

MOŽNOSTI OVLIVNĚNÍ MIKROKLIMATU UVNITŘ TRANSPORTNÍHO IZOLÁTORU (BIOVAKU) A POUŽITÍ UZAVŘENÉ CÍRKULACE U TRANSPORTNÍHO IZOLÁTORU

Radek BÁRTA¹, Peter BEDNARČÍK²

¹Rokycanská nemocnice, a. s., anesteziologicko-resuscitační oddělení, Rokycany

²Univerzita obrany, Fakulta vojenského zdravotnictví, katedra vojenské hygieny, 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 zajištění základních fyziologických funkcí 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 riziko, že infekční agens unikne mimo transportní izolátor.

Nově navrhujeme a v experimentu ověřujeme zcela uzavřený systém ventilace transportního izolátoru, jenž přináší řadu výhod a zvyšuje bezpečnost transportního týmu. Systém umožňuje uzavřenou vnitřní cirkulaci vzduchu s příívodem O₂ a absorpci CO₂ v natronovém vápnu a splňuje fyziologické a bezpečnostní požadavky. V testech prokázal schopnost zabezpečit fyziologické funkce přepravovaného pacienta v řádu hodin.

Klíčová slova: Transportní izolátor; Pacient s vysoce virulentní infekcí; Zavřený systém ventilace.

Possible Impacts on Microclimate Inside a Transport Isolator and the Use of Closed Air Circulation in the Transport Isolator

Summary

A transport isolator is designed for isolation and transport of patients with highly virulent infection. Both safety of accompanying team and complete isolation of the infected patient from environment have to be ensured within transportation. A prerequisite of the safety transport consists of a reliable transport isolator which is capable to meet safety requirements and to support basic physiological functions within transportation. Currently, the transport boxes with the open system using HEPA filters have been developed. This system works on the basis of air flow rate at about 120 l/min. However, the HEPA filter is unable to filter excessive amount of air change with environment at 100% efficiency, thus there is an increased risk that the infectious agent may leak out off the transport isolator.

A new completely closed system of ventilation in the transport isolator is proposed and tested in our experiment. This system brings many advantages and increased safety to the accompanying team. The system allows internal closed air circulation with oxygen intake and CO₂ absorption and meets physiological and safety requirements. Tested capability to support transported patient's physiological functions within several hours has been confirmed.

Key words: Transport isolator; Patients with highly virulent infection; Closed system of ventilation.

Úvod

Nebezpečí výskytu pacienta s vysoce nebezpečnou nákazou na našem území je reálné. Zavlečení vysoce nebezpečné nákazy do naší republiky je možné několika základními způsoby. Vzhledem ke zkracování vzdáleností je pravděpodobný import endemické nákazy z jiné části světa (turistika, migrace obyvatel z rizikových oblastí, pracovníci v zahraničí, armádní jednotky apod.). Za reálné je nutné

považovat nebezpečí použití biologické zbraně – bioterrorismus. Biologické zbraně jsou relativně dostupné a levné (6). Není třeba zdůrazňovat, že použití biologických zbraní teroristy ve větším měřítku by při současné rychlosti osobní dopravy mohlo vyvolat během krátké doby pandemii. Vznik nových infekcí, jako např. SARS či pandemické varianty chřipky, představuje pro náš stát nemalé nebezpečí, na které je nutno se připravit. Nutnost ochrany obyvatelstva spočívá v přísné izolaci infekčních osob

a zamezení kontaktu s infekcí během přepravy nemocných (3). Naším cílem bylo zabezpečit maximální bezpečnost nejenom transportního týmu, ale i přepravovaného pacienta. Navrhli jsme a otestovali nový systém transportního izolátoru, který jsme konstruovali jako zcela uzavřený, maximálně jednoduchý a levný.

Otevřený systém cirkulace v transportním izolátoru

V současné době jsou transportní izolátory konstruovány jako otevřený systém. V hermeticky uzavřeném prostoru, který vychází z konstrukce Trexlerova izolátoru, je umístěn pacient (2). Cirkulaci vzduchu zajišťuje ventilační jednotka s výkonem 120–180 l/min. Jak na vstupu, tak na výstupu prochází vzduch HEPA filtrem (high efficiency particulate air filters) (obr. 1).

HEPA filtr nezaručuje zcela 100% účinnost. Je nutné dodržet limity vlhkosti a teploty doporučené výrobcem. Filtrační kapacita pro jednotlivá infekční agens je na úrovni teoretických předpokladů (7). Velká výměna vzduchu a nemožnost zjistit integritu HEPA filtru a tím zajistit ochranu okolí nás vedla k hledání zcela jiného řešení.

Uzavřená cirkulace v transportním izolátoru

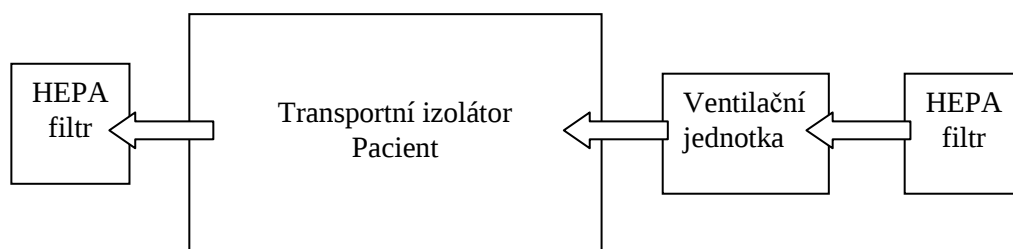
Naše ideální představa byla infekčně nemocného pacienta zcela uzavřít do neprostupného obalu, zevní obal dekontaminovat a takto pacienta bezpečně přepravovat. Samozřejmě existují složitá a drahá technická řešení, používaná např. v kosmickém programu (4). Vycházeli jsme však z požadavku na jednoduchost a dostupnost a z požadavků na zachování základních vitálních funkcí (zvýšená dodávka kyslíku apod.) infekčně nemocných pacientů. Po

analýze mikroklimatu uvnitř transportního izolátoru a modelování podmínek na dobrovolnících jsme toto řešení našli. K absorpci vydechovaného CO_2 jsme využili natronové vápno, k odstranění vlhkosti silikagel a k zajištění příznivého oděrového mikroklimatu jsme využili aktivní uhlí a po jedné hodině provozu ještě chlazení systému menším množstvím ledové tříště.

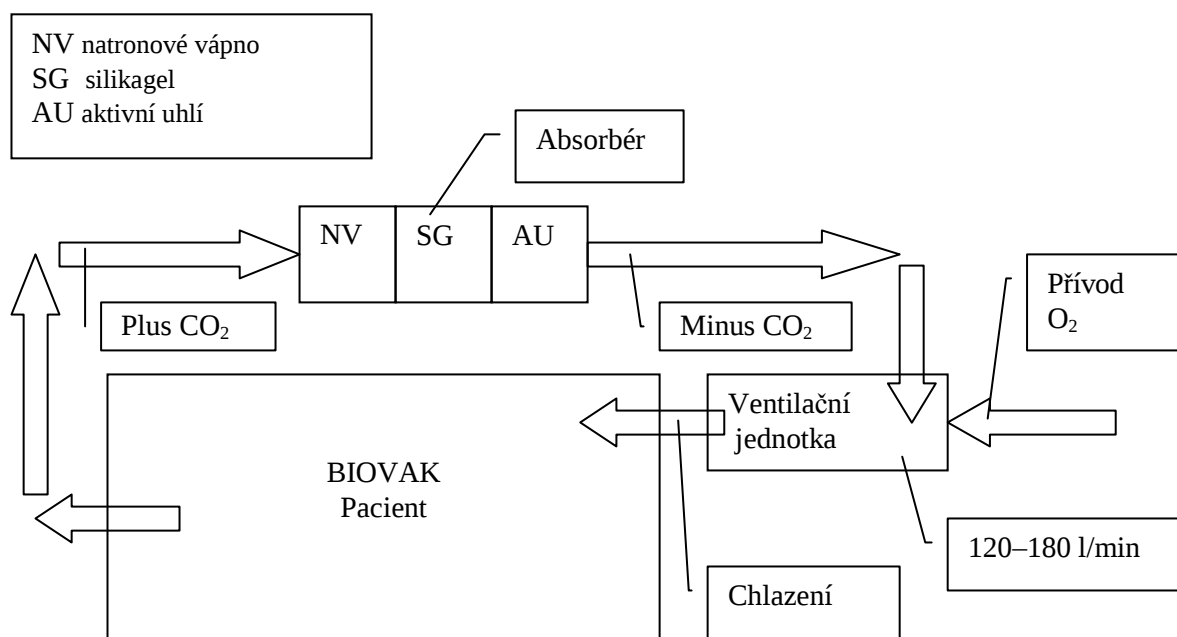
Jako nejvhodnější se osvědčil Biovak EBV-30 firmy EGO, Zlín. Jedná se o samonosnou konstrukci, je velmi skladný, dá se složit do větší tašky, a unese jej jedna osoba. Biovak je zcela hermeticky uzavřen a otestován tlakovou zkouškou před každým použitím. Pacienta je možné ošetřovat dvěma páry vložených rukavic hermeticky zabudovaných do konstrukce izolátoru. Vizuální změnou objemu samonosné konstrukce lze snadno pohledem monitorovat objem biovaku. Průhledová přední plocha odstraňuje strach pacientů z uzavřeného prostoru. Objem biovaku udávaný výrobcem je 380 litrů (7). I po odečtení objemu, který zaujímá tělesný prostor pacienta, a při experimentální inspirační frakci kyslíku 50 %, je zde při průměrné spotřebě kyslíku 200–250 ml O_2 /min bohatá bezpečnostní rezerva kyslíku na několik hodin. Tím je vyloučeno riziko vzniku hypoxie pacienta. Pokud by k tomuto došlo, objem biovaku by se vizuálně postupně nápadně zmenšoval a tím by byl transportní tým upozorněn s velkou časovou rezervou na postupný nedostatek kyslíku v systému (řádově hodiny) (obr. 2).

Metody

Konstrukci jsme řešili tak, abychom využili stávající Biovak EBV-30. K cirkulaci vzduchu jsme využili ventilační jednotku PROFLOW 2 120 (9). Na výstupu z biovaku vedeme vzduch zpět do ventilační jednotky a dále zpět do biovaku. Do biovaku jsme umístili pokusnou osobu, ponechali jsme jen



Obr. 1: Transportní izolátor EBV-30



Obr. 2: Uzavřená cirkulace transportního izolátoru (Biovak EBV-30)

nezbytný reziduální vzduch a začali jsme biovak napouštět 100% kyslíkem (objem jsme měřili jako průtok $\times$ čas). Za pomoci kalibrovaných čidel anesteziologického přístroje Gentleman (firma Cheiron) jsme měřili jednotlivé parametry mikroklimatu uvnitř biovaku. Průběžně jsme hodnotili procento O_2 kyslíkovým čidlem, relativní vlhkost vzduchu, teploty v jednotlivých částech biovaku, tympanální teplotu sledované osoby, saturaci kyslíkem, nepřímo měřený tlak krve a tepovou frekvenci. Pro pokusné účely jsme nepřekračovali 50% koncentraci kyslíku. V případě potřeby je prakticky možné dosáhnout 100% koncentrace kyslíku. Po umístění sledované osoby do biovaku jsme spustili ventilační jednotku PROFLOW 2 120 a ponechali při napouštění kyslíkem mírnou objemovou rezervu 15–20 l. Kyslík jsme pak do systému doplňovali podle spotřebovaného metabolického kyslíku – v průměru 200–250 ml/min. Vizuální monitorování objemu je jednoduché (ne úplně naplněná samonosná konstrukce biovaku). Pacientem vydechovaný CO_2 byl zachycen natronovým vápnem (100 g pohlty 24 až 26 litrů CO_2) (1). Vydechovanou vodní páru a produkci vody natronovým vápnem absorboval silikagel cca 30 g/h. Aktivní uhlí jsme zařadili do systému pro absorpci oděru. Sporadické literární údaje prokazují, že při vysokém pH okolo 10 a exoter-

mické reakci na povrchu granúlí natronového vápna, dochází k eliminaci infekčních agens (5). Systém by tedy měl určité autodezinfekční schopnosti. Monitorace vyčerpání směsi je jednoduchá, a to vizuální změnou barvy indikátoru. Během první hodiny nebylo nutné chlazení systému, pak bylo třeba zahájit chlazení. Využili jsme chlazení vrapové hadice o délce 40 cm ledovou tříští na vstupu do biovaku (pomocí plastového termoizolovaného vaku se šroubovacím vstupem). Teplota se pak na vstupu biovaku přechodně snížila pro pokusnou osobu na příjemných 14,5 °C. Postačilo 2 kg ledové tříště a systém zůstal teplotně v rovnováze po dobu dalších 5 hodin, pak by bylo nutné chladicí směs vyměnit (použili jsme jednoduchou termoizolovanou nádobu). Systém je velmi jednoduchý a provozní látky ve filtrační kapsli jsou levné a běžně k dispozici. (Souhrnný přehled viz tabulka 1.)

Systém je možné konstruovat jako jednorázový a po použití jej znehodnotit spálením – k této variantě se vzhledem k ceně přikláníme. Pro opakované použití by bylo nutné vyřešit vnitřní dezinfekci systému. Další výhodou tohoto uzavřeného systému transportního izolátoru je možnost jeho zevní dekontaminace, a tak odpadají další technické ochranné komplikace pro transportní tým. Výhodou je absolutní izolace pacienta s vlastním mikroklimatem.

Tabulka 1

Metodika provádění experimentů

Parametry sálu pro provádění experimentů: • laminární proudění • klimatizovaná místnost na teplotu 24 °C • relativní vlhkost v rozmezí 40–50 %
Měření uvnitř transportního izolátoru: • teplota na vstupu a výstupu vzduchu transportního izolátoru a před chlazením • relativní vlhkost • % kyslíku maximálně 50 % (v rozmezích hodnot 48–50 %) • měření teploty uvnitř absorbéru s natronovým vápnem • měření teploty ledové tříště
Čas aklimatizace po vstupu osoby do místnosti: 15 minut Změření referenčních hodnot u pokusných osob po 15 minutách: • NIBP • SpO₂ • HR (EKG) • kapnometrie (vydechovaný CO₂ měřený těsně naléhající obličejovou maskou s minimálním mrtvým prostorem) • tympanální ušní teplota
Parametry měřené po umístění pokusné 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 stejná jako při hodnocení bolesti
Náplně filtrační kapsle: • 1500 g natronového vápna • 1500 g silikagelu • 500 g aktivního uhlí
Frekvence měření: 5 minut Měření po dobu 1–5 hodin (limitace ochoty pokusné osoby pobývat uvnitř) 30 dospělých osob (15 žen a 15 mužů) Věk osob: mezi 21 a 44 lety (střední hodnota 32 let) BMI: mezi 21,1 a 32,8 (střední hodnota 28,4) Standardní oblečení: operační halena a kalhoty, pokrývka hlavy Doba pobytu: 1–6 hodin (v průměru 3,8 hodin)
Měřicí zařízení: • anesteziologický přístroj Gentleman Monitor PN-9000 (fa Cheiron) • ušní teploměr Omron Gentle temp 510 • digitální teploměr a vlhkoměr GFTH 100 a 200 • teplotní čidlo PT 1000
Závěry: Mikroklima uvnitř transportního izolátoru při uzavřené cirkulaci se podařilo modelovat v souladu s referenčními hodnotami okolního standardního prostředí.

Významná je úspora kyslíku při zachování vysoké inspirační frakce kyslíku. Předpokladem a cílem je maximální těsnost systému. Systém má minimální spotřebu levných provozních látek. Kyslík je možno doplňovat intermitentně podle zmenšování objemu samonosné konstrukce (v systému je několikahodinová bezpečnostní zásoba kyslíku). Po naplnění biovaku kyslíkem (předpokládáme praktické využití v rozmezích koncentrací 50–75 % inspirační frakce kyslíku) a doplňování spotřebovaného kys-

líku za současné eliminace CO₂ je systém dále v uvedené rovnováze. Na zajištění 10 hodin bezpečného provozu při klidové ventilaci pokusné osoby teoreticky postačuje 1500 g natronového vápna, 1500 g silikagelu a 500 g aktivního uhlí. Konstrukci filtrační kapsle (podobně jako u absorbéru anesteziologických přístrojů) je nutno řešit průhledným plastem (vizuální monitorace vyčerpání jednotlivých absorpčních směsí). Uvedené hmotnosti jsou teoreticky naddimenzovány z bezpečnostních důvo-

dů s velkou rezervou a po jednorázovém použití jsou jednoduše likvidovány spálením.

Diskuse

Uzavřený okruh s různou mírou zpětného vdechování je používán zcela běžně v anesteziologii a dýchacích přístrojích s uzavřeným okruhem jak při potápění, tak v dýchacích přístrojích báňských záchrannářů (1). Ve všech těchto aplikacích je zajištěna jen eliminace oxidu uhličitýho pomocí natronového vápna. Rekuperace vzduchu v různých modifikacích úspěšně funguje např. v ponorkách či v kosmickém programu (4). Z bezpečnostních důvodů (vysoké procento kyslíku) nepředpokládáme uvnitř transportního izolátoru manipulaci s otevřeným ohněm ani použití přístrojů produkující jiskření.

Další použití transportního izolátoru vidíme nejen v ochraně okolí před infekčně nemocným pacientem, ale také naopak v ochraně imunokompromitovaného pacienta před okolím a zajištěním zcela sterilního prostředí při nutném transportu (např. při akutní nemoci z ozáření, hematologickými pacienty apod.) Výhodou je možnost použít uzavřený systém cirkulace na komerčně již vyráběné transportní izolátory. K transportním účelům v terénu jsme se snažili o co nejjednodušší, maximálně bezpečné a jednoduché monitorování při transportu s minimální spotřebou kyslíku. Pobyt pokusných osob byl limitován jen jejich ochotou pobývat v uzavřeném prostoru. Maximální doba pobytu osob byla 6 hodin (3 osoby). Subjektivní vnímání vnitřního mikroklimatu bylo hodnoceno všemi osobami jako velmi příjemné – na vizuální analogové škále pohody 1–10 uváděli hodnoty 1–2. Dobu transportu nepředpokládáme delší než 8–10 hodin. Pro komfort pacienta při transportu považujeme za nutnou určitou míru sedace.

Závěry

Systém uzavřené cirkulace uvnitř transportního izolátoru jsme ověřili v experimentu na 30 dobrovolnících. Jednoduchá a bezpečná konstrukce biovaku umožňuje jak bezpečný transport pacienta, tak i bezpečí pro transportní tým. Výhodou pro pacienta je vysoká inspirační frakce kyslíku (u infekčních onemocnění bývá pravidlem různá míra respirační insuficience) (1). Výhodu vidíme v jednoduchém monitorování vyčerpání absorpčních směsí

(barevná změna indikátoru). Systém je možné konstruovat jako jednorázový a po použití jej znehodnotit spálením – k této variantě se vzhledem k ceně přikláníme. Pro opakované použití by bylo nutné vyřešit vnitřní dezinfekci systému. Při transportu je nutné dodržet správnou technologii náplní a pořadí provozních látek. Další výhodou tohoto uzavřeného systému biovaku je možnost jeho zevní dekontaminace, čímž odpadají další technické ochranné komplikace pro transportní tým. Výhodou je absolutní izolace pacienta s vlastním mikroklimatem. Významná je úspora kyslíku při zachování vysoké inspirační frakce kyslíku (1). S výhodou lze tento systém jednoduše aplikovat u stávajícího Biovaku EBV-30 s využitím současné ventilační jednotky (7).

Poděkování patří firmě EGO, Zlín za zapůjčení Biovaku EBV-30 a anesteziologicko-resuscitačnímu oddělení Rokycanské nemocnice, a. s., za poskytnutí technické podpory.

Literatura

1. LARSEN, R. *Anestezie*. 2. české vyd. Praha, Grada, 2004.
2. TREXLER, PC. – EDMOND, RED. – EVANS, B. Negative pressure plastic isolator for patients with dangerous infections. *Br. Med. J.*, Aug 27, 1977, 2 (6086), p. 559–561.
3. CRISTOPHER, GW. – EITZEN, EM., Jr. Air evacuation under high-level biosafety containment: the aeromedical isolation team. *Emerg. Infect. Dis.*, 1999, vol. 5, no. 2, p. 241–246.
4. 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. Presented 22nd International Conference on Environmental Systems, Seattle, WA, July 13–16, 1992.
5. LANGEVIN, PB. – KENNETH, HR. – LAYON, AJ. The Potential for Dissemination of Mycobacterium tuberculosis Through the Anaesthesia Breathing Circuit. *Chest*, 1999, vol. 115, p. 1107–1114.
6. PRYMULA, R., et al. *Biologický a chemický terorismus*. Praha, Grada, 2002. ISBN 80-247-0288-6
7. Návod k použití Biovaku EBV-30. Firemní materiály EGO Zlín, spol. s r. o

Korespondence: MUDr. Radek Bárta

Rokycanská nemocnice, a. s.
Anesteziologicko-resuscitační oddělení
Voldužská 750/II
337 22 Rokycany
e-mail:

Do redakce došlo 12. 7. 2010