POLISH HYPERBARIC RESEARCH 4(57)2016
Journal of Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

DEKONTAMINACJA KOMBINEZONU NURKOWEGO

Zbigniew Dąbrowiecki, Małgorzata Dąbrowiecka, Romuald Olszański, Piotr Siermontowski

Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej, Wojskowy Instytut Medyczny

STRESZCZENIE

Praca w warunkach chemicznego lub biologicznego skażenia środowiska jest ekstremalnie niebezpieczna dla służb ratowniczych straży pożarnej, policji i wojska.Nowoczesne kombinezony robocze strażaków, suche kombinezony nurków typu "Viking", wykonane z neoprenu lub nylonu pokrytego poliuretanem, w dostatecznym stopniu zabezpieczają pracujących w nich ludzi. Jednak po opuszczeniu skażonego terenu istnieje konieczność odkażenia zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni kombinezonów, a w celu utrzymania wysokiego komfortu pracy i długiej trwałości odzieży roboczej również przeprowadzenie procedury osuszenia wnętrza kombinezonu.
Dodatkowo istnieje ryzyko przeniesienia patogennych drobnoustrojów pomiędzy osobami używającymi tej samej odzieży roboczej, szczególnie w przypadku drogich, specjalistycznych kombinezonów. Mikroorganizmy, które mogą potencjalnie rozprzestrzeniać się poprzez odzież obejmują bakterie jelitowe, takie jak: Salmonella, Shigella, Campylobacter, E.coli (w tym E.coli O157), C.difficile, wirusy wywołujące infekcje górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego (norowirusy, rotawirusy, adeno- i astrowirusy). Ryzyko kontaminacji obejmuje również wirusy grypy, herpeswirusy oraz patogeny przenoszone poprzez skórę, takie jak S.aureus (w tym MRSA), grzyby drożdżopodobne (Candida albicans), szczepy grzybów wywołujących Tinea pedis (grzybica stóp) i Tinea corporis (grzybica skóry gładkiej). Drobnoustroje chorobotwórcze bardzo łatwo mogą przenosić się z powierzchni tkaniny na powierzchnię ciała pracownika używającego kombinezonu ochronnego.
Z wielu dostępnych technik dekontaminacji powierzchni pomieszczeń, sprzętu i odzieży roboczej proponujemy wykorzystanie w tym celu gazowego nadtlenku wodoru (H_2O_2), bardzo efektywnego środka biobójczego. W warunkach polowych, typowych dla działań grup ratowniczych straży pożarnej, policji i wojska zakładamy użycie mobilnej komory dekontaminacyjnej, w której będzie można przeprowadzić cały proces odkażania.
W trwającym około 3 godzin procesie występują trzy fazy:

- Faza osuszenia;
- Faza dekontaminacji gazowym nadtlenkiem wodoru;
- Faza katalitycznego spalenia pozostałości nadtlenku wodoru do poziomu bezpiecznego dla środowiska.

Wbudowane w komorę czujniki wilgotności i poziomu H_2O_2 będą automatycznie nadzorowały cały proces, a unikalny system rozprowadzenia gazowego H_2O_2 zabezpieczy pełną dostępność czynnika biobójczego do zewnętrznej powierzchni odzieży roboczej oraz do wszystkich miejsc we wnętrzu kombinezonu. W kontenerze można będzie również przeprowadzić pełną dekontaminację sprzętu ratowniczego, noktowizorów, lornetek, komputerów polowych, telefonów, radiostacji, itp. Po zakończeniu cyklu dekontaminacji uzyskujemy całkowicie osuszony kombinezon, który może być bezpiecznie użyty przez dowolnego członka zespołu.
Słowa kluczowe: nurkowanie, kombinezon nurkowy, dekontaminacja.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2016 Vol. 57 Issue 4 pp. 45 - 54
ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535
DOI: 10.1515/phr-2016-0025
Strony: 11, rysunki: 3, tabele: 2
page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 22.11.2016r.
Termin zatwierdzenia do druku: 17.12.2016r.

WSTĘP

Praca w warunkach skażenia chemicznego lub biologicznego środowiska jest ekstremalnie niebezpieczna dla służb ratowniczych straży pożarnej, policji i wojska. Nowoczesne kombinezony robocze strażaków, suche kombinezony nurków typu "Viking" wykonane z neoprenu lub nylonu pokrytego poliuretanem w dostatecznym stopniu zabezpieczają pracujących w nich ludzi. Jednak po opuszczeniu skażonego terenu istnieje konieczność odkażenia zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni kombinezonów, a w celu utrzymania wysokiego komfortu pracy i długiej trwałości odzieży roboczej również przeprowadzenie procedury osuszenia wnętrza kombinezonu.

Dodatkowo, istnieje ryzyko przeniesienia patogennych drobnoustrojów pomiędzy osobami używającymi tej samej odzieży roboczej, szczególnie w przypadkach drogich, specjalistycznych kombinezonów. Mikroorganizmy, które mogą potencjalnie rozprzestrzeniać się poprzez odzież obejmują bakterie jelitowe, takie jak: Salmonella, Shigella, Campylobacter, E.coli (w tym E.coli O157), C.difficile, wirusy wywołujące infekcje górnych dróg oddechowych oraz układu pokarmowego (norawirusy, rotawirusy, adeno i astrowirusy). Ryzyko infekcji obejmuje również wirusy grypy, herpeswirusy, oraz patogeny przenoszone poprzez skórę, takie jak S.aureus (w tym MRSA), grzyby drożdżopodobne (Candida albicans), szczepy grzybów wywołujących Tinea pedis (grzybica stóp) i Tinea corporis (grzybica skóry gładkiej) [1].

Ocenia się, że człowiek może dziennie emitować do środowiska około milion komórek martwego naskórka, które mogą zawierać grzyby i bakterie, w tym *S.aureus* [2].

Przeżywalność drobnoustrojów na różnych powierzchniach zależy od rodzaju tkaniny, wilgotności i temperatury oraz początkowego stężenia patogenu. Neeley i Maley badali przeżywalność 22 gatunków bakterii Gram-dodatnich na takich materiałach jak: 100% bawełna, 60% bawełna+40% poliester, 100% poliester. Wszystkie mikroorganizmy przeżyły, co najmniej 1 dzień, a niektóre z nich nawet 90 dni na wybranych materiałach. Generalnie przeżywalność bakterii, wirusów i grzybów na powierzchniach hydrofobowych, gładkich jest, co najmniej 2-4 razy wyższa od przeżywalności na materiałach typu czysta bawełna (gładka, frotte) lub mieszanek bawełna/poliester [3,4,5].

Drobnoustroje chorobotwórcze bardzo łatwo mogą przenosić się z powierzchni tkaniny na powierzchnię ciała pracownika używającego odzież ochronną. W pracy Sattar i wsp. wykazano, że jednym z najistotniejszych czynników determinujących szybkość transferu patogenu z powierzchni tkaniny na ręce pracownika jest wilgotność materiału. Osuszenie powierzchni może zmniejszyć transfer drobnoustroju aż 10 razy w stosunku transferu z wilgotnej powierzchni do wilgotnej skóry [6].

Z wielu dostępnych technik dekontaminacji powierzchni pomieszczeń, sprzętu i odzieży roboczej wykorzystujemy w tym celu gazowy nadtlenek wodoru (H_2O_2), bardzo efektywny środek biobójczy, który sprawdził się w eradykacji tak groźnych patogenów jak Mycobacterium tuberculosis czy Clostridium difficile [7,8].

MODEL DOŚWIADCZALNY

a) Warunki pracy systemu dezynfekcji powietrza i powierzchni

- Pokój: powierzchnia 9 m^2, wysokość 3,55 m, kubatura 32 m^3.
- Odległość między urządzeniem NOCOSPRAY a punktami kontrolnymi: od 80 cm do 350 cm.
- Urządzenie emitujące aerosol H_2O_2/woda/powietrze:
- Nocospray firmy Oxypharm.
- Szybkość emisji aerosolu: 80 m/s.
- Wielkość kropel: 5 mikronów.
- Zużycie płynu dekontaminującego: 1000 ml/godzinę; 16,6 ml/min.
- Środek dekontaminujący:
  - Nocolyse, stabilizowany roztwór 6 % H_2O_2, zapach neutralny;
  - Nocolyse, stabilizowany roztwór 6 % H_2O_2, zapach mięty;
  - Nocolyse One Shot, stabilizowany roztwór 12 % H_2O_2, zapach neutralny.

b) Układ doświadczalny

W pokoju dekontaminacyjnym umieszczono na stelażu kombinezon nurka (rys. 1) oraz elementy kombinezonu (próbki tkaniny, części metalowe i gumowe), które badane są na kompatybilność materiałową – odporność na wysokie i długotrwałe stężenie H_2O_2 w powietrzu (rys. 2).

Rys. 1. Stelaż z kombinezonem nurka.

Rys. 2. Poszczególne elementy kombinezonu nurka poddane dekontaminacji.

Przestrzenne stężenie gazowego H_2O_2 monitorowano przy pomocy pasków Nocotest.

Zmiana barwy w zakresie od zielonej do brązowej pozwala ustalić stężenie gazowego nadtlenku wodoru w pokoju dekontaminacyjnym (barwa zielona: 0,5-1,00 ppm H_2O_2, barwa ciemno- brązowa powyżej 50 ppm).

Rys. 3. Rozmieszczenie pasków kontrolnych poziomu H_2O_2.

a) Testy mikroorganizmów.

Aby określić skuteczność biobójczą gazowego H_2O_2 w stosunku do bakterii, grzybów i drożdży do badań używano drobnoustrojów wymienionych w tabeli 1. Na zewnętrznej powierzchni kombinezonu nurka wytypowano 10 punktów (strzałki na rys. 1) oraz dodatkowo 8 punktów zlokalizowanych wewnątrz kombinezonu, przeznaczonych do nanoszenia po 100 µl roztworu hodowli nocnej drobnoustrojów w celu kontaminacji doświadczalnej. Po 30 minutach od inokulacji próbek na prawej części kombinezonu (oznaczonej na rys. 1 literą K) badano poziom kontaminacji wykorzystując testy odciskowe firmy Orion. Dodatkowo oznaczano stopień inaktywacji przetrwalników bakterii z gatunku Geobacillus stearothermophilus, używając fiolkowy wskaźnik biologiczny do kontroli sterylizacji nadtlenkiem wodoru, Bionova H_2O_2 (BT91) firmy Terragene.

Tab. 1.

Testowane mikroorganizmy.

Bakterie	
Acinetobacter baumannii	ATCC 17978
Escherichia coli	ATCC 8739
Legionella pneumophila	ATCC 33152
Legionella longbeachae	ATCC 33462
Pseudomonas aeruginosa	ATCC 9027
Staphylococcus aureus,	ATCC 6538
Bakterie przetrwalnikujące	
Geobacillus stearothermophilus	ATCC 7953
Bacillus subtilis,	ATCC 6333
Grzyby,drożdże	
Aspergillus brasiliensis	ATCC 16404
Candida albicans	ATCC 10231

Testy odciskowe Hygicult są przeznaczone do szybkiego monitorowania higieny mikrobiologicznej i/lub wstępnej identyfikacji drobnoustrojów (całkowitej liczby bakterii, drożdży, pleśni i pałeczek jelitowych) na różnego rodzaju powierzchniach. Test można przeprowadzić na miejscu lub użyć podłoża, jako dogodnego sposobu transportu próbek.

Podłoże Hygicult TPC jest pokryte z obu stron agarem Total Plate Count, który ułatwia szybki wzrost większości rozpowszechnionych mikroorganizmów. Test jest przeznaczony do wykrywania podwyższonej liczby całkowitej drobnoustrojów. Podłoże Hygicult Y&F jest pokryte z obu stron agarem Malt, który ułatwia szybki wzrost drożdży i pleśni. Wzrost bakterii jest zahamowany. Test jest przeznaczony do wykrywania podwyższonej liczby grzybów na badanej powierzchni.

Przy użyciu testów Hygicult uzyskujemy wstępną informację nie tylko o stanie czystości mikrobiologicznej, ale również o rodzaju drobnoustroju powodującego kontaminację (w zależności od wybranego testu Hygicult). Pobrane próbki inkubowano przez 24 godziny w cieplarce, w temperaturze 35-37^{0}C. Korzystając z załączonego wzorca, określano stopień zanieczyszczenia w jtk/cm^2.

Biologiczne wskaźniki Bionova H_2O_2 (BT91) pozwalają na monitorowanie procesów dekontaminacji nadtlenkiem wodoru. Każdy wskaźnik składa się z plastikowej fiolki, wewnątrz której znajduje się szklana ampułka z pożywką. Na dno plastikowej fiolki naniesione zostały spory bakterii Geobacillus stearothermophilus, w ilości 2,3 x 10^5 przetrwalników w jednym teście. Dodatkowo, test posiada wskaźnik procesu dekontaminacji na etykiecie każdej fiolki, który zmienia barwę podczas sterylizacji z fioletowej na zieloną.

Przed inkubacją ampułkę należy zgnieść i upewnić się, że pożywka obmyła dno fiolki. Wzrost mikroorganizmów jest obserwowalny poprzez zmianę koloru pożywki z fioletowej na żółtą. Ostateczny wynik otrzymujemy po 24 godz. inkubacji w temperaturze 60^{0}C.

d) Procedura dekontaminacyjna

Instrukcja dołączona do urządzenia Nocospray przewiduje użycie około 1 ml 6% roztworu nadtlenku wodoru (Nocolyse, stabilizowany roztwór 6 % H_2O_2, zapach neutralny) na 1 m^3 pomieszczenia poddawanego dekontaminacji. Przy kubaturze 31 m^3 po około 2 min emisji zakładano 30 minutowy okres oddziaływania nadtlenku wodoru na wszystkie powierzchnie w pomieszczeniu, ze szczególnym uwzględnieniem kombinezonu nurkowego. Penetrację nadtlenku wodoru do wewnętrznych powierzchni kombinezonu zabezpieczał system cyrkulacji powietrza wymuszony działającym wentylatorem. Po tym czasie następował okres 30 minutowej wentylacji całego pomieszczenia, poprzez system działającego dygestorium. Wejście do pomieszczenia było dopuszczalne po obniżeniu stężenia H_2O_2 w powietrzu do poziomu poniżej 1 ppm.

Przy stosowaniu do dekontaminacji 12% roztworu nadtlenku wodoru (Nocolyse One Shot, stabilizowany roztwór 12 % H_2O_2, zapach neutralny) okres obniżenia poziomu H_2O_2 do 1ppm wynosił 60 minut.

Maksymalny czas emisji nadtlenku wodoru w wykonanych doświadczeniach wynosił 12 minut, co odpowiadało zużyciu 200 ml roztworu odpowiednio 6% lub 12% H_2O_2.

WYNIKI

Dekontaminacja pomieszczenia roboczego roztworem Nocolyse, zawierającym 6 % H_2O_2, przy 2 minutowym czasie emisji i 30 minutowym całkowitym czasie dekontaminacji gwarantowała dostępność nadtlenku wodoru do wszystkich punktów pomiarowych pomieszczenia. Niestety rozkład stężeń nadtlenku wodoru był niejednorodny. Również poziom redukcji obecności mikroorganizmów na badanych powierzchniach wykazał częściową nieskuteczność procesu dekontaminacji, szczególnie względem bakterii przetrwalnikujących. Stosowanie roztworu Nocolyse, 6% H_2O_2, było skuteczne dopiero przy 12 minutowej emisji i całkowitym czasie dekontaminacji wynoszącym 6 godzin.

Podwyższenie stężenia emitowanego nadtlenku wodoru z 6% do 12%, czyli zastosowanie preparatu Nocolyse One Shot spowodowało radykalne skrócenie efektywnego czasu dekontaminacji przy uzyskaniu 100% skuteczności biobójczej.

Łącznie przeprowadzono 5 dekontaminacji z wykorzystaniem Nocolyse 6% przy różnych czasach emisji i efektywnym czasie dekontaminacji wynoszącym od 30 minut do 24 godzin. Ilość dekontaminacji z użyciem Nocolyse One Shot wyniosła 6 ekspozycji przy czasie emisji od 2 do 20 minut i efektywnym czasie dekontaminacji wynoszącym od 120 do 360 minut. Po zakończeniu dekontaminacji, każdorazowo wykonywano wentylację pomieszczenia w celu usunięcia śladowych ilości nadtlenku wodoru (do bezpiecznego poziomu poniżej 1 ppm).

W celu określenia kompatybilności materiałowej, czyli odporności elementów konstrukcyjnych kombinezonu nurkowego na wysokie i długotrwałe stężenie H_2O_2 w powietrzu, ekspozycje z wykorzystaniem Nocolyse One Shot stosowane będą, z częstotliwością 1-2 doświadczenia na tydzień przez okres 6 miesięcy, w 2017 roku.

Tab. 2.

Efekty dekontaminacji nadtlenkiem wodoru - badania obecności drobnoustrojów na powierzchni kombinezonu nurkowego.

Drobnoustrój	Lokalizacja odległość od Nocospray, cm	H_2O_2 %	Emisja min	Czas min	Wynik Od 1+ do 5+, od 10^2 do 10^5 jtk patogenu w punkcie poboru próby 0 – brak patogenu	Uwagi
Wszystkie z tabeli 1	Kombinezon, 150 cm	0	0	0	5+	Kontrola
Test BT91	stół, 60 cm	0	0	0	5+	Kontrola
Test BT 91	Górna powierzchnia szafki podwieszanej, 200 cm	0	0	0	5+	Kontrola
Test BT 91	Okno, 300 cm	0	0	0	5+	Kontrola
Wszystkie z tabeli 1	Kombinezon, 150 cm	6	2	30	Bakterie 0 B.subtilis 3+ G.stearotherm. 5+ grzyby, drożdże, 0	H_2O_2
Test BT 91	stół, 60 cm	6	2	30	5+	H_2O_2
Test BT 91	Górna powierzchnia szafki podwieszanej, 200 cm	6	2	30	5+	H_2O_2
Test BT 91	Okno, 300 cm	6	2	30	5+	H_2O_2
Test BT 91	Kombinezon, 150 cm, stopy	6	2	30	5+	
Wszystkie z tabeli 1	Kombinezon, 150 cm	12	12	120	0	H_2O_2 One shot
BT 91	stół, 60 cm	12	12	120	0	H_2O_2
BT 91	Górna powierzchnia szafki podwieszanej, 200 cm	12	12	120	0	H_2O_2
BT 91	Okno, 300 cm	12	12	120	0	H_2O_2
BT 91	Kombinezon, 150 cm, stopy	12	12	120	0	H_2O_2

DYSKUSJA

Przeprowadzone doświadczenia wykazały wysoką skuteczność biobójczą mieszaniny nadtlenek wodoru/woda/powietrze, emitowanej przez urządzenie Nocospray firmy Oxyphram. Szczególnie efektywnym środkiem okazał się preparat Nocolyse One Shot, zawierający 12 % stabilizowany roztwór nadtlenku wodoru. Poziom skażenia mikrobiologicznego badanych powierzchni, po przeprowadzonej procedurze dekontaminacyjnej, był znacznie poniżej poziomu akceptowalnego w środowisku szpitalnym [9]. Ręczne odkażanie powierzchni (ogólnodostępne detergenty połączone z chlorowym wybielaczem) nie gwarantowały tak skutecznej biobójczości, szczególnie na wewnętrznej powierzchni kombinezonu nurkowego. Obserwacje te były zgodne z pracą Coopera i wsp. [10].

Zastosowanie, jako rutynowego wskaźnika biologicznego oceniającego skuteczność biobójczą nadtlenku wodoru testu BT91, wykorzystującego spory bakterii *Geobacillus stearothermophilus* potwierdziło zasadę, że likwidacja obecności na powierzchni bakterii przetrwalnikujących jest gwarancją likwidacji również innych bakterii, wirusów, grzybów i pleśni [11].

Stosowanie 12 % roztworu nadtlenku wodoru, przy emisji rzędu od 5 do 10 ml Nocolyse One Shot na m^3 pomieszczenia roboczego gwarantowało pełną penetrowalność czynnika biobójczego nawet do bardzo wąskich przestrzeni (średnica 9 mm, głębokość 45 mm).

Cyrkulacja mieszaniny dekontaminacyjnej wymuszona obiegiem powietrza wewnątrz kombinezonu umożliwiła całkowite odkażenie wnętrza butów oraz innych trudno dostępnych powierzchni odzieży ochronnej i roboczej.

BIBLIOGRAFIA

1. International Scientific Forum on Home Hygiene 2011, The chain of infection transmission in the home and everyday life settings, and role of higiene in reducing the risk of infection . dostępne na stronie http://www.ifh-homehygiene.org;
2. Noble WC. Dispersal of skin microorganisms. British Journal of Dermatology 1975;93:477-85;
3. Neely AN, Maley MP. Survival of enterococci and staphylococci on hospital fabrics and plastic. Journal of Clinical Microbiology 2000;38:724-6;
4. Brady MT, Evans J, Cuartas J. Survival and disinfection of parainfluenza viruses on environmental surfaces. American Journal of Infection Control 1990;146:47-51;
5. Neely AN,Orloff MM. Survival of some medically important fungi on hospital fabrics and plastics. Journal of Clinical Microbiology 2001;39:3360-1;
6. Sattar SA, Springthorpe S, Mani S, Gallant N, Nair RC, Scott E, Kain J. Transfer of bacteria from fabrics to hands: development and application of quantitative method using Staphylococccus aureus as model. Journal of Applied Microbiology 2001;90:962-70;
7. Grare M, Dailloux M, Simon L, Dimajo P, Laurain C. Efficay od Dry Mist of Hydrogen Peroxide (DMHP) against Mycobacterium tuberculosis and use of DMHP for Routine Decontamination of Biosafety Level 3 Laboratories. Journal of Clinical Microbiology 2008:2955-2958;
8. Barbut F, Manuet D, Verachten M, Girou E. Comparison of the Efficacy of a Hydrogen peroxide Dry-Mist Disinfection System and Sodium Hypochlorite Solution for Eradication Clostridium difficile Spores. Infection Control and Hospital Epidemiology 2009;30:507-514;
9. Dancer SJ, How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospital. J.Hosp Infect 2004;56: 10-15;
10. Cooper RA, Griffith CJ, Malik RF, Obee P,Looker N. Monitoring the effectiveness of cleaning in four British hospitals. J Hosp Infect 2007;35: 338-341;
11. Heckert RA, Best M, Jordan LT, Dulac GC, Eddington DL, Sterritt WG. Efficacy of Vaporized Hydrogen Peroxide against Exotic Animal Viruses. App. Envirin.Microbiol.1997; 63:3916-3918.

dr n. biol. Zbigniew Dąbrowiecki
Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18
tel: 604291581
e-mail: zdabrowiecki@wim.mil.pl