

TRANSPORTNÍ IZOLÁTOR S UZAVŘENOU CÍRKULACÍ VZDUCHU PRO PŘEPRAVU PACIENTŮ S VYSOCE NEBEZPEČNOU INFEKČÍ

TRANSPORT ISOLATOR WITH A CLOSED SYSTEM OF VENTILATION FOR THE TRANSPORTATION OF PATIENTS WITH HIGHLY VIRULENT INFECTION

RADEK BÁRTA¹, PETER BEDNARČÍK²

¹ Rokycanská nemocnice, a. s., Anesteziologicko-resuscitační odd., Rokycany

² Univerzita obrany, Fakulta vojenského zdravotnictví, Hradec Králové

SOUHRN

Transportní izolátor slouží k izolaci a přepravě pacienta s vysoce virulentní nákazou. Musí zajišťovat bezpečnost transportního týmu a úplnou izolaci infekčně nemocného od okolí. Podmínkou úspěšné přepravy je existence spolehlivého transportního izolátoru, který je schopen zabezpečit jak žádoucí bezpečnost, tak základní fyziologické funkce a péči o pacienta během přepravy. V současnosti jsou vyvíjeny přepravní boxy s otevřeným systémem za použití HEPA filtrů. Tyto systémy pracují s průtoky vzduchu kolem 120 l/min. Velkou výměnu vzduchu s okolím nepokryje HEPA filtr se 100% účinností a vzrůstá proto riziko, že infekční agens unikne mimo transportní izolátor. Proto byl navržen a v našem sledování ověřen zcela uzavřený systém ventilace transportního izolátoru, který přináší řadu výhod pacientovi a zvyšuje bezpečnost transportního týmu. Systém umožňuje uzavřenou vnitřní cirkulaci vzduchu s přívodem O₂ s absorpcí CO₂ v natronovém vápně a řadou dalších úprav vnitřního mikroklimatu. Systém spolehlivě splňuje fyziologické a bezpečnostní požadavky. V testech prokázal schopnost zabezpečit fyziologické funkce v řádu hodin.

Klíčová slova: transportní izolátor, pacient s vysoce virulentní infekcí, uzavřený systém ventilace

SUMMARY

The transport isolator is used for the isolation and transportation of a patient with highly virulent infection. It must ensure transport team safety and complete isolation of the infected patient from the surrounding environment. A successful outcome of the transportation depends on the availability of a transport isolator that enables the maintenance of vital functions and safe in-transport care. Transport isolators with an open system of ventilation using HEPA filters have been developed, having an air flow of about 120 litres per minute. Nevertheless, a HEPA filter cannot fully cope with a large air exchange and poses a risk of the infectious agent escaping outside the isolator. Therefore, a completely closed system of ventilation for a transport isolator has been designed and tested: it provides a range of benefits to the patient and increases transport team safety. The system enables closed air ventilation with oxygen supply and carbon dioxide absorption in soda lime and provides micro-climate control options. It reliably meets physiological and safety requirements. When tested, the system proved effective in maintaining vital functions in a matter of hours.

Key words: transport isolator, patients with highly virulent infection, closed system of ventilation

Úvod

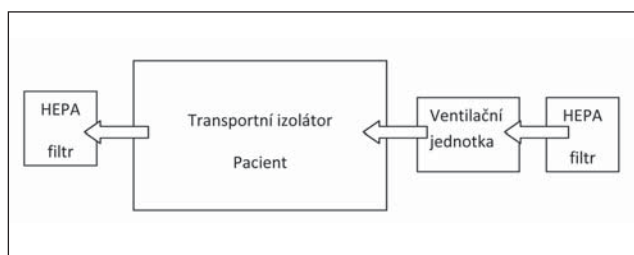
Role mobilních přepravních ochranných prostředků (dále transportní izolátory) při ochraně veřejného zdraví a úplné izolace pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou při jeho transportu je nezastupitelná a nezbytná (3). Mobilní přepravní ochranné prostředky umožňují bezpečný transport osoby s podezřením na vysoce virulentní nákazu nebo osoby zasažené mikrobiologickými prostředky z místa kontaminace do stacionárního zařízení určeného pro léčbu takto postižených (7). Transportní izolátor je možno využít i pro transport pacienta

se sníženou imunitou jako ochranu před infekcí z okolního prostředí.

Praktickou zkušenost s využitím transportních izolátorů máme naštěstí jen z ojedinělých nácviků jejich užití, ale ve specializovaných zařízeních armády a pro potřeby záchranného systému musí být funkční transportní izolátory připraveny k okamžitému použití pro řešení mimořádných situací.

Transport osoby s vysoce nebezpečnou nákazou je v současné době zajišťován transportními izolátory, které vycházejí z původní Trexlerovy konstrukce (US patentový spis č. 4366809 z 8. 10. 1981) (9). K hlavním úko-

lům současných transportních izolátorů patří zamezení úniku infekce od izolovaného pacienta do zevního prostoru. Materiál tvoří různé typy plastických hmot: průhledná část izolátoru umožní výhled pro pacienta, ale hlavně slouží k optické kontrole pro transportní tým. Transportní tým pomocí čtyř rukaviců zakončených rukavicemi ošetřuje uvnitř umístěného pacienta. Výrobci do konstrukce zařazují hermeticky uzavřené vstupy (porty) pro infuzní hadičky či kyslíkovou léčbu. Ventilaci uzavřeného prostoru zajišťuje elektricky poháněná jednotka, která produkuje vzdušný proud o objemu 120–180 dm³/minutu (2). Výstup vzduchu z transportního izolátoru je zajištěn vzduchovými HEPA filtry (High Efficiency Particulate Air Filter). Vzduch vstupující dovnitř je filtrován rovněž stejným způsobem. Vlhkostní, tepelné a kapacitní možnosti HEPA filtrů jsou však omezené (vlhkostně tepelné limity jsou doporučené výrobci). Tyto limity HEPA filtrů mohou být překážkou při potřebě delší izolace pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou a také při úplné zevní dekontaminaci tohoto zařízení (namočení HEPA filtrů dezinfekčním prostředkem) (8). V posledních 20 letech nebyl systém transportních izolátorů zásadním způsobem inovován. Zjednodušené schéma současných transportních izolátorů uvádíme pro názornost ve schématu na obr. 1.



Obr. 1

Transportní izolátory máme k dispozici ve skladech složek integrovaného záchranného systému, ale jejich další vývoj technicky ustrnul v době před několika desetiletími. Transportní izolátor považujeme za velmi důležitou ochrannou pomůcku při ochraně veřejného zdraví, a proto jsme se pokusili tento nedostatek napravit. Naším základním cílem bylo úplné oddělení pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou od okolí tak, aby vnitřní prostor transportního izolátoru s přepravovaným pacientem vůbec nekomunikoval s okolním prostředím a přitom byly zabezpečeny veškeré fyziologické požadavky přepravovaného.

Stanovený cíl: Vyvinout a ověřit v experimentu možnost absolutní izolace pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou od okolí systémem uzavřené cirkulace vzduchu v transportním izolátoru.

Metodika

Výzkum probíhal v několika etapách:

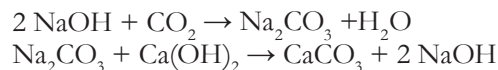
1. etapa: teoretické výpočty a úvahy o možnostech realizace vytčeného cíle

Po uzavření pacienta do vnitřního prostoru transportního izolátoru o vnitřním objemu 380 dm³ nastává řada problémů s vnitřním mikroklimatem. Při složitých

úvahách, zda je vůbec vytčený cíl realizovatelný, jsme vycházeli z všeobecně známých fyziologických hodnot. V mikroklimatu uzavřeného prostoru jsme teoreticky zvažovali **koncentraci kyslíku a jeho spotřebu pacientem, koncentraci oxidu uhličitého a jeho produkci pacientem, teplotu vzduchu a produkci tepla organismem, tělesnou teplotu pacienta (infekční pacient s horečkou), relativní vlhkost vzduchu a produkci vodní páry, subjektivní vnímání celkové pohody, subjektivní posouzení oděrového klimatu**, akustické mikroklima, aerosolové mikroklima, toxické mikroklima, biologické (infekční) mikroklima. Tučně vyznačené složky mikroklimatu jsme považovali za základní a snažili jsme se je v dalších experimentech ovlivnit. K experimentům jsme použili nejdostupnější transportní izolátor, který je k dispozici složkám integrovaného záchranného systému, a to BIOVAK EBV-30. Využit stávajícího systému transportního izolátoru a modifikovat jeho konstrukci ve zcela uzavřenou soustavu, bylo naší hlavní myšlenkou provázející veškeré naše další experimenty. K modelování mikroklimatu jsme využili dostupné látky a to: natronové vápno, silikagel a aktivní uhlí.

Látka	Cíl ovlivnění mikroklimatu
Natronové vápno	eliminace oxidu uhličitého
Silikagel	eliminace vzdušné vlhkosti
Aktivní uhlí	eliminace oděru

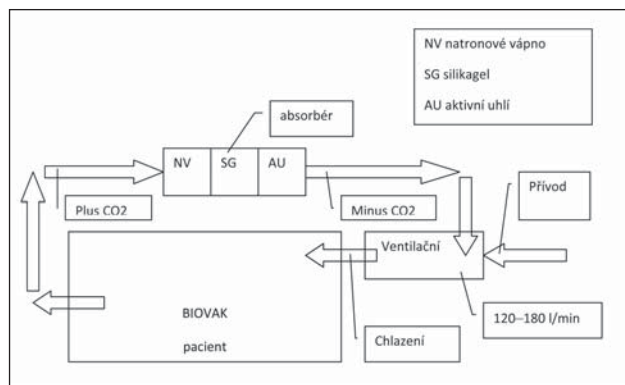
Na povrchu granulí natronového vápna probíhají tyto chemické reakce:



2. etapa: vlastní experimenty a modelování vnitřního mikroklimatu

Měření jsme uskutečnili v klimatizovaném traktu operačních sálů. Prostory sálů jsme zvolili z důvodů konstantního klimatu (laminární proudění vzduchu a stabilní teplota). V průběhu měření se pohyboval tlak vzduchu redukovaný na hladinu moře v rozmezí 1008–1015 hPa (Meteostanice GARNI 1238). V průběhu všech experimentů jsme oblékli všechny osoby standardně do chirurgických kalhot a košile. Aklimatizace všech sledovaných osob trvala minimálně 15 minut od vstupu do sálu.

Stávající systém transportního izolátoru jsme modifikovali v uzavřený systém podle schématu na obr. 2.



Obr. 2

Vývoj uzavřené cirkulace a modelování vnitřního mikroklimatu uvnitř BIOVAKU probíhaly v těchto fázích:

1. experimenty s natronovým vápnem
2. experimenty s natronovým vápnem + silikagelem
3. experimenty s natronovým vápnem + silikagelem + aktivním uhlím
4. experimenty s natronovým vápnem + silikagelem + aktivním uhlím + chlazení
5. ověření funkce rekuperačního zařízení s uzavřenou cirkulací vzduchu pro transportní izolátor finálního zařízení s atmosférou se vzduchem
6. ověření funkce rekuperačního zařízení s uzavřenou cirkulací vzduchu pro transportní izolátor finálního zařízení s atmosférou s heliem

Tab. 1: Charakteristika souboru sledovaných osob

	Soubor osob č. 1	Soubor osob č. 2	Soubor osob č. 3
Počet osob celkem	30 (15 mužů/ 15 žen)	5 (3 muži/ 2 ženy)	5 (5 mužů/ 0 žen)
Průměrný věk	32 let (21–44)	35 let (21–44)	33 let (21–46)
Průměrná hodnota BMI	28,4 kg/m ² (21,1–32,8)	28,6 kg/m ² (22,3–33,6)	29,8 kg/m ² (29,0–35,3)

Tab. 2: Průběh experimentů a soubory sledovaných osob

	Soubor osob
Uzavřená cirkulace + natronové vápno	soubor osob č. 2 (5 osob)
Uzavřená cirkulace + natronové vápno + silikagel	soubor osob č. 2 (5 osob)
Uzavřená cirkulace + natronové vápno + silikagel + aktivní uhlí	soubor osob č. 2 (5 osob)
Uzavřená cirkulace + natronové vápno + silikagel + aktivní uhlí + chlazení	soubor osob č. 1 (30 osob)
Uzavřená cirkulace + natronové vápno + silikagel + aktivní uhlí + mikroklima s heliem	soubor osob č. 3 (5 osob)
Uzavřená cirkulace s prototypem rekuperačního zařízení s atmosférou vzduch + kyslík	soubor osob č. 1 (30 osob)
Uzavřená cirkulace s prototypem rekuperačního zařízení s atmosférou helium + kyslík	soubor osob č. 3 (5 osob)

3. etapa: vývoj komerčně využitelného zařízení

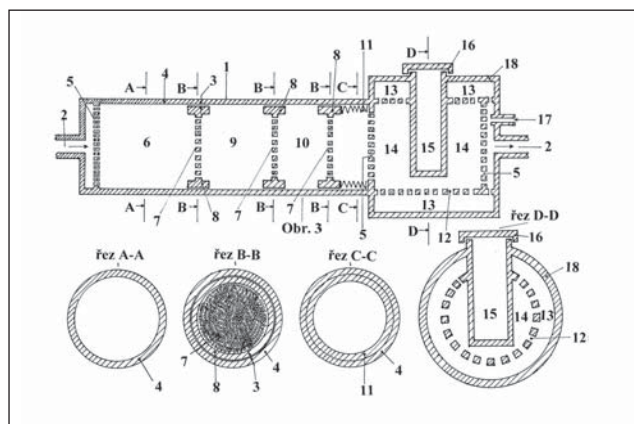
Výsledkem všech experimentů a vývoje je **konstrukce přídatného zařízení** pro současně vyráběné transportní izolátory, které umožní uzavřenou cirkulaci vzduchu s rekuperační a regulací mikroklimatu a zajistí fyziologické podmínky pro pacienta (1, 4). Toto jednorázové zařízení, které je již předem naplněné jednotlivými adsorpčními látkami, se zapojí do propojeného výstupu a vstupu vzduchu transportního izolátoru pomocí vřapových hadic (viz schéma 2). Pohon vzduchu zajišťuje stejná ventilační jednotka dodávaná k současným transportním izolátorům. Celé zařízení je zhotoveno z průhledné plastické hmoty (polyetylen). Pístové přepážky mezi jednotlivými funkčními látkami (náplněmi) se volně posouvají při změně objemů jednotlivých náplní a zároveň je udržují kompaktní při transportu. Všechny tři pístové přepážky najednou přitlaču-

veno z průhledné plastické hmoty (polyetylen). Pístové přepážky mezi jednotlivými funkčními látkami (náplněmi) se volně posouvají při změně objemů jednotlivých náplní a zároveň je udržují kompaktní při transportu. Všechny tři pístové přepážky najednou přitlaču-

Tab. 3: Přehled prováděných měření

Měření uvnitř transportního izolátoru: • teplota na vstupu a výstupu vzduchu transportního izolátoru a před chlazením • teplota uvnitř transportního izolátoru (střed BIOVAKU) • měření teploty v absorbéru CO₂ • relativní vlhkost v % • měření % kyslíku uvnitř transportního izolátoru
Na začátku experimentu: • hmotnost natronového vápna (s přesností 0,1 g) • hmotnost silikagelu (s přesností 0,1 g) • hmotnost aktivního uhlí (s přesností 0,1 g) • zvážení „okruhu“ bez všech náplní (s přesností 0,1 g)
Na konci experimentu: • hmotnost natronového vápna (s přesností 0,1 g), natronové vápno bylo 60 minut sušeno v okruhu s 1000 g silikagelu, k cirkulaci použita druhá „suchá“ ventilační jednotka • hmotnost silikagelu (s přesností 0,1 g) • hmotnost aktivního uhlí (s přesností 0,1 g), aktivní uhlí bylo 60 minut sušeno v okruhu s 1000 g silikagelu • zvážení „okruhu“ bez všech náplní (s přesností 0,1 g) • spotřeba kyslíku v mililitrech (přesnost na 100 ml): měření prováděno na základě průtok (přesně měřený z anesteziologického přístroje) x čas (s přesností na 100 ml), spotřeba byla pak přepočtena v rozměru ml/kg tělesné hmotnosti
Stanovení produkce: • CO₂: rozdíl hmotností „suchých“ hmotností natronového vápna a vypočítání produkce CO₂ • H₂O: (rozdíl hmotností silikagelu na začátku a na konci experimentu) + (rozdíl hmotností silikagelu při sušení natronového vápna) + (rozdíl hmotností silikagelu při sušení aktivního uhlí) + (rozdíl hmotností „okruhu“ bez všech náplní rezidua vlhkosti na stěnách vřapových hadic a voda v kondenzační komůrce) + (rozdíl hmotností silikagelu při sušení transportního izolátoru) = produkce vody • produkty oděru (směs blíže neidentifikovaných látek): rozdíl hmotností „suchých“ hmotností aktivního uhlí a vypočítání produktů oděru
Čas aklimatizace po vstupu osoby do místnosti: 15 minut Změření referenčních hodnot u sledovaných osob po 15 minutách: • NIBP (Noninvasive Blood Pressure) • SpO₂ pulzní oxymetrie (neinvasivní měření saturace kyslíkem) • HR (EKG) • kapnometrie (vydechovaný CO₂ měřený těsně naléhající obličejovou maskou s minimálním mrtvým prostorem) • tympanální ušní teplota
Parametry měřené po umístění sledované osoby do transportního izolátoru: • NIBP • SpO₂ • HR (EKG) • kapnometrie (vydechovaný CO₂ měřený těsně naléhající obličejovou maskou s minimálním mrtvým prostorem) • tympanální ušní teplota • subjektivní měření pohody mikroklimatu (škála 1–10), použita vizuální analogová škála
Frekvence měření: 5 minut
Měření po dobu 1–4 hodin (limitace ochotou dobrovolníka pobývat uvnitř izolátoru)
Měřicí zařízení: • anesteziologický přístroj Gentleman Monitor PN-9000 (firma Cheiron) • ušní teploměr Omron Gentle temp 510 • digitální teploměr a vlhkoměr GFTH 100 a 200 • teplotní čidlo PT 1000

je elastický prvek. Do proudu vzduchu vnořený zevně přístupný chladicí kvádr umožňuje vkládání a výměnu chladicího média bez otevření celého systému. Silikagel v dutém válci na konci pohltí kondenzovanou vlhkost a zabráni vylití sražené vody. Vstup pro potřebný kyslík je rovněž součástí zobrazeného zařízení.



Obr. 3

Zařízení je ve tvaru válce. Jednotlivé dole umístěné příčné řezy ukazují na důležitá místa rekuperačního zařízení. Popisky jednotlivých čísel:

1. rekuperační zařízení
2. spojovací vřapové hadice
3. těsný prostor mezi pístem a vnitřní stěnou komor
4. stěna rekuperačního zařízení
5. pevná oddělovací perforovaná přepážka
6. komora pro absorbent, zajišťující eliminaci oxidu uhličitého (natronové vápno)
7. perforovaná přepážka
8. jako píst volně pohyblivá přepážka
9. komora pro látku odstraňující vlhkost před aktivním uhlím (silikagel)
10. komora pro látku k odstranění oděru (aktivní uhlí)
11. přítlačný prvek udržující přiměřenou kompaktnost jednotlivých složek ve všech třech komorách
12. perforovaný vnitřní dutý válec
13. komora ve tvaru dutého válce s látkou pohlcující vlhkost (silikagel)
14. komora ochlazující proudící vzduch
15. oddělená komora od vnitřního prostoru přístupná zevně – určená pro chladicí médium (pro jednorázové chladicí sáčky, ledovou tříšť apod.)
16. uzávěr komory pro chladicí médium zabráňující jeho vylití
17. přívod potřebného kyslíku
18. stěna chladicí komory (zevní plášť dutého válce)

Řez A-A: příčný řez v místě absorpční komory. Popisky jednotlivých čísel:

4. stěna rekuperačního zařízení

Řez B-B: příčný řez ve středu jako píst pohyblivé perforované přepážky. Popisky jednotlivých čísel:

3. těsný prostor mezi pístem a vnitřní stěnou komor
4. stěna rekuperačního zařízení

7. perforovaná přepážka
8. jako píst volně pohyblivá přepážka

Řez C-C: příčný řez v místě přítlačného prvku. Popisky jednotlivých čísel:

4. stěna rekuperačního zařízení
11. přítlačný prvek udržující přiměřenou kompaktnost jednotlivých složek ve všech třech komorách

Řez D-D: příčný řez ve středu chladicí komory. Popisky jednotlivých čísel:

12. perforovaný vnitřní dutý válec
13. komora ve tvaru dutého válce s látkou pohlcující vlhkost (silikagel)
14. komora ochlazující proudící vzduch
15. oddělená komora od vnitřního prostoru přístupná zevně – určená pro chladicí médium (pro jednorázové samochladicí sáčky, ledovou tříšť apod.)
16. uzávěr komory pro chladicí médium zabráňující jeho vylití
18. stěna chladicí komory (zevní plášť dutého válce)

Diskuse

Uzavřenou cirkulaci vzduchu (okruh) využívají systémy v anesteziologických přístrojích a dýchacích přístrojích s uzavřeným okruhem při potápění (rebreather) nebo v dýchacích přístrojích báňských záchranářů (5). Ve všech těchto zařízeních probíhá eliminace oxidu uhličitého prostřednictvím natronového vápna. Rekuperace vzduchu úspěšně funguje např. v ponorkách či v kosmickém programu. Interní mikroklima uvnitř transportního izolátoru se podařilo postupnými experimenty modelovat tak, aby bylo shodné s okolním mikroklimatem. Během žádných experimentů nedošlo k hyperkapnii ani k hypoxemii u sledované osoby. Postupně se podařilo příznivě upravit i parametry vlhkostně tepelného mikroklimatu. Z bezpečnostních důvodů nepředpokládáme (vysoké % kyslíku) uvnitř transportního izolátoru manipulaci s otevřeným ohněm ani použití přístrojů produkujících jiskření. Další použití transportního izolátoru vidíme nejen v ochraně okolí před infekčně nemocným pacientem, ale i naopak v ochraně pacienta s poruchami imunity před okolím. Zařízení pro uzavřený systém cirkulace jsme sestavili univerzálně pro všechny již komerčně vyráběné transportní izolátory. Pro přepravu pacienta v terénu požadujeme zařízení co nejjednodušší, maximálně bezpečné, s jednoduchým monitorováním všech parametrů při transportu a s minimální spotřebou kyslíku. Zásoba kyslíku uvnitř BIOVAKU je velká. Při 50% koncentraci kyslíku uvnitř transportního izolátoru obsahuje zásobu okolo 150 litrů kyslíku. Než by došlo k poklesu koncentrace kyslíku z 50 % objemu na hodnotu ve vzduchu (21 %), postačila by tato zásoba asi na 12 hodin provozu (při průměrné spotřebě kyslíku okolo 200 ml/minutu). Bezpečnostní rezervu zařízení jsme naddimenzovali i v případě eliminace oxidu uhličitého. 1,5 kg natronového vápna absorbuje vydechovaný oxid uhličitý dlouhé hodiny (100 g absorbuje prakticky okolo 20 litrů oxidu uhličitého). Chladicí systém u finálního rekuperačního zařízení lze do jisté míry regulovat zvenku vkládanými chladicími sáčky. Jednorázové samochladicí sáčky jsou k dispozici i bez chladí-

cího zařízení (chlazení probíhá pomocí chemické reakce). Cena těchto samochladících sáčků je zanedbatelná. Doba pobytu sledovaných osob uvnitř transportního izolátoru limitovala jen jejich ochota pobývat v uzavřeném prostoru. Maximální doba pobytu osob v experimentu činila 4 hodiny. Delší dobu sledované osoby z hlediska pohodlí, nudy a z důvodů osobních (hlad, žízeň, návštěva toalety apod.) nezvládaly. V případě pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou počítáme s určitou mírou farmakologické sedace (v sanitních vozech máme řadu krátkodobých farmak k sedaci pacienta s předvídaným účinkem a krátkým poločasem). Při delší přepravě vybavíme pacienta jednorázovými zachytými pomůckami k zadržení exkrementů. Dnešní moderní jednorázové pomůcky absorbují tekutou složku exkrementů a nenaruší vlhkostní a oděrové mikroklima. Pro případ kapacitního objemového selhání těchto pomůcek (např. objemné průjemové stolice), i s touto situací počítáme, jsme několikanásobně naddimenzovali všechny provozní složky rekuperačního zařízení. Vzhledem k dlouhodobé stabilitě systému a naddimenzovaným provozním náplním předpokládáme rovnováhu celého systému po dobu minimálně 8–10 hodin. Samozřejmě je možné během delšího transportu celé zařízení po jeho vyčerpání vyměnit za nové nebo celý systém konvertovat na původně otevřený. Máme k dispozici několik bezpečnostních nouzových pojistek během transportu. Subjektivní hodnocení vnitřního mikroklimatu odpovídalo naměřeným hodnotám. V konečné podobě vývoje rekuperačního zařízení hodnotily všechny osoby vnitřní mikroklima jako velmi příjemné (hodnoceno na vizuální analogové škále 1–10). Vnitřní atmosféra helia s kyslíkem nás překvapila svými výhodnými vlastnostmi. Vlastnost výborné tepelné vodivosti výrazně zlepšila teplotní mikroklima. Díky příznivému fyzikálnímu charakteru vdechované směsi plynů můžeme oddálit nutnost umělé plicní ventilace (6). Malá molekula helia by teoreticky mohla mírně difundovat přes plastický obal transportního izolátoru, ale při našich experimentech jsme únik helia nepozorovali. Rekuperačním zařízením procházel vzduch s minimálním odporem, ale přece jenom se doba provozu oproti otevřenému systému zkrátila asi o 1 hodinu (2). Díky druhé záložní baterii a možnosti provozu z elektrické sítě nebo autobaterie nás tato skutečnost příliš netrápila. O problematice transportních izolátorů neexistuje prakticky žádná odborná literatura. Internímu mikroklimatu se podle dostupných zdrojů zatím žádné práce nevěnují. Vnitřní mikroklima helia a kyslíku v transportním izolátoru, dle našich dostupných informací, ještě nikdo nezkoumal. Kombinaci uzavřené cirkulace vzduchu a atmosféru kyslíku s heliem považujeme za velmi perspektivní směr vývoje při transportu pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou. Uzavřená cirkulace s rekuperační vzduchu s doplňováním spotřebovaného kyslíku je sice myšlenka velmi jednoduchá, ale její řešení nebylo díky malému prostoru transportního izolátoru jednoduché. Čím je prostor mikroklimatu menší, tím obtížnější je zde navodit rovnováhu celého systému. Udržení příznivé rovnováhy všech složek mikroklimatu ve větších prostorách, jako jsou např. kabiny kosmických lodí, ponorky atd., je jednodušší, i když je také provázáno řadou technických problémů (1). Při řešení jsme vycházeli z obecných principů a znalostí ze zcela jiných oblastí (5). V oblasti uzavřené cirkulace transportních

izolátorů jsme se nemohli opřít o práce autorit z oboru. Začali jsme vlastní práci úplně od začátku a podle průběžných měření a vyhodnocování nastalých změn jsme postupně odstraňovali jednotlivé nedostatky systému.

Závěr

Uzavřená cirkulace s natronovým vápnem, silikagelem, aktivním uhlím a chlazením vzduchu v transportním izolátoru splňuje všechny naše představy o příznivém mikroklimatu. Eliminaci oxidu uhličitýho natronovým vápnem, bohatá kyslíková atmosféra a velmi příznivé teplotně-vlhkostní mikroklima zajistila řada zařízení vložených do uzavřené cirkulace. Veškerý vzduch se zpětně beze zbytku využije a doplňuje se pouze spotřebovaný kyslík. Otestovali jsme prototyp rekuperačního zařízení s vnitřní atmosférou vzduchu a kyslíku (50% koncentrace). Druhá varianta vnitřního prostředí s atmosférou helia s kyslíkem nás překvapila svými výhodnými vlastnostmi. Díky výborné tepelné vodivosti se výrazně zlepšilo teplotní mikroklima a příznivé fyzikální vlastnosti této vdechované směsi plynů můžou oddálit nutnost umělé plicní ventilace u přepravovaného pacienta (6). Vnitřní atmosféru kyslíku s heliem považujeme jako velmi perspektivní.

Postupným vývojem se podařilo zkonstruovat rekuperační jednorázové zařízení jako jeden celek s chlazením. Prototyp rekuperačního zařízení jsme v experimentech použili opakovaně. Parametry vnitřního mikroklimatu, jak objektivně změřené, tak i subjektivně vnímané, dosahovaly výborných parametrů. Zařízení tvoří jeden kompaktní celek, jednoduše se zapojuje a vyznačuje se velkou spolehlivostí. Zařízení jsme konstruovali jako jednorázové. Pro experimentální účely jsme prototyp zařízení opětovně naplňovali provozními náplněmi. Při reálném využití v praxi lze kontaminované přídatné zařízení jednoduše od transportního izolátoru odpojit a bezpečně zlikvidovat spálením. Vzhledem k nízké pořizovací ceně zařízení a jeho funkčních náplní je to optimální způsob.

Komerčního využití se ujala firma Cheirón a.s. Zájem projevila firma EGO Zlín, Ministerstvo zdravotnictví a Ústřední vojenský zdravotní ústav. Cena celého zařízení je srovnatelná s cenou HEPA filtrů a při delší době provozu se cena zařízení oproti ceně HEPA filtrů velmi sníží. Svě výsledky jsme nepublikovali z důvodů, abychom je mohli ochránit užitným vzorem (Zákon č. 478/1992 Sb., o užitných vzorech) (10, 11).

LITERATURA

1. Dunn KH, Bulgajewski PJ. Initial accomplishments of the Environmental Control and Life Support System (ECLSS) atmosphere revitalization (AR) predevelopment operational system test (POST) for the Space Station Freedom (SSF). SAE Technical Paper Series No. 921186. In: 22nd International Conference on Environmental Systems; 1992 Jul 13-16; Seattle (WA). Huntsville: Marshall Space Flight Center; 1992.
2. EGO Zlín spol. s r.o. Návod k použití BIOVAK EBV-30 [fremní materiály]. Zlín: EGO Zlín; 2010.

3. Christopher GW, Eitzen EM Jr. Air evacuation under high-level biosafety containment: the aeromedical isolation team. *Emerg Infect Dis.* 1999 Mar-Apr;5(2):241-6.
4. Langevin PB, Rand KH, Layon AJ. The potential for dissemination of *Mycobacterium tuberculosis* through the anesthesia breathing circuit. *Chest.* 1999 Apr;115(4):1107-14.
5. Larsen R. Anestezie. 2. české vyd. Praha: Grada; 2004.
6. Mutlu GM, Budinger GR. Not much turbulence: addition of heliox to noninvasive ventilation fails to improve outcomes in patients with exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Crit Care Med.* 2010 Jan;38(1):319-20.
7. Prymula R, a kol. Biologický a chemický terorismus: informace pro každého. Praha: Grada; 2002.
8. Roe JA, Smith D. Filtration and infection control [Internet]. Port Washington (NY): Pall Corporation [cited 2010 Aug 18]. Available from: http://www.pall.com/medical_6472.asp.
9. Trexler PC, Emond RT, Evans B. Negative-pressure plastic isolator for patients with dangerous infections. *Br Med J.* 1977 Aug 27;2(6086):559-61.
11. Zákon č. 478 ze dne 24. září 1992 o užitných vzorech. *Sbírka zákonů ČR.* 1992;částka 96:2762-6.
10. Úřad průmyslového vlastnictví [online]. Praha: Úřad průmyslového vlastnictví [cit. 2010-8-18]. Dostupný z: <http://www.upv.cz>.

Došlo do redakce: 7. 7. 2010

Přijato k tisku: 19. 8. 2010

MUDr. Radek Bárta

Blatenská 10

326 00 Plzeň

E-mail: radek.barta@seznam.cz