okruhu. Filtry mají dva režimy – „HME“ a „AEROSOL“ – které se dají snadno přepínat. V režimu HME fungují jako klasický pasivní zvlhčovač a v režimu AEROSOL aerosol obchází zvlhčovací materiál, což umožňuje efektivní podání léčiva. Tento systém snižuje riziko kontaminace okruhu a expozice zdravotníků a zároveň neovlivňuje podávání léčiva do dýchacích cest. V současné době není o účinnosti těchto filtrů dostatek experimentálních dat. (2) (34)

6 Frekvence výměny HME filtru

HME filtry jsou určeny k jednorázovému použití a většina výrobců doporučuje maximální dobu použití 24 hodin. Po uplynutí této doby by měl být filtr vyměněn. V případě viditelného znečištění či poškození filtru lze provést výměnu i dříve. Dodržení doporučeného časového intervalu pro výměnu filtru zajišťuje správnou účinnost filtru a minimalizuje riziko mechanických komplikací, čímž je použití filtru bezpečné pro pacienta. (35, 36, 37)

Některé dostupné studie dokazují, že pasivní výměníky tepla a vlhkosti není nutné měnit denně a interval jejich výměny lze prodloužit až na jeden týden. Bylo prokázáno, že je lze bezpečně používat po dobu nejméně 48 hodin, aniž by došlo ke snížení jejich funkčnosti, a to i u pacientů s CHOPN. (38, 39, 40) Bezpečné použití HME filtrů u všech invazivně ventilovaných pacientů po dobu 48 hodin je možné pouze za předpokladu striktního dodržování kontraindikací pro jejich použití (hypotermie, zvýšená sekrece dýchacích cest, bronchopleurální píštěle, ...) (38). Prodloužení intervalu výměny filtru nejen snižuje pracovní zátěž ošetrovatelského

personálu, ale také významně snižuje náklady spojené s mechanickou ventilací. (39)

Další studie ukazuje, že prodloužené používání hydroskopického HME filtru u pacientů bez předchozí plicní anamnézy po dobu 96 hodin neovlivňuje jeho technické ani antimikrobiální vlastnosti. Nepřímé důkazy však poukazují na možnost mírného zvýšení odporu filtru. (41)

Za bezpečnou, účinnou a nákladově efektivní mechanickou ventilaci lze považovat i výměnu HME filtru jednou týdně. Tento interval je však vhodný pouze pro pacienty bez plicní patologie. U pacientů s CHOPN by interval výměny neměl nikdy překročit 48 hodin. (42)

Benefit výměny HME filtru je třeba důkladně zvážit, protože během výměny filtru dochází k rozpojení ventilačního okruhu, což vede k poklesu PEEP a následně k náhlé deflaci plic. Náhlá deflace po dlouhodobé inflaci způsobuje poškození endotelu plic v důsledku kombinace nesouladu předtížení a dotížení levé komory, zvýšeného hydrostatického tlaku v plicích za přítomnosti náhlého zvýšení průtoku krve plicemi. Tyto změny mohou vést k rozvoji plicního edému a v závažných případech až ke vzniku akutního cor pulmonale. (43)

Rozpojení ventilačního okruhu představuje riziko jak pro pacienta, tak pro zdravotnický personál, který je vystaven expozici potenciálně kontaminovanému aerosolu. Z tohoto důvodu se doporučuje, aby k rozpojování okruhů docházelo pouze v nezbytně nutných případech. (44)

Pro ochranu zdravotnického personálu před infekcí a pro udržení plicní stability u pacientů na mechanické ventilaci se při plánovaném rozpojení ventilačního okruhu doporučuje využít funkci ventilátoru k pozastavení ventilace a uzavřít endotracheální kanylu pomocí svorky, ideálně na dobu 5 sekund. Podle studií je pro tento účel nejúčinnější svorka určená pro extrakorporální membránovou oxygenaci. (45,46) Alternativou může být použití adaptéru Flusso Bypass. (47, 48)

7 Výběr vhodného zvlhčení

Výběr vhodného zvlhčovače by měl být přizpůsoben klinickému stavu pacienta, s cílem minimalizovat riziko komplikací a dosáhnout odpovídajícího výkonu při nižších nákladech. (49)

Výhodou HME filtru je jeho snadné a praktické použití, které je vhodné i během transportu pacienta. Na rozdíl od aktivních zvlhčovačů nepředstavuje tepelné riziko. (50, 51)

Ačkoli mají HME filtry řadu výhod, je třeba zvážit před samotným použitím i jejich nevýhody. Ve srovnání s aktivními zvlhčovači mají HME filtry nižší účinnost při udržování tepla a vlhkosti, proto se doporučují spíše pro krátkodobou ventilaci. Další nevýhodou je zvětšení mrtvého prostoru, které závisí na vnitřním objemu filtru, což může být problematické zejména u pacientů s nízkou ventilační rezervou. Filtr ve ventilačním okruhu může zvyšovat odpor proudění vzduchu, který může být za normálních okolností zanedbatelný, ovšem pokud se HME filtr nahromadí kapalinou, sekrety či krví může dojít k výraznému nárůstu odporu, případně až k úplné okluzi. (52, 53)

Používání HH se upřednostňuje zejména při dlouhodobé ventilaci nebo u pacientů, pro které je použití HME filtru kontraindikováno. Aktivní zvlhčování také přináší určité nevýhody, jako je možnost poškození dýchacích cest v důsledku nadměrné teploty, či omezení průtoku vzduchu kvůli kondenzaci vody ve ventilačním okruhu. Ve srovnání s HME filtry je navíc použití aktivních zvlhčovačů výrazně nákladnější. (52, 50)

O tom, jaký typ zvlhčení je nejlepší v prevenci ventilátorové pneumonie (VAP) a jaký typ má vliv na incidenci respiračních infekcí se vedou spory. Několik studií však dokazuje že neexistuje žádný významný rozdíl ve výskytu VAP u pacientů s HME oproti HH. (49, 52, 54)

Dle systematického Cochrane přehledu z roku 2017 také nebyl zjištěn žádný významný rozdíl v incidenci ventilátorové pneumonie při použití HME filtrů nebo HH. Přesto bylo navrženo, že použití hydrofobních HME bez hygroskopických vlastností může snížit riziko pneumonie v porovnání s HH, protože pohlcují méně vlhkosti a tím snižují riziko kondenzace. Data však nejsou dostatečně silná a je zapotřebí dalšího výzkumu, který by srovnával různé typy HME navzájem. (55)

II. Empirická část

8 Cíl, hypotézy a výzkumné otázky

8.1 Cíl

Hlavním cílem mého výzkumného šetření je zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti u invazivně ventilovaných nemocných na anesteziologicko-resuscitačních pracovištích v České republice. Současně chci zjistit, zda je používání těchto filtrů v praxi v souladu s doporučeními odborných zdrojů.

8.2 Výzkumné otázky

Otázka č. 1 - Existuje rozdíl ve využívání aktivního a pasivního zvlhčení pomocí HME filtru u invazivně ventilovaných nemocných?

Otázka č. 2 - Liší se výběr mezi aktivním a pasivním zvlhčením dýchacích cest podle toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař?

Otázka č. 3 - Liší se frekvence výměny HME filtru v praxi od doporučení výrobce?

8.2.1 Výzkumné podotázky:

Podotázka č. 1 - Jaký typ zvlhčení dýchacích cest je preferován u nemocných s předpokladem dlouhodobé ventilace?

Podotázka č. 2 - Jak často jsou pasivní výměníky tepla a vlhkosti používány u invazivně ventilovaných nemocných s rizikem obstrukce filtru v důsledku zvýšené sekrece či masivního krvácení z dýchacích cest?

Podotázka č. 3 - Jaký typ zvlhčení dýchacích cest je používán u pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C?

8.3 Hypotézy

Hypotéza č. 1

H0₁ – U invazivně ventilovaných nemocných nebude statisticky významný rozdíl ve využívání aktivního zvlhčení a pasivního zvlhčení pomocí HME filtru.

Ha₁ – U invazivně ventilovaných nemocných bude statisticky významný rozdíl ve využívání aktivního zvlhčení a pasivního zvlhčení pomocí HME filtru.

Hypotéza č. 2

H0₂ – Nebude statisticky významný rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest na základě toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař.

Ha₂ – Bude statisticky významný rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest na základě toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař.

Hypotéza č.3

H0₃ – Frekvence výměny HME filtru se nebude statisticky významně lišit od doporučení výrobce.

Ha₃ – Frekvence výměny HME filtru se bude statisticky významně lišit od doporučení výrobce.

Hypotéza č. 4

H0₄ – Pracoviště ARO dodržují kontraindikace pro použití HME filtrů u invazivně ventilovaných nemocných.

Ha₄ – Pracoviště ARO nedodržují kontraindikace pro použití HME filtrů u invazivně ventilovaných nemocných.

9 Metodika výzkumu

Tato diplomová práce je kvantitativní výzkum realizovaný prostřednictvím anonymního online dotazníku, distribuovaného vrchním a staničním sestrami anesteziologicko-resuscitačních oddělení v České republice. Hlavním cílem práce je zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti u invazivně ventilovaných nemocných na anesteziologicko-resuscitačních

pracovištích v České republice. Metoda kvantitativního výzkumu byla zvolena vzhledem ke statistické povaze práce.

Výzkumným nástrojem této práce je anonymní online dotazník. Tento způsob sběru dat byl zvolen převážně pro jeho efektivitu a široký dosah. To mi umožnilo oslovit respondenty z různých zdravotnických zařízeních napříč Českou republikou. Dotazník jsem distribuovala online, což mi ulehčilo celkový proces shromažďování dat. Společně s odkazem na dotazník k získání dat o používání HME filtrů jsem zasílala i odkaz na druhý dotazník, který sloužil pouze pro zaznamenání zdravotnického zařízení, které dotazník vyplnilo. Data z obou dotazníků nebyla spojována, a tak nebylo možné zpětně identifikovat odpovědi konkrétního zdravotnického zařízení.

Protože někteří respondenti neodpověděli, musela jsem o vyplnění dotazníků žádat opakovaně, abych dosáhla dostatečného vzorku dat. Díky informacím z druhého dotazníku jsem mohla zaměřit opakované žádosti pouze na zdravotnická zařízení, od kterých jsem ještě odpovědi neobdržela. Celkově jsem žádost o vyplnění zasílala čtyřikrát, a rozeslala jsem přes 272 emailů.

Dotazník byl navržen na základě prostudování odborné literatury tak, abych získala všechny potřebné informace o aktuální praxi v používání HME filtrů. Vytvořený dotazník obsahoval 17 otázek, z toho 10 uzavřených a 7 polouzavřených otázek. U všech otázek bylo možné zvolit pouze jednu odpověď. Otázky byly zaměřené na obecné informace o zdravotnickém zařízení, na typ zvlhčení dýchacích cest, na frekvenci výměny pasivních výměníků tepla a vlhkosti, doporučení výrobce na výměnu a na používání HME filtrů v konkrétních případech. Finální dotazník jsem následně vytvořila v online dotazníkovém nástroji Survio (<https://www.survio.com/cs/>). Získaná data jsem následně exportovala do programu Microsoft Excel Verze 16.90.2, ve kterém jsem data zpracovávala.

10 Sběr dat

Vytvořený online dotazník a žádost o vyplnění jsem rozeslala prostřednictvím emailu na 96 anesteziologicko-resuscitačních pracovišť. Email jsem zasílala přímo vrchním a staničním sestřám. V emailu jsem je seznámila s cílem mé práce a požádala je o to, aby dotazník vyplnila pouze jedna kompetentní osoba za celé

oddělení. Dále jsem se seznámila s tím, že se jedná o anonymní dotazník a účast je dobrovolná. Sběr dat jsem zahájila v říjnu 2024. Po prvním měsíci se mi podařilo získat pouze 27 vyplněných dotazníků, což bylo méně, než jsem očekávala. Proto jsem musela opětovně kontaktovat respondenty a znovu je požádat o vyplnění, abych dosáhla dostatečného počtu odpovědí.

Opětovné žádosti jsem zasílala celkem třikrát a pouze těm, kteří dotazník nevyplnili. Po druhé žádosti jsem získala 46 vyplněných dotazníků. Třetí žádost vedla k získání 64 dotazníků a po poslední žádosti jsem získala 71 vyplněných dotazníků, což byl dostatečný počet, a proto jsem sběr dat ukončila. Sběr dat nakonec trval tři měsíce, od 3.10 do 31.12. 2024. Celková návratnost dotazníků byla 74 %.

11 Výzkumný vzorek

Do výzkumu byla zahrnuta oddělení ARO z celé České republiky. Dotazníky za jednotlivá pracoviště byly vyplňovány vrchními a staničními sestrami. Oslovení proběhlo e-mailem, který obsahoval vysvětlení účelu výzkumu a odkaz na online dotazník. O vyplnění jsem žádala staniční a vrchní sestry, převážně proto, že nejlépe znají nastavené postupy na odděleních.

12 Etické aspekty

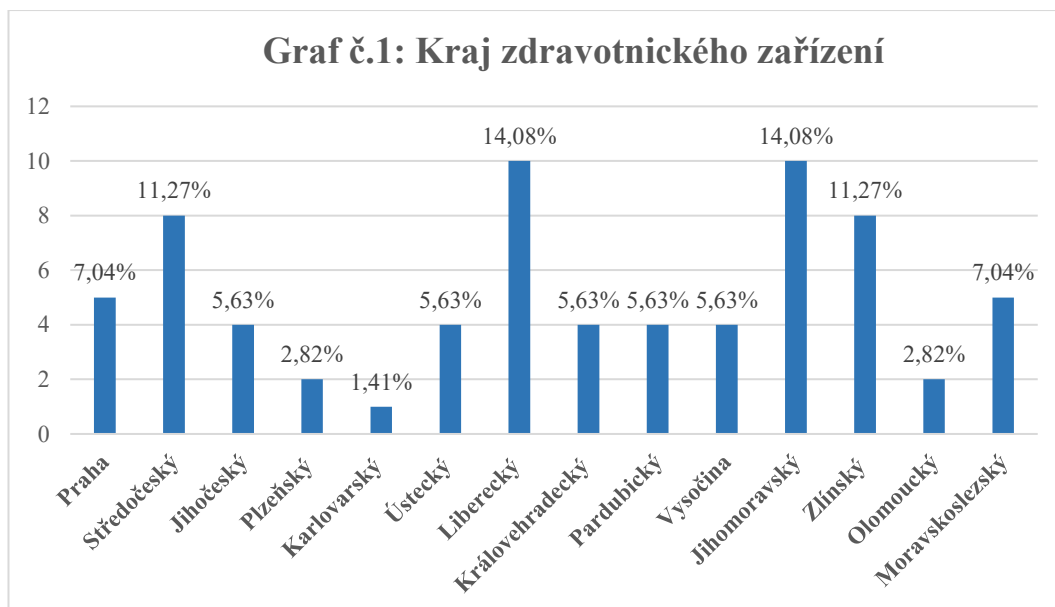
Během tohoto výzkumu byla zajištěna úplná anonymita respondentů. Dotazník neobsahoval žádné konkrétní údaje o zdravotnickém zařízení ani žádné osobní údaje oslovené sestry, která za zdravotnické zařízení odpovídala. Na základě získaných odpovědí nelze zpětně identifikovat zdravotnické zařízení. Účastníci byli informováni o tom, že je účast zcela dobrovolná a byli ujištěni, že výsledky budou použity výhradně pro účely této diplomové práce, což zajistilo dodržení etických principů výzkumu. Získaná data jsou uchována v Excelovém souboru a přístup k nim mám pouze já.

13 Analýza dat

Získaná data obsahují odpovědi od **71 respondentů**, získané prostřednictvím online dotazníkového nástroje Survio. Odpovědi byly následně exportovány do programu **Microsoft Excel Verze 16.90.2**, kde byly zpracovány a vyhodnoceny. Na základě výsledků byly vytvořeny přehledné sloupcové grafy pro lepší vizualizaci získaných výsledků. V druhé části byly na základě získaných odpovědí zodpovězeny výzkumné otázky a vyhodnoceny předem stanovené hypotézy.

14 Výsledky

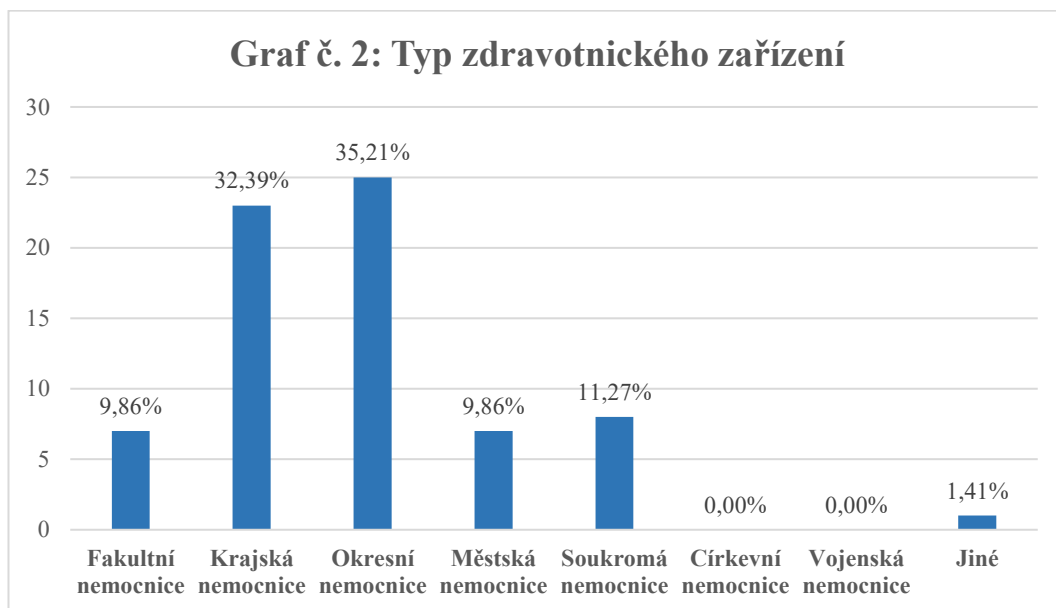
Otázka č. 1: V jakém kraji se nachází Vaše zdravotnické zařízení?



Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky jsem získala od zdravotnických zařízení ze všech krajů České republiky. Nejvyšší zastoupení zdravotnických zařízení bylo z Libereckého a Jihomoravského kraje, 14,08 % (10 odpovědí). Významný podíl odpovědí byl také ze Středočeského a Zlínského kraje, kde odpovědělo 11,27 % zařízení (8 odpovědí). Naopak nejnižší zastoupení výsledků bylo z Karlovarského kraje 1,41 % (1 odpověď), dále Olomoucký a Plzeňský kraj, kde odpovídalo 2,82 % (2 odpovědi). Zbývající kraje, Jihočeský, Ústecký, Královéhradecký, Pardubický, Vysočina, Moravskoslezský a Praha, měly podíl odpovědí v rozmezí 5,63–7,04 %.

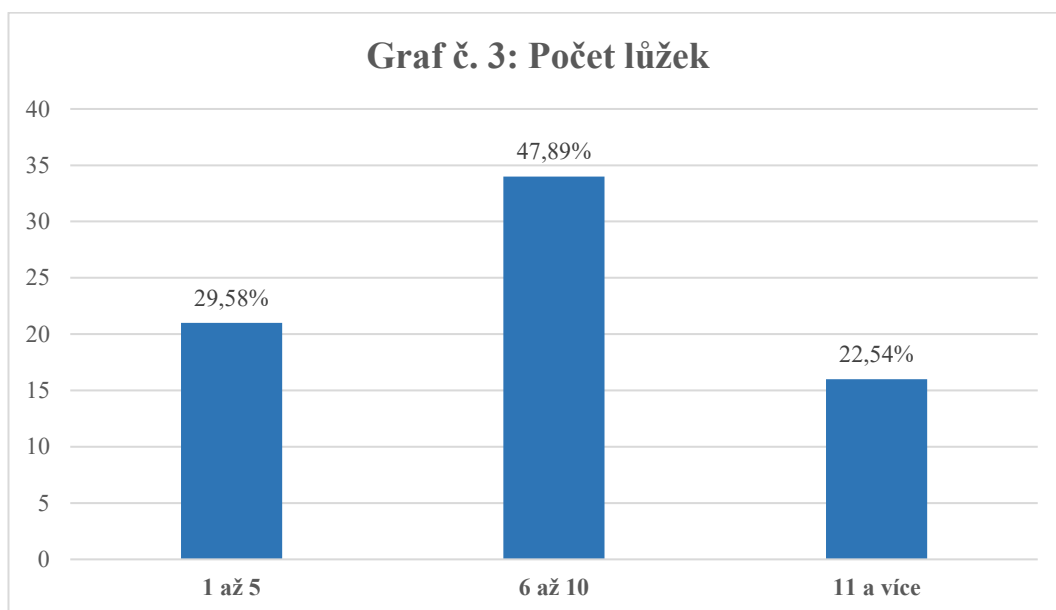
Otázka č. 2: Jaký je typ Vašeho zdravotnického zařízení?



Zdroj: vlastní zpracování

Nejčastěji se jednalo o okresní nemocnice, odkud pocházelo 35,21 % odpovědí (25 odpovědí). Z krajských nemocnic jsem získala 32,39 % odpovědí (23 odpovědí). Fakultní a městské nemocnice měly shodný počet vyplněných dotazníků, a to 9,86 % (7 odpovědí). Soukromé nemocnice se na šetření podílely 11,27 % (8 odpovědí). Naopak žádné odpovědi nebyly získány od církevních a vojenských nemocnic. Jeden respondent (1,41 %) zvolil možnost „jiné“ a uvedl, že zdravotnické zařízení, ve kterém pracuje, je státní nemocnice.

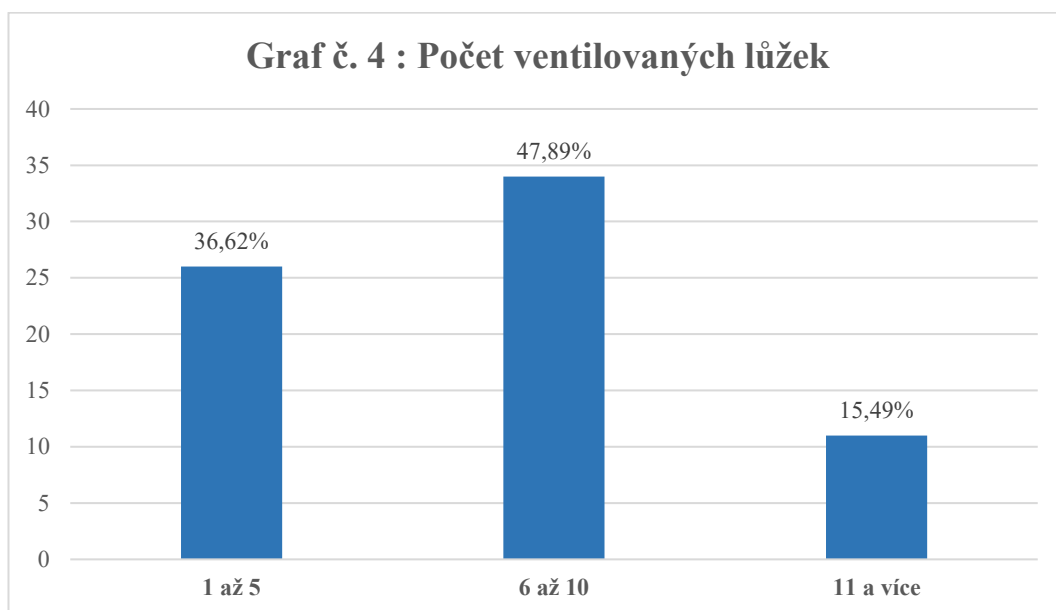
Otázka č. 3: Kolik lůžek má pracoviště?



Zdroj: vlastní zpracování

Ve třetí otázce jsem zjišťovala, jak velká jsou oddělení, která byla zapojena do výzkumného šetření. Nejčastěji se jednalo o oddělení s 6 až 10 lůžky, která tvořila 47,89 % (34 odpovědi). Oddělení s 1 až 5 lůžky byla zastoupena 29,58 % (21 odpovědi). Nejmenší zastoupení měla oddělení s 11 a více lůžky, která tvořila 22,54 % (16 odpovědi).

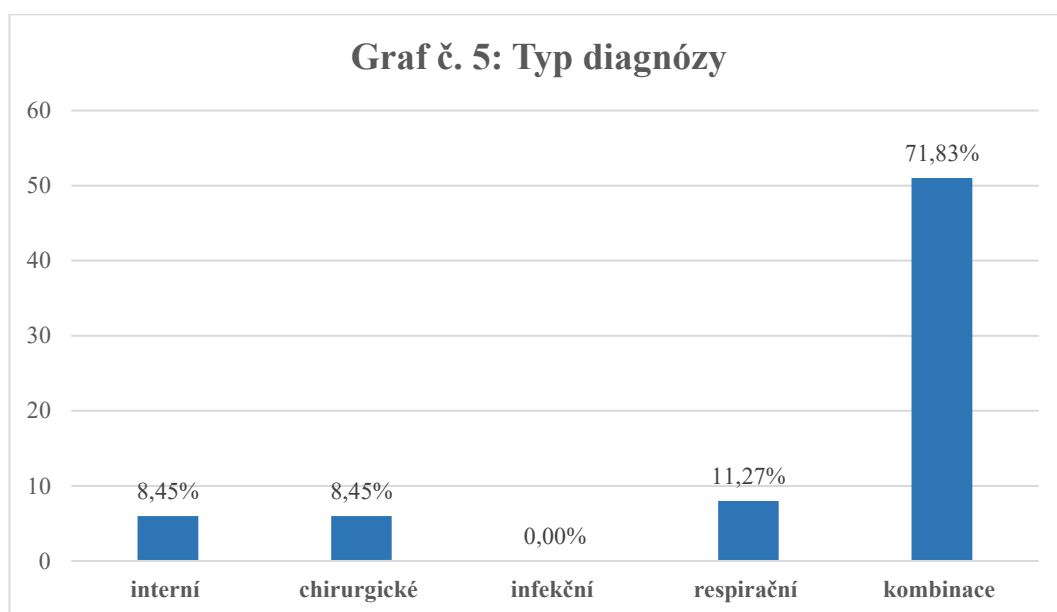
Otázka č. 4: Kolik ventilovaných lůžek má pracoviště?



Zdroj: vlastní zpracování

Oddělení nejčastěji disponovala 6 až 10 ventilovanými lůžky, což představovalo 47,89 % (34 odpovědí). Pracoviště s 1 až 5 ventilovanými lůžky byla zastoupena 36,62 % (26 odpovědí). Nejmenší zastoupení měla pracoviště s 11 a více ventilovanými lůžky, která tvořila 15,49 % (11 odpovědí).

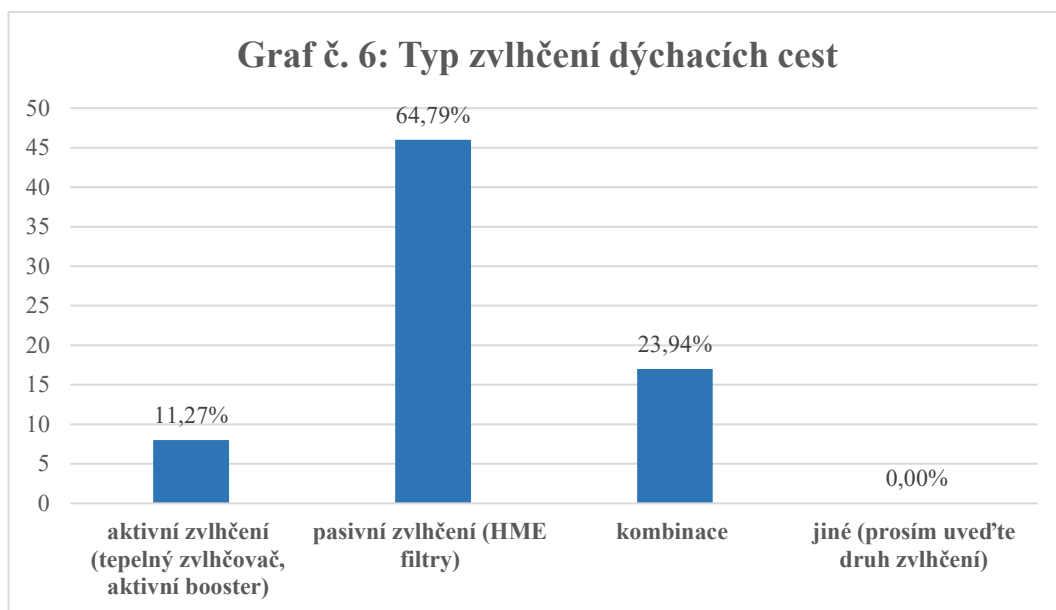
Otázka č. 5: Jaké diagnózy převažují na Vašem pracovišti?



Zdroj: vlastní zpracování

Nejvíce zastoupená byla pracoviště, kde se vyskytuje kombinace diagnóz, což představovalo 71,83 % (51 odpovědí). Na 11,27 % pracovišť (8 odpovědí) dominovaly respirační diagnózy. Odpovědi z oddělení, kde převažují interní a chirurgické diagnózy byly zastoupeny shodně, každé s podílem 8,45 % (6 odpovědí). Žádné odpovědi nebyly získány z pracovišť, kde převažují infekční diagnózy.

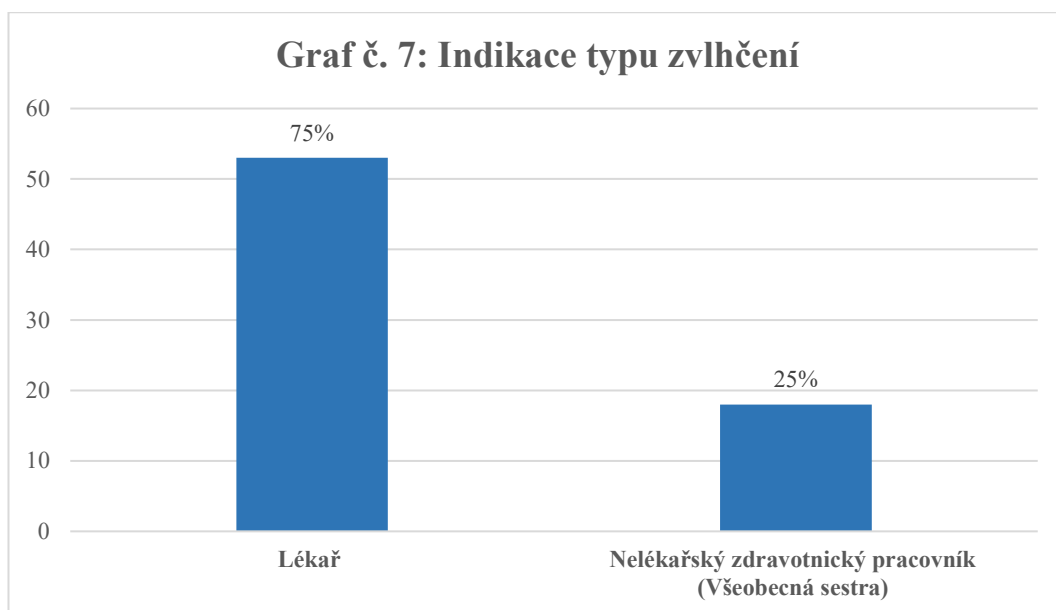
Otázka č. 6: Jaký druh zvlhčení dýchacích cest u pacientů na umělé plicní ventilaci při invazivním zajištění dýchacích cest používáte nejčastěji?



Zdroj: vlastní zpracování

Nejčastěji používaným druhem zvlhčení dýchacích cest u pacientů na umělé plicní ventilaci bylo pasivní zvlhčení pomocí HME filtrů, které představovalo 64,79 % (46 odpovědí). Kombinace aktivního a pasivního zvlhčení byla využívána ve 23,94 % případů (17 odpovědí). Aktivní zvlhčení, jako je tepelný zvlhčovač nebo aktivní booster, je používáno na 11,27 % pracovišť (8 odpovědí). Žádné jiné druhy zvlhčení nebyly zaznamenány.

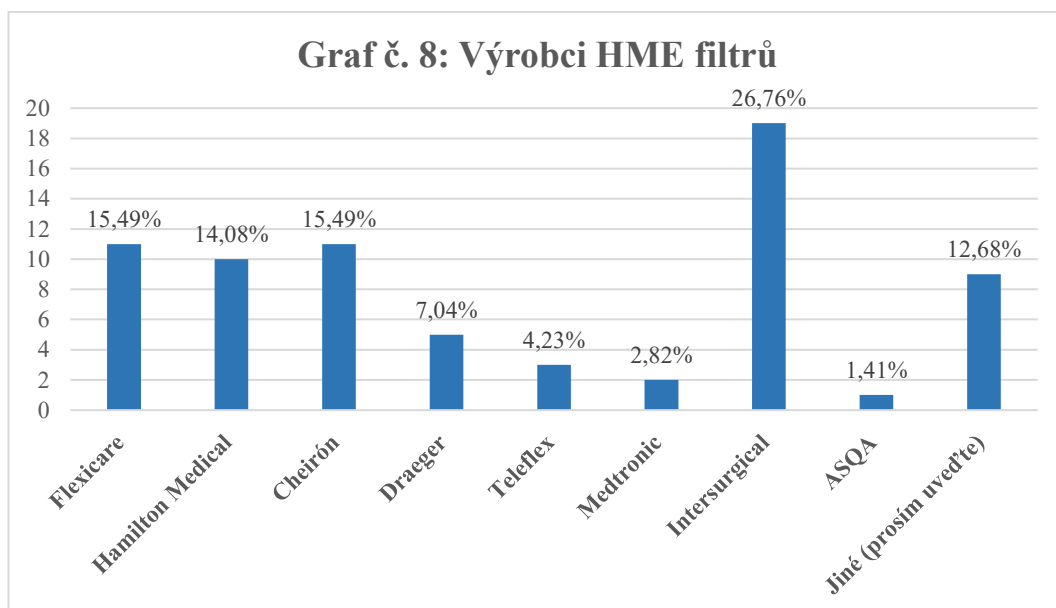
Otázka č. 7: Kdo na Vašem pracovišti indikuje typ zvlhčení dýchacích cest?



Zdroj: vlastní zpracování

Na většině pracovišť indikuje typ zvlhčení dýchacích cest lékař, což představuje 74,65 % (53 odpovědí). Nelékařští zdravotničtí pracovníci indikují typ zvlhčení pouze na 25,35 % pracovišť (18 odpovědí).

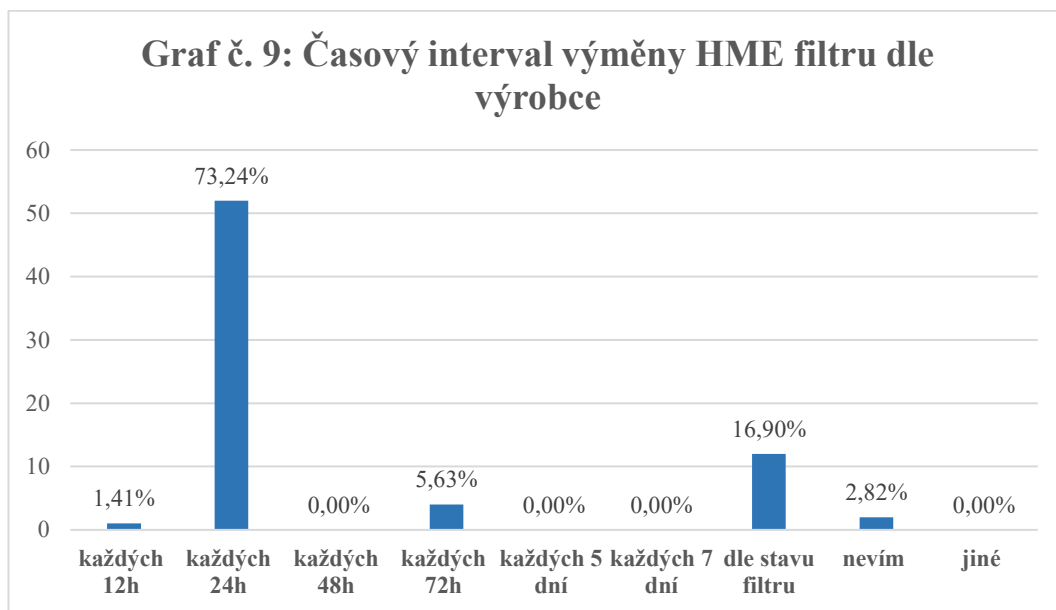
Otázka č.8: Od jakého výrobce používáte HME filtry (Heat and Moisture Exchanger)?



Zdroj: vlastní zpracování

Nejčastěji používanými HME filtry jsou filtry od výrobce Intersurgical, které uvedlo 26,76 % zdravotnických zařízení (19 odpovědí). Dalšími často používanými výrobci jsou Flexicare a Cheirón, oba se shodným zastoupením 15,49 % (11 odpovědí). Následuje Hamilton Medical, jehož filtry používá 14,08 % pracovišť (10 odpovědí), dále Draeger s 7,04 % (5 odpovědí), Teleflex s 4,23 % (3 odpovědi) a Medtronic s 2,82 % (2 odpovědi). Výrobce ASQA používá pouze jedno pracoviště, což představuje 1,41 %. Možnost „jiné“ zvolilo 12,68 % pracovišť (9 odpovědí). Z nich dvě uvedli, že nevědí, od jakých výrobců filtry odebírají. Další dvě neuvedli konkrétního výrobce, protože se na jejich pracovištích výrobce filtrů často mění. Mezi ostatními výrobci byly zmíněny filtry od AMI, Altech a Covidien.

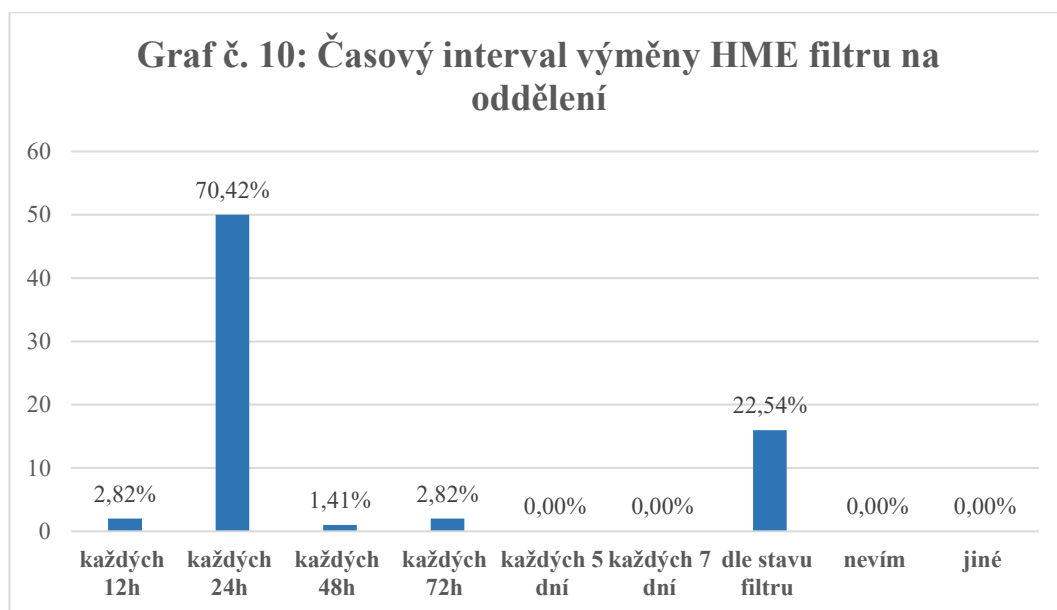
Otázka č. 9: Jak často doporučuje výrobce výměnu HME filtru?



Zdroj: vlastní zpracování

Výrobci HME filtrů nejčastěji doporučují výměnu každých 24 hodin, což uvedlo 73,24 % pracovišť (52 odpovědí). Dále 16,90 % pracovišť (12 odpovědí) označilo, že výměna je doporučována dle stavu filtru – při zanesení, ucpání nebo známkách nefunkčnosti. Výměnu každých 72 hodin uvedlo 5,63 % pracovišť (4 odpovědi) a pouze jedno 1,41 % uvedlo doporučení výměny každých 12 hodin. Žádné z pracovišť nezvolilo možnosti výměny každých 48 hodin, 5 dní, 7 dní ani jiné frekvence výměny. Možnost „nevím“ byla označena 2,82 % pracovišti (2 odpovědi).

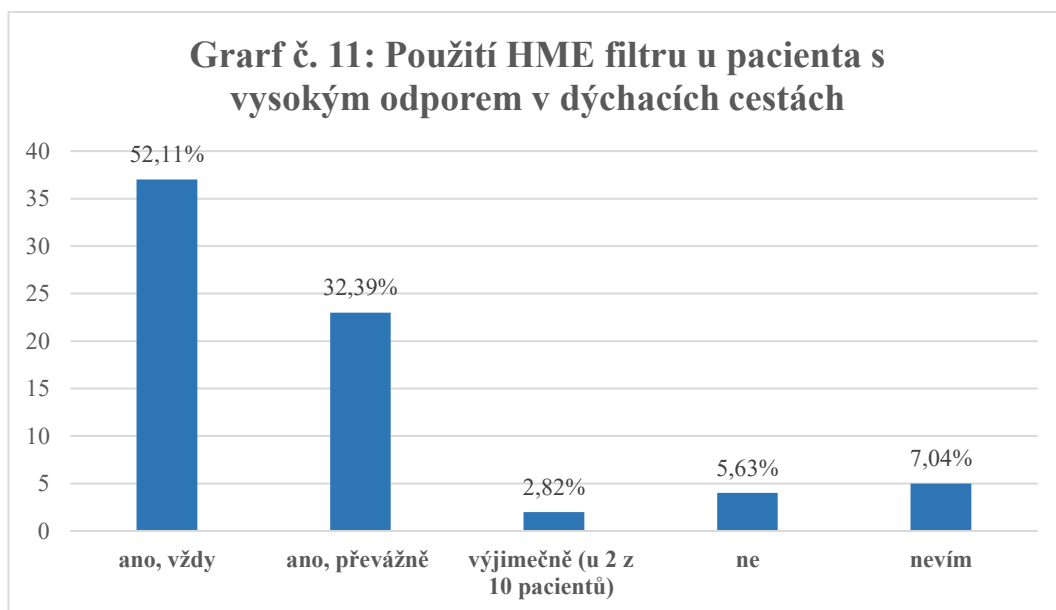
Otázka č. 10: Jak často měníte HME filtry na pracovišti?



Zdroj: vlastní zpracování

Na většině pracovišť jsou HME filtry měněny každých 24 hodin, což uvedlo 70,42 % respondentů (50 odpovědí). Výměnu dle stavu filtru provádí 22,54 % pracovišť (16 odpovědí). Frekvenci výměny každých 12 hodin i každých 72 hodin shodně uvedlo 2,82 % respondentů (2 odpovědi). Pouze jedno pracoviště 1,41 % mění filtry každých 48 hodin. Žádný respondent nevolil možnosti výměny každých 5 dní, 7 dní ani jiné frekvence. Stejně tak nebyla označena možnost „nevím“.

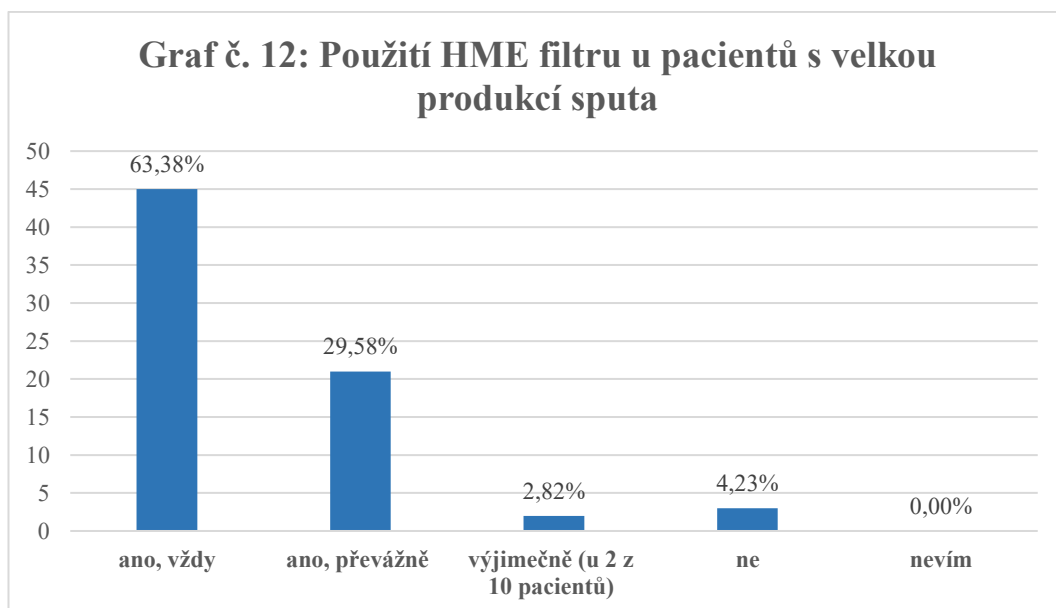
Otázka č. 11: Používáte na Vašem oddělení HME filtr u pacientů s přítomností vysokého odporu v dýchacích cestách pacienta?



Zdroj: vlastní zpracování

Na většině oddělení používají HME filtr u pacientů s přítomností vysokého odporu v dýchacích cestách vždy, tuto odpověď uvedlo 52,11 % respondentů (37 odpovědí). Převážně používají HME filtry u těchto pacientů na 32,39 % pracovištích (23 odpovědí). Výjimečné použití (u 2 z 10 pacientů) zmínilo 2,82 % respondentů (2 odpovědi). Možnost „ne“ zvolilo 5,63 % respondentů (4 odpovědi) a 7,04 % respondentů (5 odpovědí) uvedlo, že neví.

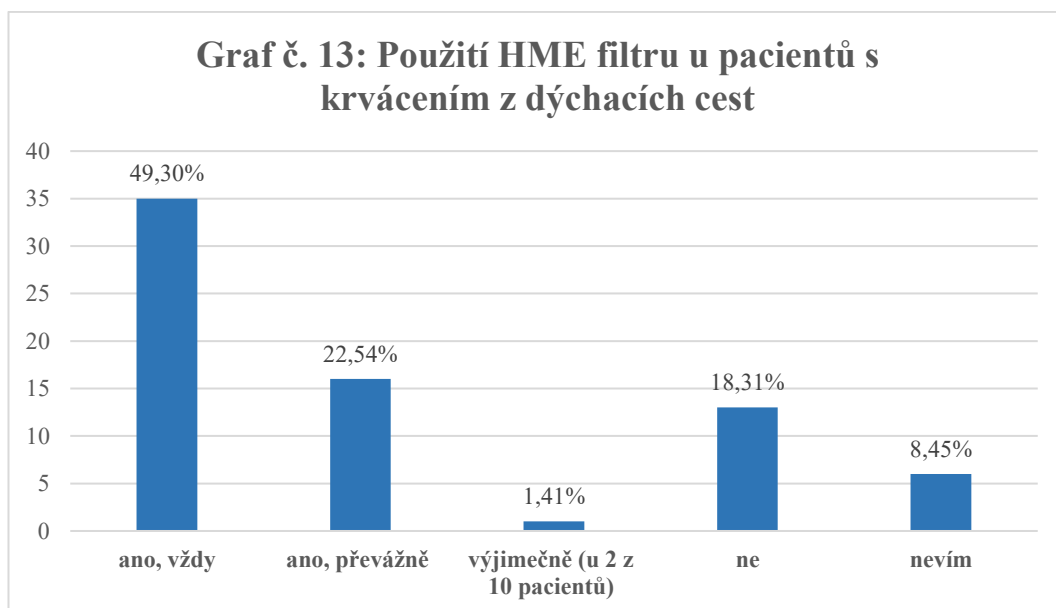
Otázka č. 12: Používáte HME filtr u pacientů s velkou produkcí hustého bronchiálního sekretu?



Zdroj: vlastní zpracování

HME filtr u pacientů s velkou produkcí hustého bronchiálního sekretu je na většině oddělení používán vždy, to uvedlo 63,38 % respondentů (45 odpovědí). Převážně používá HME filtry u pacientů s velkou produkcí hustého bronchiálního sekretu 29,58 % pracovišť (21 odpovědí). Výjimečné použití (u 2 z 10 pacientů) uvedlo 2,82 % pracovišť (2 odpovědi). Možnost „ne“ zvolilo 4,23 % respondentů (3 odpovědi), a žádný respondent nezvolil možnost „nevím“.

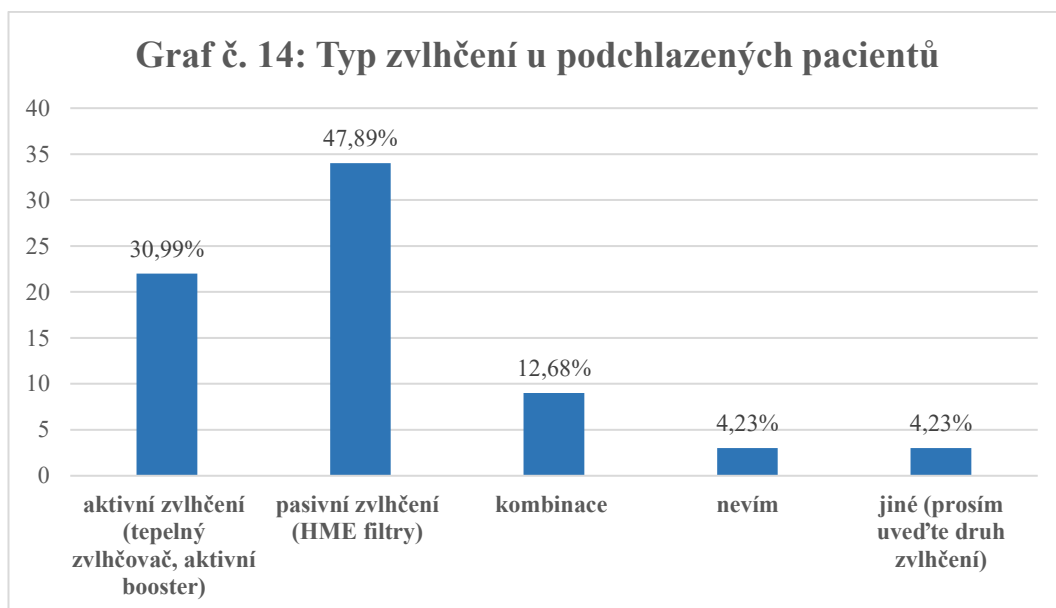
Otázka č. 13: Používáte HME filtr u pacienta s masivním krvácením z dýchacích cest?



Zdroj: vlastní zpracování

HME filtr u pacientů s masivním krvácením z dýchacích cest používá vždy 49,30 % pracovišť (35 respondentů). Převážné používání HME filtrů u těchto pacientů uvedlo 22,54 % respondentů (16 odpovědí). Výjimečné použití (u 2 z 10 pacientů) zvolil pouze jeden respondent 1,41 %. Možnost „ne“ označilo 18,31 % respondentů (13 odpovědí) a 8,45 % respondentů (6 odpovědí) zvolilo možnost „nevím“.

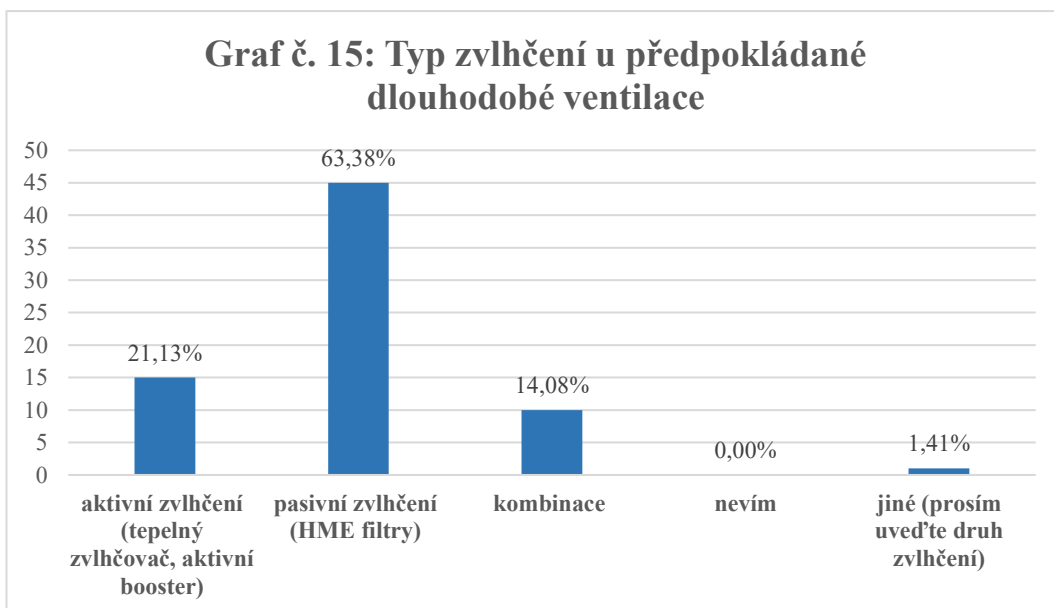
Otázka č. 14: Jaký typ zvlhčení dýchacích cest používáte u pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C?



Zdroj: vlastní zpracování

U pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C je nejčastěji používáno pasivní zvlhčení dýchacích cest pomocí HME filtru, tuto odpověď uvedlo 47,89 % respondentů (34 odpovědi). Aktivní zvlhčení, jako je tepelný zvlhčovač nebo aktivní booster, používá u podchlazených pacientů 30,99 % pracovišť (22 odpovědi). Kombinace obou typů zvlhčení byla označena 12,68 % respondenty (9 odpovědi). Možnost „jiné“ a „nevím“ byly označeny shodně 4,23 % respondentů (3 odpovědi). V možnosti „jiné“ uvedli tři respondenti, že se s takovými pacienty na svém pracovišti neseťkávají.

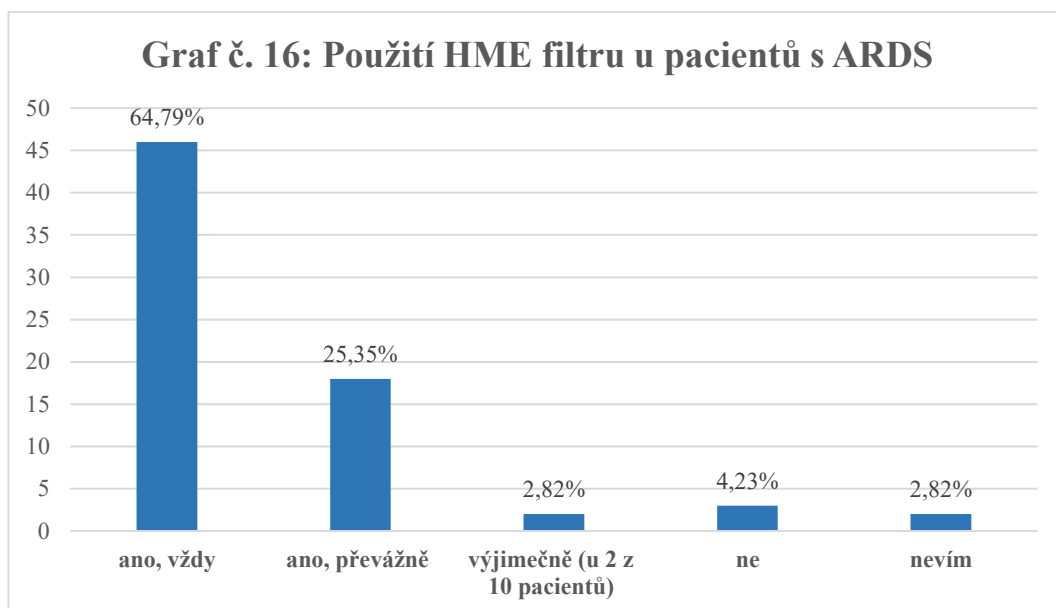
Otázka č. 15: Jaký typ zvlhčení dýchacích cest používáte u pacienta, u kterého je předpoklad dlouhodobé UPV (nad 96 h)



Zdroj: vlastní zpracování

U pacientů, u kterých je předpoklad dlouhodobé umělé plicní ventilace (nad 96 hodin) jsou nejčastěji používány HME filtry a tuto možnost zvolilo 63,38 % respondentů (45 odpovědí). Aktivní zvlhčení u předpokládané dlouhodobé ventilace využívá 21,13 % pracovišť (15 odpovědí). Kombinaci obou typů zvlhčení označilo 14,08 % respondentů (10 odpovědí). Možnost „nevím“ nebyla označena. V možnosti „jiné“ byla uvedena jedna odpověď 1,41 %, kdy respondent uvádí, že druh zvlhčení je zvolen dle indikace lékaře a stavu pacienta, ale většinou je použit HMEF a při potřebě aktivní booster.

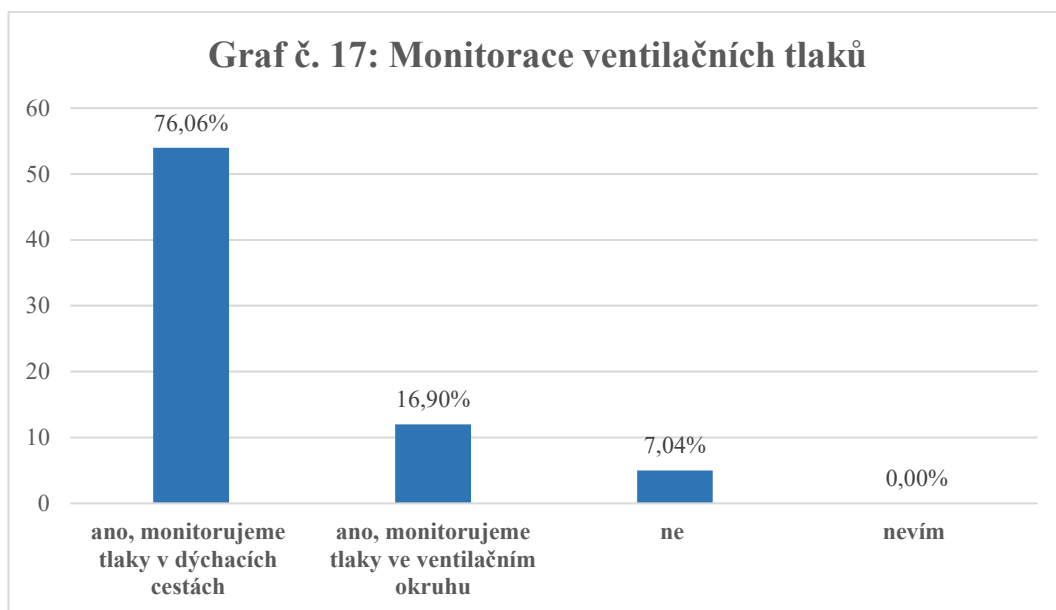
Otázka č. 16: Používáte HME filtr u pacienta s akutním respiračním selháním, který potřebuje vysoké dechové objemy?



Zdroj: vlastní zpracování

HME filtr u pacientů s akutním respiračním selháním, kteří potřebují vysoké dechové objemy, je na většině pracovišť používán vždy, tuto odpověď uvedlo 64,79 % respondentů (46 odpovědí). Převážně používá HME filtry u pacientů s ARDS 25,35 % pracovišť (18 odpovědí). Výjimečné použití (u 2 z 10 pacientů) uvedlo 2,82 % pracovišť (2 odpovědi). Možnost „ne“ zvolilo 4,23 % respondentů (3 odpovědi) a 2,82 % respondentů (2 odpovědi) označilo možnost „nevím“.

Otázka č. 17: Monitorujete ventilační tlaky v souvislosti s umělou plicní ventilací?



Zdroj: vlastní zpracování

Ventilační tlaky v souvislosti s umělou plicní ventilací monitoruje většina pracovišť. Tlaky v dýchacích cestách monitoruje u pacientů na umělé plicní ventilaci 76,06 % pracovišť (54 odpovědí), zatímco tlaky ve ventilačním okruhu jsou monitorovány na 16,90 % pracovištích (12 odpovědí). Ventilační tlaky nemonitorují na 7,04 % pracovištích (5 odpovědí). Možnost „nevím“ neoznačil žádný respondent.

14.1 Statistické vyhodnocení hypotéz

Pro vyhodnocení předem stanovených hypotéz byla data získaná z dotazníkového šetření analyzována pomocí knihovny Scipy, která je určená pro vědecké a statistické výpočty v prostředí Pythonu. Pomocí tohoto nástroje byly provedeny statistické testy zaměřené na vyhodnocení čtyř předem stanovených hypotéz. Konkrétně byl využit u první hypotézy chí – kvadrát test dobré shody u druhé a třetí hypotézy chí – kvadrát test nezávislosti. U čtvrté hypotézy byl využit chí – kvadrát test homogenity. Pro zajištění správných výsledků bylo vyhodnocování hypotéz provedeno ve spolupráci se statistikem. Získaná data byla v programu Microsoft Excel zpracována do grafů.

14.1.1 Výsledek analýzy hypotézy č. 1

H₀₁ – U invazivně ventilovaných nemocných nebude statisticky významný rozdíl ve využívání aktivního zvlhčení a pasivního zvlhčení pomocí HME filtru.

H_{a1} – U invazivně ventilovaných nemocných bude statisticky významný rozdíl ve využívání aktivního zvlhčení a pasivního zvlhčení pomocí HME filtru.

Pro vyhodnocení této hypotézy byla použita data z dotazníku týkající se využívání aktivního a pasivního zvlhčení u invazivně ventilovaných pacientů. Pro analýzu byl použit **chí-kvadrát test dobré shody**, který umožňuje porovnat pozorované četnosti s očekávanými četnostmi. Pozorované četnosti byla data o používání pasivního a aktivního zvlhčení získaná z dotazníku. Očekávané četnosti byly nastaveny jako rovnoměrné rozdělení (50:50), tedy 27 pro obě kategorie.

	aktivní zvlhčení	pasivní zvlhčení
Pozorované četnosti	8	46
Očekávané četnosti	27.0	27.0
Chi2 statistika	26.74074074074074	
P-hodnota	2.3266392076021818e-07	
Rozdíl je statisticky významný, zamítáme H₀₁.		

Tabulka č. 1: Vyhodnocení hypotézy č. 1, zdroj – vlastní zpracování

P-hodnota je extrémně nízká ($p < 0,05$ = hladina významnosti), což znamená, že rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými četnostmi je **statisticky významný**. Na základě tohoto výsledku byla zamítnuta nulová hypotéza (**H₀₁**) a byla přijata alternativní hypotézu (**H_{a1}**).

Výsledky analýzy tedy ukázaly, že u invazivně ventilovaných pacientů existuje **statisticky významný rozdíl** ve využívání aktivního a pasivního zvlhčení pomocí HME filtru.

14.1.2 Výsledek analýzy hypotézy č. 2

H₀₂ – Nebude statisticky významný rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest na základě toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař.

H_{a2} – Bude statisticky významný rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest na základě toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař.

Druhá hypotéza byla zaměřena na zkoumání, zda existuje statisticky významný rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest na základě toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař. Pro vyhodnocení této hypotézy byl použit **chí-kvadrát test nezávislosti**, který testuje, zda existuje závislost mezi dvěma proměnnými – indikující osoba (NLZP nebo lékař) a typ zvlhčení (aktivní nebo pasivní). Data jsou zpracovány do přehledné kontingenční tabulky.

Kontingenční tabulka:		
Indikující osoba	aktivní zvlhčení	pasivní zvlhčení
NLZP	3	9
Lékař	5	37
Výsledky chí-kvadrát testu:		
Chi2 statistika	0.4428377329192546	
P-hodnota	0.5057559730558663	
Stupně volnosti	1	
Očekávané četnosti:		
Indikující osoba	aktivní zvlhčení	pasivní zvlhčení
NLZP	1.7777777777777777	10.222222222222221
Lékař	6.222222222222222	35.777777777777778
Rozdíl není statisticky významný, nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu (H₀₂).		

Tabulka č. 2: Vyhodnocení hypotézy č. 2, zdroj – vlastní zpracování

Indikující osoba	aktivní zvlhčení	pasivní zvlhčení	celkem	aktivní zvlhčení (%)	pasivní zvlhčení (%)
NLZP	3	9	12	25,00 %	75,00 %
Lékař	5	37	42	11,90 %	88,10 %

Tabulka č. 3: Vyhodnocení hypotézy č. 2, zdroj – vlastní zpracování

P-hodnota je výrazně vyšší než hladina významnosti ($p > 0,05$), což znamená, že rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými četnostmi **není statisticky významný**. Na základě tohoto výsledku nebyla zamítnuta nulová hypotéza (**H₀₂**) a nebyla přijata alternativní hypotéza (**H_{a2}**).

Výsledky analýzy tedy ukazují, že mezi NLZP a lékaři **není statisticky významný** rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest u invazivně ventilovaných nemocných.

14.1.3 Výsledek analýzy hypotézy č. 3

H₀₃ – Frekvence výměny HME filtru se nebude statisticky významně lišit od doporučení výrobce.

H_{a3} – Frekvence výměny HME filtru se bude statisticky významně lišit od doporučení výrobce.

Třetí hypotéza zkoumá, zda frekvence výměny HME filtru v praxi odpovídá doporučením výrobce, nebo zda se od nich statisticky významně liší. I v tomto případě byl použit **chí-kvadrát test nezávislosti**, protože cílem bylo analyzovat vztah mezi dvěma proměnnými. První proměnnou byla frekvence výměny HME filtru dle doporučení výrobce (dle stavu filtru, každých 12 hodin, každých 24 hodin, ...) a druhou proměnnou byla data získaná z dotazníků, která zjišťovala frekvenci výměny HME filtrů v praxi na jednotlivých odděleních ARO (dle stavu filtru, každých 12 hodin, každých 24 hodin, ...). Data jsou přehledně zpracována v kontingenční tabulce.

Kontingenční tabulka:					
Frekvence výměny	dle stavu filtru	každých 12 h	každých 24 h	každých 72 h	nevím
dle stavu filtru	10	0	5	0	1
každých 12 h	0	1	1	0	0
každých 24 h	2	0	46	1	1
každých 48 h	0	0	0	1	0
každých 72 h	0	0	0	2	0
Výsledky chi-kvadrát testu:					
Chi2 statistika	119.08543269230769				
P-hodnota	8.232988716791039e-18				
Stupně volnosti	16				
Očekávané četnosti:					
Frekvence výměny	dle stavu filtru	každých 12 h	každých 24 h	každých 72 h	nevím
dle stavu filtru	2.704225352	0.2253521126	11.7183098591	0.9014084507	0.4507042253
každých 12 h	0.338028169	0.0281690140	1.46478873239	0.1126760563	0.0563380281
každých 24 h	8.450704225	0.7042253521	36.6197183098	2.8169014084	1.4084507042
každých 48 h	0.169014084	0.0140845070	0.73239436619	0.0563380281	0.0281690140
každých 72 h	0.338028169	0.0281690140	1.46478873239	0.1126760563	0.0563380281
Rozdíl je statisticky významný, zamítáme H₀₃.					

Tabulka č. 4: Vyhodnocení hypotézy č. 3, zdroj – vlastní zpracování

P-hodnota je extrémně nízká ($p < 0,05$ = hladina významnosti), což znamená, že rozdíl mezi pozorovanými a očekávanými četnostmi **je statisticky významný**. Na základě tohoto výsledku byla zamítnuta nulová hypotéza (**H₀₃**) a přijata alternativní hypotéza (**H_{a3}**).

Výsledky analýzy tedy poukazují na to, že frekvence výměny HME filtru v praxi se **statisticky významně liší** od doporučení výrobce.

14.1.4 Výsledek analýzy hypotézy č. 4

Hypotéza č. 4

H₀₄ – Pracoviště ARO dodržují kontraindikace pro použití HME filtrů u invazivně ventilovaných nemocných.

H_{a4} – Pracoviště ARO nedodržují kontraindikace pro použití HME filtrů u invazivně ventilovaných nemocných.

Čtvrtá hypotéza zkoumá, zda pracoviště ARO dodržují kontraindikace pro použití HME filtrů u invazivně ventilovaných nemocných. V dotazníku bylo přítomno pět otázek zkoumajících kontraindikace použití HME filtrů (otázka č. 11, 12, 13, 14 a 16). Odpovědi jednotlivých otázek byly otestovány zvláště pomocí **chí-kvadrát testu homogenity**, který se používá k porovnání rozdělení jedné kategorické proměnné mezi dvěma nebo více nezávislými skupinami. Cílem chí-kvadrát testu homogenity je zjistit, zda je rozdělení této proměnné mezi skupinami stejné (homogenní), nebo zda mezi nimi existují statisticky významné rozdíly.

1. Otázka č. 11: Používáte na Vašem oddělení HME filtr u pacientů s přítomností vysokého odporu v dýchacích cestách pacienta?

H₀: Pracoviště dodržují kontraindikaci (HME filtr se nepoužívá).

H_a: Pracoviště nedodržují kontraindikaci (HME filtr se používá).

P-hodnota: 2.992479000457123e-11

2. Otázka č. 12: Používáte HME filtr u pacientů s velkou produkcí hustého bronchiálního sekretu?

H₀: Pracoviště dodržují kontraindikaci (HME filtr se nepoužívá).

H_a: Pracoviště nedodržují kontraindikaci (HME filtr se používá).

P-hodnota: 4.507799857330199e-13

3. Otázka č. 13: Používáte HME filtr u pacienta s masivním krvácením z dýchacích cest?

- H0: Pracoviště dodržují kontraindikaci (HME filtr se nepoužívá).
- Ha: Pracoviště nedodržují kontraindikaci (HME filtr se používá).

P-hodnota: 4.447664511194771e-06

4. Otázka č. 14: Jaký typ zvlhčení dýchacích cest používáte u pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C?

- H0: Pracoviště dodržují kontraindikaci (používají aktivní zvlhčování).
- Ha: Pracoviště nedodržují kontraindikaci (používají HME filtr).

P-hodnota: 1.2228494929219212e-12

5. Otázka č. 16: Používáte HME filtr u pacienta s akutním respiračním selháním, který potřebuje vysoké dechové objemy?

- H0: Pracoviště dodržují kontraindikaci (HME filtr se nepoužívá).
- Ha: Pracoviště nedodržují kontraindikaci (HME filtr se používá).

P-hodnota: 0.009194683911759687

Ve všech případech je P-hodnota menší než hladina významnosti ($p < 0,05$), což znamená, že nulové hypotézy u jednotlivých otázek byly zamítnuty. Jednotlivé testy tedy poukazují na to, že jednotlivá pracoviště ARO nedodržují kontraindikace pro použití HME filtrů u invazivně ventilovaných pacientů.

14.2 Vyhodnocení výzkumných otázek

Otázka č. 1- Existuje rozdíl ve využívání aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest pomocí HME filtru u invazivně ventilovaných nemocných?

Rozdíl ve využívání aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest je patrný. Častěji je u invazivně ventilovaných nemocných používáno pasivní zvlhčení pomocí HME filtru. Dle výsledků tento typ zvlhčení preferuje 64,79 % pracovišť, zatímco aktivní zvlhčení je preferováno pouze na 11,27 % pracovišť.

Otázka č. 2 - Liší se výběr mezi aktivním a pasivním zvlhčením dýchacích cest podle toho, zda indikaci provádí NLZP nebo lékař?

Výběr typu zvlhčení se liší pouze minimálně podle toho, zda indikaci provádí NLZP či lékař. NLZP indikuje aktivní zvlhčení ve 25 % případů a pasivní zvlhčení

v 75 % případů. Zatímco lékař indikuje aktivní zvlhčení v 11,9 % případů a pasivní zvlhčení v 88,1 % případů. Odchylna mezi výsledky není významná, a proto nelze potvrdit, že by volba typu zvlhčení závisela na tom, kdo indikaci provádí.

Otázka č. 3 - Liší se frekvence výměny HME filtru v praxi od doporučení výrobce?

Frekvence výměny HME filtru v praxi se v 83,10 % případů neliší od doporučení výrobce. Na 4,23 % pracovišť mění filtry dříve, než je výrobcem doporučeno. Dalších 7,04 % pracovišť provádí výměnu filtru dle stavu filtru, i když výrobce doporučuje výměnu po 24 hodinách. Dalších 2,82 % pracovišť mění filtry každých 24 hodin, i když pracoviště uvádí, že výrobce doporučuje výměnu podle stavu filtru. Stejně procento (2,82 %) pracovišť neví, jaké doporučení na výměnu filtru výrobce udává.

14.2.1 Vyhodnocení výzkumných podotázek

Podotázka č. 1 - Jaký typ zvlhčení dýchacích cest je preferován u nemocných s předpokladem dlouhodobé ventilace?

U invazivně ventilovaných nemocných s předpokladem dlouhodobé ventilace je na 63,38 % pracovišť preferováno pasivní zvlhčování pomocí HME filtru, zatímco aktivní zvlhčování je upřednostňováno pouze na 21,13 % pracovišť.

Podotázka č. 2 - Jak často jsou pasivní výměníky tepla a vlhkosti používány u invazivně ventilovaných nemocných s rizikem obstrukce filtru v důsledku zvýšené sekrece či masivního krvácení z dýchacích cest?

Pasivní výměníky tepla a vlhkosti jsou u pacientů se zvýšenou produkcí bronchiálního sekretu používány v 93 % případů. U pacientů s masivním krvácením z dýchacích cest jsou využívány v 72 % případů. Celkově jsou tedy HME filtry používány u 82 % invazivně ventilovaných nemocných s rizikem obstrukce HME filtru.

Podotázka č. 3 - Jaký typ zvlhčení dýchacích cest je používán u pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C?

U pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C je ve 47,89 % případů používáno pasivní zvlhčení dýchacích cest, zatímco zvlhčení dýchacích cest pomocí aktivní zvlhčení je používáno ve 30,99 % případů.

15 Diskuze

Hlavním cílem této práce bylo zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti u invazivně ventilovaných nemocných na anesteziologicko – resuscitačních pracovištích v České republice a zároveň ověřit, zda je jejich použití v souladu s nejnovějšími doporučeními odborných zdrojů.

Výsledky dotazníkového šetření ukázaly významný statistický rozdíl v preferenci typu zvlhčení dýchacích cest. Na 64,79 % pracovišť je primárně používáno pasivní zvlhčení pomocí HME filtru, zatímco aktivní zvlhčení je upřednostňováno pouze na 21,13 % pracovišť. Tento výsledek může být ovlivněn několika faktory jako je jednoduchost, praktické použití HME filtru, snadné použití během transportu a eliminace rizika popálení dýchacích cest, které může nastat při nesprávném nastavení aktivního zvlhčovače. Dalším důležitým faktorem může být nižší finanční náročnost HME filtrů, které mají nižší pořizovací cenu i provozní náklady oproti aktivnímu zvlhčení, který vyžaduje k provozu finančně náročnější příslušenství jako jsou zásobníky sterilní vody a vyhřívané hadice. (50, 51)

Z výsledků nelze jednoznačně zjistit, zda je na jednotlivých pracovištích typ zvlhčení striktně daný, ale převaha jednoho typu zvlhčení na většině pracovišť může naznačovat, že se jedná o standardizované postupy, kdy typ zvlhčení není volen dle individuálních potřeb daného pacienta, ale je předem stanoven.

Z celkového počtu dotazovaných pracovišť v otázce: „Jaký druh zvlhčení dýchacích cest u pacientů na umělé plicní ventilaci při invazivním zajištění dýchacích cest používáte nejčastěji?“ označilo 23,94 % pracovišť odpověď „kombinaci“. Tuto možnost odpovědi je potřeba interpretovat s určitou rezervou, jelikož mohlo dojít k jejímu chybnému pochopení či nesprávné formulaci samotné otázky.

Tato odpověď mohla být pochopena dvěma způsoby. Jako první možnost je předpoklad, že jsou oba typy zvlhčení kombinovány a používány současně v jednom ventilačním okruhu. Tuto kombinaci obou typů zvlhčení dle odborné literatury rozhodně nelze doporučit, protože v případě kombinace HME filtru s HH se membrána HME nasytí vodní párou v důsledku vysoké vlhkosti medicínálních plynů odcházejících z HH během inspirační fáze a způsobí tak náhlé zvýšení tlaku

v dýchacích cestách, snížení minutového objemu a desaturaci pacienta. Kombinace HME a HH může způsobit během 24 hodin úplnou okluzi dýchacích cest a následky mohou být až fatální. (31) (32)

Na některých oddělení nemusí být výhradně upřednostňováno ani pasivní, ani aktivní zvlhčení, a tyto oddělení mohly zvolit možnost odpovědi „kombinace“, protože využívají oba typy a nelze jasně stanovit, jaký typ využívají častěji. Tento význam odpovědi mohl být chybně pochopen nebo byla otázka a jednotlivé odpovědi špatně formulovány. V tomto případě by však výsledky mohly naznačovat, že tyto pracoviště volí typ zvlhčení dle individuálních potřeb pacienta.

Dále výsledky výzkumu ukazují, že není statisticky významný rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního a pasivního zvlhčení dýchacích cest u invazivně ventilovaných nemocných na základě toho, zda indikaci provádí lékař či NLZP. Obě skupiny zdravotníků přistupují k volbě zvlhčení podobně a nejčastěji indikují pasivní zvlhčení pomocí HME filtru. Na 75 % pracovišť indikace typu zvlhčení dýchacích cest spadá výhradně do kompetencí lékaře, zatímco na 25 % pracovišť rozhoduje o typu zvlhčení NLZP.

NLZP na ARO odděleních k indikaci zvlhčení nemají kompetence dle Vyhlášky č. 55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. (56) V platné legislativě není tedy explicitně vyjádřeno, že NLZP může typ zvlhčení samostatně indikovat. Přesto však může mít každé pracoviště jiné zvyklosti a vnitřní předpisy, které mohou indikaci NLZP umožnit.

Na některých pracovištích nemusí být jednoznačně stanoveno, kdo o typu zvlhčení rozhoduje. To však nebylo možné v dotazníku zachytit, protože respondenti mohli volit pouze jednu ze dvou variant (NLZP X lékař). Je tedy možné, že v tomto případě mohla pracoviště označit odpověď dle převažující praxe, ale realita na pracovišti může být jiná. Předpokládám, že na těchto pracovištích může docházet k nadužívání pasivních výměníků tepla a vlhkosti i v případě jejich kontraindikace, protože se na volbu zvlhčení a jednotlivé kontraindikace nikdo více nesoustředí.

Myslím si, že pro zlepšení celkové situace v používání jednotlivých typů zvlhčení by bylo vhodné, aby NLZP aktivně sledoval účinnost zvlhčení, identifikoval případné kontraindikace a navrhoval typ zvlhčení, který by následně konzultoval s lékařem, který zhodnotí i případné plicní patologie pacienta.

Na základě provedeného výzkumu bylo zjištěno, že frekvence výměny HME filtru v praxi se statisticky významně liší od doporučení výrobce. Toto tvrzení je platné pouze za předpokladu, že respondenti odpovídali správně a opravdu znali doporučenou frekvenci výměny uvedenou výrobcem. Doporučení výrobce je tedy dodržováno na 83,10 % pracovišť. Na 4,23 % pracovišť jsou filtry měněny dříve, než je výrobcem doporučeno. Dřívější výměna filtru, než je doporučena výrobcem může být v některých případech nutná k zajištění jeho správné funkčnosti. Pokud však dochází k dřívější výměně rutinně, může být výměna filtru zbytečná a neefektivní. Zbytečná výměna filtru zvyšuje jak finanční náklady, tak riziko infekce z důvodu častého rozpojení ventilačního okruhu. Zároveň je při časté výměně filtru zvýšena pracovní zátěž zdravotnického personálu a ten je častěji vystaven expozici potenciálně kontaminovanému aerosolu. Při časté výměně filtru dochází i k opakovaným poklesům PEEP, které mohou vést k rozvoji plicního edému a vyústit až ke vzniku akutního cor pulmonale, a proto je třeba benefit výměny filtru důkladně zvážit. (39,43, 44)

Dalších 7,04 % pracovišť provádí výměnu filtru dle stavu filtru, i když výrobce doporučuje výměnu po 24 hodinách. Tato strategie výměny může být výhodná v tom, že umožňuje ponechat filtr ve ventilačním okruhu déle, což snižuje náklady i pracovní zátěž personálu. Dle některých experimentálních dat lze HME filtr ponechat ve ventilačním okruhu 48 h až 1 týden. Za bezpečný interval použití i u pacientů s CHOPN je považován interval výměny 48 h. Tento interval zajišťuje funkčnost filtru pouze za předpokladu dodržování kontraindikací pro použití HME filtrů. Ty však velká část dotazovaných pracovišť nedodržuje a prodloužený interval výměny nemusí být na těchto pracovištích bezpečný. (38, 39, 40) Zároveň však tato strategie výměny závisí na individuálním zhodnocení stavu filtru zdravotnickým personálem, což může vést k odlišným závěrům a filtr může být měněn častěji, než by bylo potřeba a s tím souvisí již zmíněná negativa časté výměny filtru.

Pouze 2,82 % dotazovaných pracovišť uvedlo, že výrobce filtrů, které na oddělení používají, doporučuje výměnu podle stavu filtru. Na oddělení však výměnu provádí rutinně každých 24 hodin. Stejně procento (2,82 %) pracovišť odpovědělo, že neví, jaké doporučení na výměnu filtru výrobce udává. Přestože

většina výrobců doporučuje interval výměny 24 h, ne všichni výrobci uvádí pevně stanovený interval výměny. Z toho důvodu se v případě těchto pracovišť nemusí jednat o neznalost doporučení, ale spíše o situaci, kdy výrobce pokyny k výměně neudává.

Provedený výzkum tedy dokazuje, že v praxi existují odlišné strategie výměny HME filtrů a frekvence jejich výměny není na pracovištích jednotná.

Použití HME filtru je dle AARC kontraindikováno u pacientů s přítomností vysokého odporu v dýchacích cestách, u pacientů s produkcí hustého bronchiálního sekretu, u pacientů s masivním krvácením z dýchacích cest, u pacientů s teplotou tělesného jádra pod 32 °C a u pacientů s ARDS, u kterých jsou potřeba vysoké dechové objemy. (19) Ve všech těchto případech bylo zjištěno, že se HME filtry v praxi používají, jejich použití výrazně převažuje oproti aktivnímu zvlhčení a jednotlivé kontraindikace pro použití HME filtrů nejsou dodržovány.

Pasivní výměníky tepla a vlhkosti jsou u pacientů se zvýšenou produkcí bronchiálního sekretu používány v 93 % případů a u pacientů s masivním krvácením z dýchacích cest jsou využívány v 72 % případů. Hustý či krvavý sekret z dýchacích cest je rizikovým faktorem vzniku okluze filtru a následně i endotracheální kanyly. Použití HME filtru u těchto pacientů riziko okluze více umocňuje, a proto je tento typ zvlhčení kontraindikovaný. Tyto výsledky naznačují, že si zdravotníci o trochu více uvědomují rizika spojená s použitím HME filtru u pacientů s masivním krvácením z dýchacích cest než u pacientů se zvýšenou produkcí bronchiálního sekretu, přestože riziko okluze filtru a endotracheální kanyly je v obou případech velmi podobné.

Okluze endotracheální kanyly může být život ohrožující a může mít za následek zvýšenou morbiditu, včetně pneumonie či plicního edému. Důležité je včasné rozpoznání a prevence. Okluzi je možné rozpoznat na základě narůstajícího špičkového tlaku v dýchacích cestách. (57) Bylo zjištěno, že ventilační tlaky v dýchacích cestách monitoruje pouze 76,06 % pracovišť a na ostatních pracovištích tak nemusí dojít k včasnému rozpoznání okluze, protože tlaky v dýchacích cestách nemonitorují.

Pasivní zvlhčení pomocí HME filtru je v praxi využíváno i u hypotermických pacientů s teplotou tělesného jádra pod 32 °C na 47,89 % pracovišť, a to i přes to, že se jedná o kontraindikaci. Použití není doporučeno proto, že u hypotermického

pacienta je z důvodu nízké tělesné teploty snížena produkce tepla, a tak nemůže filtr teplo zachytit a následně uvolnit při dalším inspiriu. HME filtr tedy nezajistí dostatečné zvlhčení dýchacích cest. U těchto pacientů by mělo být výhradně použito aktivní zvlhčení, které teplo aktivně vytváří a dle výsledků ho využívá pouze 30,99 % pracovišť.

Další možnou odpovědí byla odpověď „kombinace“, která i v tomto případě mohla být respondenty pochopena odlišně. Tuto možnost označilo 12,68 % respondentů. V případě, že používají oba typy zvlhčení současně v jednom ventilačním okruhu, jedná se o chybné používání s možnými fatálními následky, které byly již zmíněny. Ve druhém případě používají na pracovištích aktivní výměník tepla a vlhkosti, který je složen z HME filtru se speciální membránou a malého ohřivače, a proto označili tuto odpověď. (2) (7) V tomto případě se jedná o správné použití, protože aktivní HME je u pacientů s hypotermií doporučován. Dále je možné, že respondenti neznali tento typ zvlhčení pod názvem aktivní booster, a proto neoznačili odpověď „aktivní zvlhčení (tepelný zvlhčovač, aktivní booster)“ a místo toho zvolili odpověď „kombinace“

Použití pasivního výměníku tepla a vlhkosti je doporučeno u pacientů, u kterých se předpokládá krátkodobá ventilace. V případě dlouhodobé ventilace (od 96 hodin – více) je doporučováno aktivní zvlhčení k zajištění optimálního zvlhčení dýchacích cest. (19) Toto doporučení však respektuje pouze 21,13 % dotazovaných pracovišť a používá aktivní zvlhčení, zatímco 63,38 % pracovišť preferuje v tomto případě zvlhčení pasivní.

Hlavní cíl této práce byl splněn a podařilo se zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti. Toto téma považuji za vysoce aktuální a v klinické praxi málo rozšířené. Problematika zvlhčení dýchacích cest u invazivně ventilovaných pacientů není dostatečně známá, což potvrzují výsledky výzkumu. Silnou stránkou výzkumu je vysoká návratnost dotazníků (74 %) a získání silných dat, které odhalují významné nedostatky ve volbě typu zvlhčení a nadužívání pasivních výměníků tepla a vlhkosti v klinické praxi. Teoretická část této práce obsahuje přehledné, jasné a ucelené informace o této problematice, a tak může sloužit jako vzdělávací materiál.

Současně vnímám, že tento výzkum má určitá omezení. Jedním z omezení může být zvolený způsob získávání informací pomocí online anonymního

dotazníkového šetření, které nemuselo přinést úplně přesné a pravdivé informace. Anonymita a neosobní přístup mohly vést k tomu, že vrchní nebo staniční sestry neodpovídaly za jednotlivá pracoviště upřímně, což by mohlo výsledná data zkreslit. Navíc u online dotazování nebylo možné kontrolovat, zda byl dotazník vyplněn za pracoviště pouze jednou. Další slabou stránkou výzkumu je nejasná či nepřesná formulace některých otázek a odpovědí, které mohly být pochopeny odlišně, a tak nelze výsledky správně interpretovat. Další nevýhodou mohlo být zaměření výzkumu na kvantitativní data, což neumožnilo jednotlivým pracovištím doplnit podrobnější informace a byl možný výběr pouze jedné možnosti. Výsledná data nebylo možné porovnat s žádným podobným výzkumem, protože během rešerše odborných zdrojů nebyl nalezen žádný výzkum zaměřený na použití HME filtrů v praxi. Doporučuji provést další výzkumy v této oblasti.

15.1 Doporučení pro klinickou praxi

Výsledky výzkumu ukazují, že jsou pasivní výměníky tepla a vlhkosti v klinické praxi často nadužívané, a to i v případech, kdy je jejich použití jednoznačně kontraindikováno. Tento přístup může mít negativní dopad na kvalitu péče a bezpečnost pacientů. Proto by bylo vhodné provést další výzkum, který by se zaměřil na důvody nedodržování kontraindikací. Cílem by bylo zjistit, zda se jedná o ekonomické důvody, zavedené postupy pracoviště bez možnosti individuální volby typu zvlhčení či o nedostatečné povědomí zdravotnického personálu i lékařů o kontraindikacích.

Ke zvýšení povědomí o kontraindikacích použití HME filtrů by mohl přispět i stručný a přehledný informační leták, který by jasně znázorňoval situace, ve kterých by mělo být upřednostňováno použití aktivního zvlhčení. Návrh takového informačního letáku jsem vytvořila a je uveden v Příloze č. 1. Aby měl tento informační leták skutečný dopad na praxi používání HME filtrů, bylo by dobré, kdyby se dostal do povědomí široké odborné veřejnosti pod záštitou odborné společnosti jako je Česká společnost intenzivní medicíny nebo Česká asociace sester.

Celkově by mohla být užitečná pravidelná školení lékařů a NLZP o typech zvlhčení a jejich použití v praxi.

Dále vnímám potřebu dalších experimentální dat, která by potvrdila možnost bezpečného prodloužení intervalu výměny HME filtru.

Pro zlepšení celkové situace v používání jednotlivých typů zvlhčení by mělo být jasně stanoveno, kdo je za volbu zvlhčení zodpovědný – zda je tato kompetence výhradně na lékaři, nebo zda se na výběru typu zvlhčení bude aktivně podílet i NLZP. Vzhledem k tomu že je NLZP s pacientem v přímém kontaktu po delší dobu a hodnotí množství bronchiálního sekretu, aktuální stav ventilace a další parametry, bylo by vhodné, aby se právě NLZP na volbu typu zvlhčení více soustředil. Aktivně by sledoval účinnost zvlhčení, identifikoval případné kontraindikace a navrhoval typ zvlhčení, který by následně konzultoval s lékařem a ten by zhodnotil i případné plicní patologie pacienta.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zmapovat aktuální praxi používání pasivních výměníků tepla a vlhkosti u invazivně ventilovaných nemocných na anesteziologicko – resuscitačních pracovištích v České republice a zároveň ověřit, zda je používání těchto výměníků v souladu s doporučeními odborných zdrojů.

Jednalo se konkrétně o kvantitativní výzkum realizovaný prostřednictvím anonymního online dotazníku, distribuovaného vrchním a staničním sestrami ARO pracovišť. Sběr dat probíhal tři měsíce a výsledkem bylo získání dat od 71 pracovišť (74% návratnost), která ukázala, že pasivní zvlhčení pomocí HME filtrů je preferovaným typem zvlhčení dýchacích cest na většině pracovišť. Dle výsledků nebyl zjištěn rozdíl v procentuálním zastoupení použití aktivního či pasivního zvlhčení na základě toho, zda indikaci provádí lékař či NLZP. Obě skupiny nejčastěji indikují pasivní zvlhčení. Dále bylo zjištěno, že frekvence výměny HME filtru se statisticky významně liší od doporučení výrobce a v praxi tak existují odlišné strategie výměny filtrů. Výsledky výzkumu také ukazují, že jsou pasivní výměníky tepla a vlhkosti nadužívány, a to i v případech, kdy je jejich použití dle nejnovějších doporučení kontraindikováno.

Pro zlepšení péče a minimalizaci komplikací, by měl být typ zvlhčení volen dle individuálních potřeb daného pacienta s ohledem na výhody, nevýhody a kontraindikace jednotlivých typů zvlhčení.

Seznam použité literatury

- (1) MCNULTY, G. a EYRE, L. Humidification in anaesthesia and critical care. *BJA Education*. 2015, roč. 15, č. 3, s. 131–135. DOI: 10.1093/bjaceaccp/mku022.
- (2) PLOTNIKOW, G. A., ACCOCE, M., NAVARRO, E. a TIRIBELLI, N. Humidification and heating of inhaled gas in patients with artificial airway: A narrative review. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*. 2018, roč. 30, č. 1, s. 86–97. ISSN 1982-4335. DOI: 10.5935/0103-507x.20180015.
- (3) RE, R., LASSOLA, S., DE ROSA, S. a BELLANI, G. Humidification during invasive and non-invasive ventilation: A starting tool kit for correct setting. *Medical Sciences (Basel)*. 2024, roč. 12, č. 2, s. 26. DOI: 10.3390/medsci12020026.
- (4) COLE, P. Some aspects of temperature, moisture and heat relationships in the upper respiratory tract. *J Laryngol Otol*. 1953, roč. 67, č. 8, s. 449–456. DOI: 10.1017/s0022215100048908.
- (5) AL ASHRY, H. S. a MODRYKAMIEN, A. M. Humidification during mechanical ventilation in the adult patient. *BioMed Research International*. 2014, roč. 2014, s. 715434. ISSN 2314-6141. DOI: 10.1155/2014/715434.
- (6) IRAVANI, J. a NORRIS MELVILLE, G. Mucociliary function in the respiratory tract as influenced by physicochemical factors. *Pharmacology & Therapeutics. Part B: General and Systematic Pharmacology*. 1976, roč. 2, č. 3, s. 471–492. DOI: 10.1016/0306-039x(76)90003-9.
- (7) CARVALHO, J. a CARVALHO, C. Humidification in mechanically ventilated patients and selection of devices. In: ESQUINAS, A. M., ed. *Humidification in the Intensive Care Unit: The Essentials*. 2. vyd. Springer, 2023, s. 59–65. ISBN 978-3-031-23953-3. DOI: 10.1007/978-3-031-23953-3.
- (8) SCHENA, E., SACCOMANDI, P., CAPPELLI, S. a SILVESTRI, S. Mechanical ventilation with heated humidifiers: measurements of condensed water mass within the breathing circuit according to ventilatory settings. *Physiological Measurement*. 2013, roč. 34, č. 7, s. 813–821. DOI: 10.1088/0967-3334/34/7/813.

- (9) SEO, H., KIM, S. H., CHOI, J. H., HONG, J. Y. a HWANG, J. H. Effect of heated humidified ventilation on bronchial mucus transport velocity in general anaesthesia: a randomized trial. *The Journal of International Medical Research*. 2014, roč. 42, č. 6, s. 1222–1231. ISSN 1473-2300. DOI: 10.1177/0300060514548291.
- (10) DOYLE, A., JOSHI, M., FRANK, P., CRAVEN, T., MOONDI, P. et al. A change in humidification system can eliminate endotracheal tube occlusion. *Journal of Critical Care*. 2011, roč. 26, č. 6, s. 637.e1–637.e4. ISSN 0883-9441. DOI: 10.1016/j.jcrc.2011.02.004.
- (11) CHALON, J., LOEW, D. A. Y. a MALEBRANCHE, J. Effects of dry anesthetic gases on tracheobronchial ciliated epithelium. *Anesthesiology*. 1972, roč. 37, č. 3, s. 338–343. DOI: 10.1097/00000542-197209000-00010.
- (12) WILKES, A. R. Heat and moisture exchangers and breathing system filters: their use in anaesthesia and intensive care. Part 1 - history, principles and efficiency. *Anaesthesia*. 2011, roč. 66, č. 1, s. 31–39. ISSN 1365-2044. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2010.06563.x.
- (13) LASSEN, H. C. A. A preliminary report on the 1952 epidemic of poliomyelitis in Copenhagen with special reference to the treatment of acute respiratory insufficiency. *The Lancet*. 1953, roč. 261, č. 6749, s. 37–41. DOI: 10.1016/s0140-6736(53)92530-6.
- (14) MARSHALL, J. a SPALDING, J. M. K. Humidification in positive-pressure respiration for bulbospinal paralysis. *The Lancet*. 1953, roč. 262, č. 6794, s. 1022–1024. DOI: 10.1016/s0140-6736(53)91311-7.
- (15) WALLEY, R. V. Humidifier for use with tracheotomy and positive-pressure respiration. *The Lancet*. 1956, roč. 270, č. 6926, s. 781–782. DOI: 10.1016/s0140-
- (16) KOCH, H., ALLANDER, C., INGELSTEDT, S. a TOREMALM, N. G. A method for humidifying inspired air in posttracheotomy care. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*. 1958, roč. 67, č. 4, s. 991–1004. DOI: 10.1177/000348945806700409.

- (17) DÉRY, R., PELLETIER, J., JACQUES, A., CLAVET, M. a HOUDE, J. J. Humidity in anaesthesiology. 3. Heat and moisture patterns in the respiratory tract during anaesthesia with the semi-closed system. *Canadian Anaesthetists' Society Journal*. 1967, roč. 14, č. 4, s. 287–298. DOI: 10.1007/BF03003698.
- (18) CHAMNEY, A. R. Humidification requirements and techniques. Including a review of the performance of equipment in current use. *Anaesthesia*. 1969, roč. 24, č. 4, s. 602–617. DOI: 10.1111/j.1365-2044.1969.tb02914.x.
- (19) American Association for respiratory care, RESTREPO, R. D. a WALSH, B. K. Humidification during invasive and noninvasive mechanical ventilation: 2012. *Respiratory Care*. 2012, roč. 57, č. 5, s. 782–788. DOI: 10.4187/respcare.01766.
- (20) LÍNKOVÁ, Š., RAMBOUSKOVÁ, K., JIROUTKOVÁ, K. a DUŠKA, F. Výměníky tepla a vlhkosti v intenzivní péči: výhody a rizika jejich používání u mechanicky ventilovaných kriticky nemocných. *Anesteziologie a intenzivní medicína*. 2024, roč. 35, č. 1, s. 31–37. DOI: 10.36290/aim.2024.001.
- (21) 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, 2009.
- (22) GROSS, J. L. a PARK, G. R. Humidification of inspired gases during mechanical ventilation. *Minerva Anesthesiologica*. 2012, roč. 78, s. 496–502.
- (23) BRANSON, R. D., DAVIS, K., CAMPBELL, R. S., JOHNSON, D. J. a POREMBKA, D. T. Humidification in the Intensive Care Unit. *Chest*. 1993, roč. 104, č. 6, s. 1800–1805. DOI: 10.1378/chest.104.6.1800.
- (24) LUCATO, J. J., TUCCI, M. R., SCHETTINO, G. P., ADAMS, A. B., FU, C., FORTI, G. Jr. et al. Evaluation of resistance in 8 different heat-and-moisture exchangers: effects of saturation and flow rate/profile. *Respiratory Care*. 2005, roč. 50, č. 5, s. 636–643.

- (25) BRANSON, R. D. Secretion management in the mechanically ventilated patient. *Respiratory Care*. 2007, roč. 52, č. 10, s. 1328–1342.
- (26) DEWASURENDRA, A. M. a MCHUGH, S. M. High peak inspiratory pressures after a change of heat and moisture exchangers: A case series. *A A Practice*. 2021, roč. 15, č. 6, s. e01483. DOI: 10.1213/XAA.0000000000001483.
- (27) 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, roč. 100, č. 36, s. e27199. DOI: 10.1097/MD.00000000000027199.
- (28) JEAN-DAMIEN, RICARD. Humidification during invasive mechanical ventilation: selection of device and replacement. In: ESQUINAS, A. M., ed. *Humidification in the Intensive Care Unit: The Essentials*. 2. vyd. Springer, 2023, s. 151–156. ISBN 978-3-031-23953-3. DOI: 10.1007/978-3-031-23953-3.
- (29) GOODFELLOW, L. T., MILLER, A. G., VAREKOJIS, S. M., LAVITA, C. J., GLOGOWSKI, J. T. et al. AARC Clinical Practice Guideline: Patient-Ventilator Assessment. *Respiratory Care*. 2024, roč. 69, č. 8, s. 1042–1054. ISSN 1943-3654. DOI: 10.4187/respcare.12007.
- (30) RICARD, J.-D., LE MIÈRE, E., MARKOWICZ, P., LASRY, S., SAUMON, G., DJEDAÏNI, K., COSTE, F. a DREYFUSS, D. Efficiency and safety of mechanical ventilation with a heat and moisture exchanger changed only once a week. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2000, roč. 161, č. 1, s. 104–109. ISSN 1073-449X. DOI: 10.1164/ajrccm.161.1.9902062.
- (31) PATEL, V., MARIYASELVAM, M. Z. A., PEUTHERER, C. a YOUNG, P. J. Accidental dual humidification in intensive care units: Repeated alerts and system changes are not enough. *Journal of Critical Care*. 2018, roč. 47, s. 159–163. ISSN 1557-8615. DOI: 10.1016/j.jcrc.2018.06.024.
- (32) PATEL, V., DEAN, J., VAYALIL LAWRENCE, J., SELVANAYAGAM, S., BLUNT, M. C. et al. Humidicare - an implementation study of a novel HME safety

device designed to prevent ventilator circuit occlusion due to inadvertent dual humidification. *Journal of Medical Engineering & Technology*. 2021, roč. 45, č. 2, s. 129–135. ISSN 1464-522X. DOI: 10.1080/03091902.2021.1873440.

(33) DOYLE, A., MARIYASELVAM, M., WIJEWARDENA, G., ENGLISH, N., GENT, E. a YOUNG, P. The simultaneous use of a heat and moisture exchanger and a heated humidifier causes critical airway occlusion in less than 24 hours. *Journal of Critical Care*. 2015, roč. 30, č. 4, s. 863.e1–863.e3. DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.03.033.

(34) ARI, A., ALWADEAI, K. S. a FINK, J. B. Effects of heat and moisture exchangers and exhaled humidity on aerosol deposition in a simulated ventilator-dependent adult lung model. *Respiratory Care*. 2017, roč. 62, č. 5, s. 538–543. DOI: 10.4187/respcare.05015.

(35) INTERSURGICAL. Heat and Moisture Exchangers and Filters. [online]. Intersurgical, [cit. 29. 12. 2024]. Dostupné z: <https://www.intersurgical.com/info/HMEsandHMEFs>.

(36) HAMILTON MEDICAL. Use of device-end and HMEF filters on Hamilton Medical ventilators [online]. Bonaduz: Hamilton Medical, 2020 [cit. 29. 12. 2024]. Dostupné z: <https://www.hamilton-medical.com/Resource-center/Article-page~knowledge-base~550fbdf5-947e-44ec-aabf-b4b8c079cdae~.html>.

(37) DRÄGER. Breathing system filter and HME Brochure, CZ. Drägerwerk AG & Co. KGaA, 2022. Dostupné z: https://www.draeger.com/Content/Documents/Products/TwinStar-brochure-DMC-104122-cs_cz-2210-1.pdf.

(38) MARKOWICZ, P., RICARD, J.-D., DREYFUSS, D., MIER, L., BRUN, P., COSTE, F. a DJEDAÏNI, K. Safety, efficacy, and cost-effectiveness of mechanical ventilation with humidifying filters changed every 48 hours: A prospective, randomized study. *Critical Care Medicine*. 2000, roč. 28, č. 3, s. 665–671. DOI: 10.1097/00003246-200003000-00011.

- (39) BOYER, A., THIÉRY, G., LASRY, S., PIGNÉ, E., SALAH, A., DE LASSENCE, A. et al. Long-term mechanical ventilation with hygroscopic heat and moisture exchangers used for 48 hours: A prospective clinical, hygrometric, and bacteriologic study. *Critical Care Medicine*. 2003, roč. 31, č. 3, s. 823–829. DOI: 10.1097/01.CCM.0000055382.87129.DD.
- (40) HESS, D. R. Care of the ventilator circuit and its relation to ventilator-associated pneumonia. *Respiratory Care*. 2003, roč. 48, č. 9, s. 869–879. DOI: 14513820.
- (41) THOMACHOT, L., BOISSON, C., ARNAUD, S., MICHELET, P., CAMBON, S. a MARTIN, C. Changing heat and moisture exchangers after 96 hours rather than after 24 hours: A clinical and microbiological evaluation. *Critical Care Medicine*. 2000, roč. 28, č. 3, s. 714–720. DOI: 10.1097/00003246-200003000-00019.
- (42) KATIRA, B. H., ENGELBERTS, D., OTULAKOWSKI, G., GIESINGER, R. E., YOSHIDA, T., POST, M. et al. Abrupt deflation after sustained inflation causes lung injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2018, roč. 198, č. 9, s. 1165–1176. DOI: 10.1164/rccm.201801-0178OC.
- (43) LI, Y. C., LIN, H. L., LIAO, F. C., WANG, S. S., CHANG, H. C., HSU, H. F. et al. Potential risk for bacterial contamination in conventional reused ventilator systems and disposable closed ventilator-suction systems. *PLoS One*. 2018, roč. 13, č. 3, s. e0194246. DOI: 10.1371/journal.pone.0194246.
- (44) TURBIL, E., TERZI, N., SCHWEBEL, C., COUR, M., ARGAUD, L. a GUÉRIN, C. Does endotracheal 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, roč. 15, č. 3, s. e0230147. DOI: 10.1371/journal.pone.0230147.
- (45) SCHAUF, M. Clamp the ET Tube! In: Emsaiway.com [online]. 18. 2. 2021 [cit. 2025-01-02]. Dostupné z: <https://emsairway.com/2021/02/18/clamp-the-et-tube/>.

- (46) MEHRI, R., ALATRASH, A., OGRODNIK, N., MATIDA, E. A. a FIORENZA, F. In vitro investigation of the Flusso™ Bypass adapter efficiency upon ventilator circuit disconnect in a clinical simulated environment. *Canadian Journal of Respiratory Therapy*. 2020, roč. 56, s. 86–91. DOI: 10.29390/cjrt-2020-033.
- (47) GILLIES, D., TODD, D. A., FOSTER, J. P. a BATUWITAGE, B. T. Heat and moisture exchangers versus heated humidifiers for mechanically ventilated adults and children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017. DOI: 10.1002/14651858.cd004711.pub3.
- (48) FLUSSO™ BY PASS ADAPTER. Flusso. [cit. 2025-01-02]. Dostupné z: <https://www.keepthepeep.com/products/#bypass>.
- (49) VARGAS, M., CHIUMELLO, D., SUTHERASAN, Y., BALL, L., ESQUINAS, A. M., PELOSI, P. a SERVILLO, G. 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. *Critical Care*. 2017, roč. 21, č. 1. DOI: 10.1186/s13054-017-1710-5.
- (50) LELLOUCHE, F., QADER, S., TAILLE, S. et al. Under-humidification and over-humidification during moderate induced hypothermia with usual devices. *Intensive Care Medicine*. 2006, roč. 32, s. 1014–1021. DOI: 10.1007/s00134-006-0192-8.
- (51) SOTTIAUX, T. M. Consequences of under – and over-humidification. *Respiratory Care Clinics of North America*. 2006, roč. 12, č. 2, s. 233–252. DOI: 10.1016/j.rcc.2006.03.010.
- (52) PICAZO, L., GRACIA ARNILLAS, M. P., MUÑOZ-BERMÚDEZ, R., DURÁN, X., ÁLVAREZ LERMA, F. et al. Active humidification in mechanical ventilation is not associated with an increase in respiratory infectious complications in a quasi-experimental pre-post intervention study. *Medicina Intensiva*. 2021, roč. 45, č. 6, s. 354–361. ISSN 2173-5727. DOI: 10.1016/j.medine.2019.11.008.

(53) WILKES, A. R. Heat and moisture exchangers and breathing system filters: their use in anaesthesia and intensive care. Part 2 - practical use, including problems, and their use with paediatric patients. *Anaesthesia*. 2011, roč. 66, č. 1, s. 40–51. ISSN 1365-2044. DOI: 10.1111/j.1365-2044.2010.06564.x.

(54) MENEGUETI, M. G., AUXILIADORA-MARTINS, M. a NUNES, A. A. Effectiveness of heat and moisture exchangers in preventing ventilator-associated pneumonia in critically ill patients: A meta-analysis. *BMC Anesthesiology*. 2014, roč. 14, č. 1. DOI: 10.1186/1471-2253-14-115.

(55) GILLIES, D., TODD, D. A., FOSTER, J. P. a BATUWITAGE, B. T. Heat and moisture exchangers versus heated humidifiers for mechanically ventilated adults and children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017. DOI: 10.1002/14651858.cd004711.pub3.

(56) ČESKO. Vyhláška č. 55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2011, částka 21. Dostupné z: <https://mzd.gov.cz/wp-content/uploads/2022/07/55-2011-aktualni-zneni.pdf>

(57) AL DORZI, H. M., GHANEM, A. G., HEGAZY, M. M., 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 *Annals of Thoracic Medicine*, 2022, roč. 17, č. 1, s. 37–43. DOI: 10.4103/atm.atm_135_21.

Seznam zkratek

AARC – American Association for Respiratory Care (Americká asociace pro respirační péči)

aHME – Active Heat and Moisture Exchanger (Aktivní výměník tepla a vlhkosti)

ARDS – Acute Respiratory Distress Syndrome (Akutní syndrom dechové tísně)

ARO – Anesteziologicko-resuscitační oddělení

CHOPN – Chronická obstrukční plicní nemoc

HME – Heat and Moisture Exchanger (Výměník tepla a vlhkosti)

HME AD – Heat and Moisture Exchanger for aerosol delivery (Výměník tepla a vlhkosti pro podávání aerosolu)

HH – Heated Humidifier (Vyhříváný zvlhčovač)

HWH – Heated Wire Humidification (Zvlhčování s vyhříváním vodičem)

ISB – Isothermic Saturation Boundary (Izotermická saturační hranice)

NLZP – Nelékařský zdravotnický pracovník

PEEP – Positive End-Expiratory Pressure (Pozitivní tlak na konci výdechu)

PH – Passive Humidifier (Pasivní zvlhčovač)

PIP – Peak Inspiratory Pressure (Vrcholový inspirační tlak)

VAP – Ventilator-Associated Pneumonia (Pneumonie spojená s ventilací)

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Allanderův HME složený z ocelových trubiček v plexisklovém pouzdře.....	15
Obrázek č. 2: Aktivní zvlhčovač.....	17
Obrázek č. 3: Heated Wire Humidifier	17
Obrázek č. 4: Umístění HME filtru ve ventilačním okruhu.....	18
Obrázek č. 5: HME filtr	20

Seznam grafů

Graf č. 1: Kraj zdravotnického zařízení	31
Graf č. 2: Typ zdravotnického zařízení.....	32
Graf č. 3: Počet lůžek	33
Graf č. 4: Počet ventilovaných lůžek	34
Graf č. 5: Typ diagnózy	35
Graf č. 6: Typ zvlhčení dýchacích cest	36
Graf č. 7: Indikace typu zvlhčení	37
Graf č. 8: Výrobci HME filtrů.....	38
Graf č. 9: Časový interval výměny HME filtru dle výrobce.....	39
Graf č. 10: Časový interval výměny HME filtru na oddělení.....	40
Graf č. 11: Použití HME filtru u pacientů s vysokým odporem v DC.....	41
Graf č. 12: Použití HME filtru u pacientů s velkou produkcí sputa.....	42
Graf č. 13: Použití HME filtru u pacientů s krvácením z dýchacích cest	43
Graf č. 14: Typ zvlhčení u podchlazených pacientů	44
Graf č. 15: Typ zvlhčení u předpokládané dlouhodobé ventilace.....	45
Graf č. 16: Použití HME filtru u pacientů s ARDS.....	46
Graf č. 17: Monitorace ventilačních tlaků.....	47

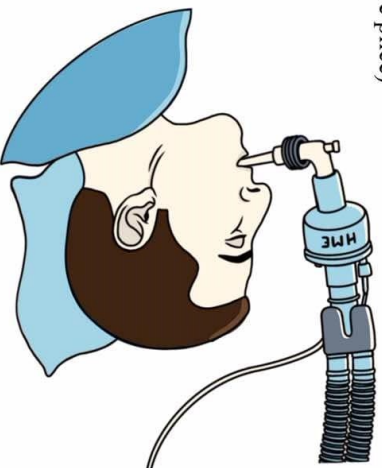
Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Vyhodnocení hypotézy č. 1	48
Tabulka č. 2: Vyhodnocení hypotézy č. 2	49
Tabulka č. 3: Vyhodnocení hypotézy č. 2	50
Tabulka č. 4: Vyhodnocení hypotézy č. 3	51

Použití HME filtrů

Indikace

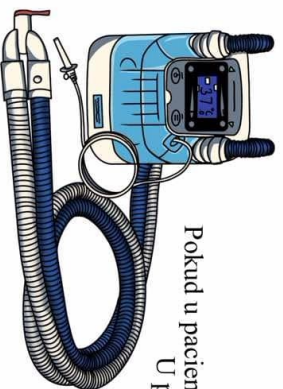
- ✓ předpoklad krátkodobé ventilace (do 96 h)
- ✓ nepřítomnost kontraindikací použití HME filtru (zdravé plicce)
- ✓ transport pacienta



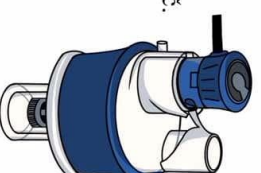
Kontraindikace

- ✗ zvýšená produkce hustého bronchiálního sekretu (riziko ucpání filtru)
- ✗ masivní krvácení z dýchacích cest
- ✗ tělesná teplota pod 32 °C (hypotermie - snížená produkce vlhkosti)
- ✗ vysoké dechové objemy (ARDS, těžké respirační selhání)
- ✗ dlouhodobá ventilace (> 96 hodin)
- ✗ přítomnost vysokého odporu v dýchacích cestách

- ▽ Použití HME filtru by mělo být individuálně zhodnoceno lékařem s ohledem na klinický stav pacienta a možné komplikace.
- Nesprávné použití HME filtru může vést k vážným komplikacím (např. okluze endotracheální kanyly, zvýšená dechová práce pacienta).



Pokud u pacienta zjistíte jakoukoli kontraindikaci použití HME filtru, zvolte aktivní zvlhčovač.
U pacientů s tělesnou teplotou pod 32 °C můžete použít i HME booster.



16 Přílohy

Příloha č.1: Informační leták: Použití HME filtrů