

DECONTAMINATION OF A DIVING SUIT

DEKONTAMINACJA KOMBINEZONU NURKOWEGO

ДЕКОНТАМИНАЦИЯ ГИДРОКОСТЮМА

DEKONTAMINATION VON TAUCHERANZÜGEN

DESCONTAMINACIÓN DE TRAJES DE BUZO

Zbigniew Dąbrowiecki, Małgorzata Dąbrowiecka, Romuald Olszański, Piotr Siermontowski

Maritime & Hyperbaric Medicine Department, Military Institute of Medicine
Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej, Wojskowy Instytut Medyczny

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

When working in chemical or biological environments, contamination is an extremely dangerous issue for the rescue services of the fire department, police and the army.

Modern protective overalls worn by fire fighters or dry "Viking" diving suits made from neoprene or nylon covered with polyurethane, have been proven to ensure sufficient protection. However, once the contaminated area is left, there is a need to perform decontamination of the external and internal surfaces of the protective overalls; in order to ensure the clothing continues to offer a high level of comfort and to retain the durability of said protective clothing, it is of course also necessary to perform a drying procedure.

Moreover, there is a risk of a transfer of pathogenic micro-organisms between persons utilising the same protective clothes, particularly in the case of expensive specialist suits. Micro-organisms which may potentially spread through clothing include intestinal bacteria, such as: Salmonella, Shigella, Campylobacter, E. coli (including E. coli O157), C. difficile, viruses inducing infections of the upper respiratory tract and alimentary tract (noraviruses, rotaviruses, adeno and astroviruses). The risk of infection also involves the presence of the flu viruses, herpesviruses and pathogens transferred through skin, such as S. aureus (including MRSA), yeast-like fungi (Candida albicans), fungal strains inducing Tinea pedis and Tinea corporis [1]. Pathogenic micro-organisms can easily transfer from fabric surface onto the body of a person wearing protective clothing.

From the numerous available techniques of decontamination of surfaces, equipment and protective clothing we propose to use for this purpose gaseous hydrogen peroxide (H₂O₂), a very effective biocidal agent. In field conditions, typical for the activities of rescue crews of the fire department, police and army we assume utilisation of a portable decontamination chamber enabling performance of a complete decontamination process.

The process lasting approximately 3 hours encompasses 3 phases:

- Drying phase;
- Decontamination with gaseous hydrogen peroxide;
- Catalytic combustion phase of hydrogen peroxide residues to a level safe for the environment.

The integrated humidity and H₂O₂ level sensors ensure automatic control of the entire process and the unique distribution system of gaseous H₂O₂ secures full accessibility of the biocidal agent to the external surface of protective clothing as well as its interior. Moreover, the container allows for the conduction of the complete decontamination of the rescue equipment, night vision devices, binoculars, field telephones, radio stations, etc. Upon decontamination cycle completion, we obtain a completely dried suit which can be safely used by another crew member.

Key words: diving, diving suit, decontamination.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2016 Vol. 57 Issue 4 pp. 45 - 54

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2016-0025

Pages: 11, figures: 3, tables: 2

page **www** of the periodical: www.phr.net.pl

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 22.11.2016r.

Termin zatwierdzenia do druku: 17.12.2016r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



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 rozprzestrzenić 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 nadtlenu 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 odkażenia.

W trwającym około 3 godzin procesie występują trzy fazy:

- Faza osuszenia;
- Faza dekontaminacji gazowym nadtlakiem wodoru;
- Faza katalitycznego spalania pozostałości nadtlenu 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.

Работа в условиях химического или биологического загрязнения среды является экстремально опасной для спасательных пожарных служб, полиции и армии. Современные рабочие комбинезоны пожарных, сухие гидрокостюмы ныряльщиков типа "Викинг", сделанные из неопрена или нейлона, покрытого полиуретаном, в достаточной степени защищают работающих в них людей. Но после оставления зараженной территории существует необходимость обеззараживания внешней и внутренней поверхности комбинезонов, а для обеспечения высокого комфорта работы и износостойкости рабочей одежды необходима также сушка гидрокостюма внутри. Дополнительно существует риск переноса патогенных микроорганизмов между людьми, использующими одну и ту же рабочую одежду, особенно в случае дорогих и специализированных гидрокостюмов. Микроорганизмы, которые могут потенциально распространяться через одежду, включают такие кишечные бактерии, как: Salmonella, Shigella, Campylobacter, E.coli (а также E.coli O157), C.difficile, вирусы, вызывающие инфекции верхних дыхательных путей и пищеварительного тракта (норовирусы, ротавирусы, адено- и астровирусы). Риск контаминации включает также вирусы гриппа, герпеса, а также патогены, передаваемые через кожу, такие как S. aureus (в том числе MRSA), дрожжеподобные грибки (Candida albicans), споры грибов, вызывающих Tinea pedis (грибковое заболевание стоп) и Tinea corporis (грибковое заболевание гладких кожных покровов). Безвредные микроорганизмы могут очень легко переноситься с поверхности ткани на поверхность тела работника, использующего гидрокостюм.

Из множества доступных техник деkontaminации поверхности помещений, оборудования и рабочей одежды мы предлагаем использовать для этих целей газообразную перекись водорода (газовую форму перекиси водорода) (H_2O_2) - очень эффективное обеззараживающее средство. В полевых условиях, типичных для работы спасательных групп пожарной службы, полиции и армии, мы предполагаем использование мобильной деkontaminационной камеры, в которой можно будет осуществить весь процесс обеззараживания.

В процессе, длящемся около 3 часов, существуют 3 фазы:

- Фаза сушки;
- Фаза деkontaminации газообразной перекисью водорода;
- Фаза каталитического сжигания остатков перекиси водорода до безопасного для окружающей среды уровня.

Встроенные в камеру датчики влажности и уровня H_2O_2 будут автоматически контролировать весь процесс, а уникальная система распределения газообразной перекиси водорода обеспечит полный доступ бактерицидного фактора к наружной поверхности рабочей одежды, а также во все места внутри гидрокостюма. В контейнере можно будет также проводить полную деkontaminацию спасательного оборудования, nokтовизоров, биноклей, полевых компьютеров, телефонов, радиостанций и т.п. После окончания цикла деkontaminации мы получаем полностью высушенный гидрокостюм, который может быть безопасно использован любым членом команды.

Ключевые слова: ныряние, гидрокостюм, деkontaminация.

Die Arbeit unter Bedingungen der chemischen oder biologischen Kontamination ist für Rettungsdienste, die Feuerwehr, die Polizei und das Militär extrem gefährlich. Moderne Arbeitsanzüge der Feuerwehr, trockene Taucheranzüge vom Typ "Viking", hergestellt aus mit Polyurethan beschichtetem Neopren oder Nylon schützen die Personen, die diese bei der Arbeit tragen. Nach Verlassen des kontaminierten Geländes ist es jedoch notwendig, die äußere und innere Fläche der Anzüge zu desinfizieren und das Innere eines Anzuges zu trocknen, um so den Komfort bei der Arbeit und eine möglichst lange Lebensdauer der Arbeitskleidung zu gewährleisten. Hinzu kommt das Risiko der Übertragung pathogener Mikroorganismen zwischen Personen, die die gleiche Arbeitskleidung verwenden, insbesondere im Fall von teuren, spezialisierten Arbeitsanzügen. Mikroorganismen, die sich möglicherweise durch die Kleidung ausbreiten können, umfassen Enterobakterien wie: Salmonellen, Shigella, Campylobacter, E. coli (einschließlich E. coli O157), C. difficile, Viren-Infektionen der oberen Atemwege und des Verdauungstraktes (noroviruses, Rotaviren, Adeno und Astrovirus). Das Risiko der Kontamination umfassen auch Influenza-, Herpesviren und Krankheitserreger, die über die Haut übertragen werden, wie beispielsweise S. aureus (einschließlich MRSA), Pilze, Hefe (Candida albicans), Stämme von Pilzen, die Tinea pedis hervorrufen (Fußspilz) und Tinea corporis (Tinea corporis). Pathogene Mikroorganismen können sich sehr leicht von der Oberfläche des Gewebes auf den Körper eines Mitarbeiters, der einen Schutzanzug verwendet, übertragen.

Unter den vielen verfügbaren Techniken der Dekontaminierung der Oberfläche von Räumen, Geräten und Arbeitskleidung schlagen wir die Verwendung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) vor, eines sehr wirksamen Biozids.

Unter realen "Feldbedingungen", die typisch für die Aktionen von Rettungsteams, der Feuerwehr, der Polizei oder des Militärs sind, setzen wir die Verwendung einer mobilen Dekontaminationseinheit voraus, in der die gesamte Dekontamination durchgeführt werden kann.

Der rund 3 Stundendauernde Prozess erfolgt in drei Phasen:

- Trockenphase;
- Dekontaminierungsphase mit Wasserstoffperoxid;
- Phase der katalytischen Verbrennung der Wasserstoffperoxid-Rückstände in einer für die Umwelt verträglichen Weise.

Die in die Kammern eingebauten Feuchtigkeitssensoren und die H_2O_2 -Kontrolle überwachen den gesamten Prozess, das einzigartige System zur Verteilung von gasförmigem H_2O_2 gewährleistet die volle Verfügbarkeit biozider Mittel für die innere Oberfläche der Bekleidung sowie sämtliche Stellen im Inneren des Schutzanzuges. Im Container kann man die vollständige Dekontaminierung der Rettungsausrüstung, der Nachtsichtgeräte, der Ferngläser, der Feldcomputer, Telefone und Funkgeräte vornehmen. Nach Abschluss der Dekontamination erhalten wir einen völlig trockenen Schutzanzug, der von einem anderen Mitglied des Teams vollkommen sicher wieder verwendet werden kann.

Schlüsselwörter: tauchen, taucheranzug, dekontamination.

Trabajar en entornos afectados por contaminación química o biológica es extremadamente peligroso para las unidades de rescate de bomberos, policía o ejército. Los modernos trajes que utilizan los bomberos, trajes de buzo secos tipo "Viking", realizados en neopreno o nylon recubierto de poliuretano, protegen en un nivel suficiente al personal que trabaja con ellos. Sin embargo, una vez fuera de la zona contaminada es necesario desinfectar la superficie tanto exterior como interior de los trajes, así como proceder a un exhaustivo secado del interior del traje para poder garantizar un alto confort y una gran durabilidad de la ropa de trabajo. Además existe el riesgo de transmisión de microorganismos patógenos entre usuarios que utilicen la misma ropa de trabajo, especialmente en aquellos casos en los que se utilicen trajes caros y especializados. Los microorganismos que podrían extenderse potencialmente a través de la ropa incluyen bacterias entéricas, como: Salmonella, Shigella, Campylobacter, E.coli (incluida la E.coli O157), C.difficile; virus que causan infecciones en el tracto respiratorio superior y el aparato digestivo (norovirus, rotavirus, adenovirus y astrovirus). El riesgo de contaminación también incluye al virus de la gripe, al virus del herpes y a patógenos transmitidos a través de la piel, como el S. aureus (incluido el MRSA), levaduras (Candida albicans) y cepas de hongos causantes de la Tinea pedis (pie de atleta) y la Tinea corporis. Los microorganismos patógenos pueden desplazarse muy fácilmente desde la superficie del tejido a la piel del cuerpo de la persona que utilice el traje de protección.

De las innumerables técnicas de descontaminación de superficies, equipos y ropa de seguridad existentes, recomendamos el uso del peróxido de hidrógeno (H_2O_2), un biocida muy efectivo, para este fin. En condiciones de campo, típicas en misiones de rescate de bomberos, policía o grupos del ejército, podemos suponer la existencia de unidades de descontaminación móviles, en las que es posible llevar a cabo todo el proceso de descontaminación.

En este proceso, que tiene una duración aproximada de 3 horas, se pueden distinguir tres fases:

- Fase de secado;
- Fase de descontaminación con peróxido de hidrogeno en forma de gas;
- Fase de combustión catalítica de los restos de peróxido de hidrógeno a un nivel seguro para el medio ambiente.

Los sensores de humedad y de nivel de H_2O_2 con los que viene equipada la cámara controlarán de forma automática todo el proceso, mientras que un sistema único de distribución de H_2O_2 en estado gaseoso garantiza un acceso pleno del agente biocida hacia la superficie exterior de la ropa de trabajo, así como hacia cualquier espacio en el interior del traje. Dentro del contenedor también se podrá realizar la total descontaminación de los equipos de rescate, dispositivos de visión nocturna, prismáticos, ordenadores de campo, teléfonos, equipos de radio, etc. Una vez concluido el ciclo de descontaminación obtendremos un traje completamente seco, que podrá ser utilizado de forma totalmente segura por cualquier miembro del equipo.

Palabras clave: submarinismo, trajes de buzo, descontaminación.

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 rękę 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].

INTRODUCTION

Working in chemical or biological environment contamination is extremely dangerous for the rescue services of the fire department, police and the army. Modern protective overalls worn by fire fighters or dry "Viking" diving suits made from neoprene or nylon covered with polyurethane, have been proven to ensure sufficient protection. However, once the contaminated area is left, there is a need to perform decontamination of the external and internal surface of protective overalls; in order to ensure the clothing continues to offer a high level of comfort and to retain the durability of said protective clothing, it is of course also necessary to perform a drying procedure.

Additionally, there is a risk of a transfer of pathogenic micro-organisms between people using the same clothing, particularly in the case of expensive specialist overalls. Micro-organisms which may potentially spread through clothing include intestinal bacteria, such as: *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *E. coli* (including *E. coli* O157), *C. difficile*, viruses inducing infections of the upper respiratory tract and alimentary tract (noraviruses, rotaviruses, adeno and astroviruses). The risk of infection is moreover connected with the flu viruses, herpesviruses and pathogens transferred through skin, such as *S. aureus* (including MRSA), yeast-like fungi (*Candida albicans*), fungal strains inducing *Tinea pedis* and *Tinea corporis* [1].

It is estimated that a human can daily emit into the environment approximately one million dead skin cells which may contain fungi and bacteria, including *S. aureus* [2].

The survival rate of micro-organisms on various surfaces depends on fabric type, humidity and temperature as well as initial pathogen concentration. Neeley and Maley have studied the survival rate of 22 Gram-positive bacteria species on such materials as: 100% cotton, 60% cotton+40% polyester, 100% polyester. All micro-organisms survived at least 1 day, whilst some even up to 90 days on selected materials. Generally, the survival rate of bacteria, viruses and fungi on hydrophobic smooth surfaces is at least 2-4 times higher as compared with such materials as pure cotton (smooth, terry fabrics) or cotton/polyester mixtures [3,4,5].

Pathogenic micro-organisms can easily transfer from a fabric surface onto the body of a person wearing protective clothing. In the work by Sattar et al. it has been indicated that one of the most crucial factors determining the speed of transfer of a pathogen from fabric surface onto a person's hands consists in fabric humidity. Drying of a surface may reduce the transfer of a micro-organism up to 10 times in relation to the transfer from a humid surface onto a humid skin [6].

From the numerous available techniques of decontamination of surfaces, equipment and protective clothing we decided to use for this purpose gaseous hydrogen peroxide (H_2O_2), a very effective biocidal agent applied, for instance, in the eradication of such dangerous pathogens as *Mycobacterium tuberculosis* or *Clostridium difficile* [7,8].

MODEL DOŚWIADCZALNY

a) Warunki pracy systemu dezynfekcji powietrza i powierzchni

- Pokój: powierzchnia 9 m², wysokość 3,55 m, kubatura 32 m³.
- Odległość między urządzeniem NOCOSPRAY a punktami kontrolnymi: od 80 cm do 350 cm.
- Urządzenie emitujące aerosol H₂O₂/woda/powietrze:
- Nocospray firmy Oxypharm.
- Szybkość emisji aerosolu: 80 m/s.
- Wielkość kropeł: 5 mikronów.
- Zużycie płynu dekontaminującego: 1000 ml/godzinę; 16,6 ml/min.
- Środek dekontaminujący:
 - Nocolyse, stabilizowany roztwór 6 % H₂O₂, zapach neutralny;
 - Nocolyse, stabilizowany roztwór 6 % H₂O₂, zapach mięty;
 - Nocolyse One Shot, stabilizowany roztwór 12 % H₂O₂, 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 H₂O₂ w powietrzu (rys. 2).

EXPERIMENTAL MODEL

a) Working conditions of an air and surface disinfection system

- Room: area 9 m², height 3.55 m, cubature 32 m³.
- Distance between NOCOSPRAY device and control points: between 80 cm and 350 cm.
- Device emitting H₂O₂/water/air aerosol: Nocospray manufactured by Oxypharm.
- Aerosol emission speed: 80 m/s.
- Drop size: 5 microns.
- Decontamination liquid consumption: 1000 ml/hour; 16.6 ml/min.
- Decontaminating agent:
 - Nocolyse, stabilised solution 6 % H₂O₂, neutral odour;
 - Nocolyse, stabilised solution 6 % H₂O₂, mint odour;
 - Nocolyse One Shot, stabilised solution 12 % H₂O₂, neutral odour;

b) Experimental model

A diving suit was placed on a rack in the decontamination room (fig. 1) along with other suit components (fabric samples, metal and rubber parts) to perform material compatibility tests – resistance to a high and long-lasting H₂O₂ concentration in the air (fig. 2).



Fig. 1. A rack with the diving suit.

Rys. 1. Stelaż z kombinezonym nurka.



Fig. 2. Particular diving suit components subjected to decontamination.

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 nadtlenu wodoru w pokoju dekontaminacyjnym (barwa zielona: 0,5-1,00 ppm H_2O_2 , barwa ciemno-brązowa powyżej 50 ppm).

Spatial concentration of gaseous H_2O_2 was monitored with the use of Nocotest strips.

The colour change from green to brown enables determination of the concentration of gaseous hydrogen peroxide in the decontamination room (green: 0.5-1.00 ppm H_2O_2 , dark brown above 50 ppm).



Fig. 3. The placement of H_2O_2 concentration test strips.

Rys. 3. Rozmieszczenie pasków kontrolnych poziomu H_2O_2 .

c) Testy mikroorganizmów.

Aby określić skuteczność biobójczą gazowego H₂O₂ 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 H₂O₂ (BT91) firmy Terragene.

c) Micro-organism tests.

In order to determine the biocidal efficiency of gaseous H₂O₂ in relation to bacteria, fungi and yeasts, the tests were conducted with the use of micro-organisms specified in table 1. 10 points were assigned on the external surface of the diving suit (see arrows in fig.1), and an additional 8 points in the internal part for the placement of 100 µl of an overnight micro-organism culture solution to perform experimental decontamination. 30 minutes from sample inoculation on the right part of the suit (marked with letter K in fig. 1) the contamination level was tested with the use of the Orion imprint test. Moreover, the level of inactivation of the spores of the *Geobacillus stearothermophilus* bacteria species was determined by use of a vial biological indicator for hydrogen peroxide sterilisation testing, Bionova H₂O₂ (BT91) manufactured by Terragene.

Tab. 1.

The tested micro-organisms.

Testowane mikroorganizmy.

Bacteria	
<i>Acinetobacter baumannii</i>	ATCC 17978
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 8739
<i>Legionella pneumophila</i>	ATCC 33152
<i>Legionella longbeachae</i>	ATCC 33462
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 9027
<i>Staphylococcus aureus</i> ,	ATCC 6538
Spore-forming bacteria	
<i>Geobacillus stearothermophilus</i>	ATCC 7953
<i>Bacillus subtilis</i> ,	ATCC 6333
Fungi, yeasts	
<i>Aspergillus brasiliensis</i>	ATCC 16404
<i>Candida albicans</i>	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 cieplarni, w temperaturze 35-37°C. Korzystając z załączonego wzorca, określano stopień zanieczyszczenia w jtk/cm².

Biologiczne wskaźniki Bionova H₂O₂ (BT91)

Hygicult imprint tests are designed for a fast monitoring of microbiological hygiene and/or initial micro-organism identification (total count of bacteria, yeasts, mould and intestinal bacilli) on various surfaces. The test may be conducted on-site or with the use of a substrate as a convenient transport medium for samples.

The Hygicult TPC test is covered on both sides with Total Plate Count agar, which enables a fast growth of the majority of common micro-organisms. The test is dedicated for the detection of an elevated total count of micro-organisms. The second Hygicult TPC test is covered on both sides with Malt agar, which enables a fast growth of yeast and mould. Bacteria growth is inhibited. The test is dedicated for the detection of an elevated total count of fungi on surfaces.

Hygicult tests provide initial information on microbiological purity as well as the type of a micro-organism which causes contamination (depending on the selected Hygicult test). The samples were incubated at the temperature of 35-37°C for 24 hours. The contamination level was determined according to the provided model in jtk/cm². Biological indicators Bionova H₂O₂ (BT91) enable monitoring of hydrogen peroxide decontamination processes. Each indicator consists of a plastic vial with a glass ampoule with a culture medium placed inside.



pozwalają na monitorowanie procesów dekontaminacji nadtlakiem 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 $2,3 \times 10^5$ 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°C.

d) Procedura dekontaminacyjna

Instrukcja dołączona do urządzenia Nocospray przewiduje użycie około 1 ml 6% roztworu nadtlaku wodoru (Nocolyse, stabilizowany roztwór 6% H_2O_2 , zapach neutralny) na 1 m³ pomieszczenia poddawanego dekontaminacji.

Przy kubaturze 31 m³ po około 2 min emisji zakładano 30 minutowy okres oddziaływania nadtlaku wodoru na wszystkie powierzchnie w pomieszczeniu, ze szczególnym uwzględnieniem kombinezonu nurkowego. Penetrację nadtlaku 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 nadtlaku 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 nadtlaku 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 nadtlaku wodoru do wszystkich punktów pomiarowych pomieszczenia. Niestety rozkład stężeń nadtlaku 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 nadtlaku 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

Geobacillus stearothermophilus bacteria spores were provided at the bottom of the plastic vial in the quantity of 2.3×10^5 spores in a single test. Moreover, the test includes a decontamination process indicator provided on the label of each vial, which changes its colour during sterilisation from violet to green.

Before the incubation, the ampoule is to be crushed and the culture medium is to be spread over the bottom of the vial. The micro-organism growth is observable with a change in the culture medium colour from violet to yellow. The final result is obtained after the lapse of 24 hours of incubation at the temperature of 60°C.

d) Decontamination procedure

The instruction attached to the Nocospray device provides for the use of 1 ml of 6% hydrogen peroxide solution (Nocolyse, stabilised solution 6% H_2O_2 , neutral odour) on an area of 1 m³ of the room subject to decontamination.

With the cubature of 31 m³ it was assumed that following approximately 2 minutes of emission, a 30-minute period of hydrogen peroxide activity should be ensured on all surfaces in the room, with particular attention paid to the diving suit. Hydrogen peroxide penetration of internal surfaces of the suit was secured with an air circulation system operated by a fan. This was followed by a 30-minute ventilation of the entire room through an active fume hood system. Entry into the room was permitted upon H_2O_2 concentration reduction in the air to the level below 1 ppm.

During the decontamination with the use of a 12% hydrogen peroxide solution (Nocolyse One Shot, stabilised solution 12% H_2O_2 , neutral odour) the reduction of H_2O_2 concentration level to 1ppm lasted 60 minutes.

The maximum hydrogen peroxide emission time in the performed experiments was 12 minutes, which corresponded to the use of 200 ml of 6% or 12% H_2O_2 solution respectively.

RESULTS

The decontamination of the tested room with Nocolyse 6% H_2O_2 , solution with a 2-minute emission time and a 30-minute total decontamination time guaranteed hydrogen peroxide accessibility to all measurement points in the room. Unfortunately, the distribution of hydrogen peroxide concentrations varied. Also, the level of reduction of the presence of micro-organisms on the tested surfaces indicated partial ineffectiveness of the decontamination process, especially with regard to spore-forming bacteria. The application of Nocolyse 6% H_2O_2 was efficient only with a 12-minute emission period and total decontamination time of 6 hours.

The change in the concentration of emitted hydrogen peroxide from 6% to 12%, i.e. the application of a Nocolyse One Shot preparation, resulted in a radical shortening of the effective decontamination time and allowed the obtainment of a 100% biocidal efficacy.

The experiment encompassed 5 decontamination procedures with the use of Nocolyse 6% and various emission times and an effective decontamination time lasting between 30 minutes and 24 hours. The decontamination with the use of Nocolyse One Shot encompassed 6 exposures with the emission time

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 nadtlenu 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.

between 2 to 20 minutes and effective decontamination time ranging between 120 to 360 minutes. Upon completion of each decontamination procedure, the room was ventilated in order to remove trace levels of hydrogen peroxide (to a safe level below 1 ppm).

In order to determine material compatibility, i.e. the resilience of construction elements of the diving suit to a high and long-lasting H_2O_2 concentration in the air, the exposure with the use of Nocolyse One Shot will be continued in the year 2017 with the frequency of 1-2 experiments per week over a period of 6 months.

Tab. 2.

The effects of hydrogen peroxide decontamination — tests for the presence of micro-organisms on the surface of a diving suit.

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

Micro-organism	Location distance from Nocospray, cm	H_2O_2 %	Emission min	Time min	Result From 1+ to 5+, from 10^2 to 10^5 jtk pathogen at the sample point 0 – no pathogen	Comments
All from table 1	Suit, 150 cm	0	0	0	5+	Control
BT91 Test	table, 60 cm	0	0	0	5+	Control
BT 91 Test	Upper surface of a suspended cabinet, 200 cm	0	0	0	5+	Control
BT 91 Test	Window, 300 cm	0	0	0	5+	Control
All from table 1	Suit, 150 cm	6	2	0	Bacteria 0 B.subtilis 3+ G.stearotherm. 5+ fungi, yeasts, 0	H_2O_2
BT 91 Test	table, 60 cm	6	2	0	5+	H_2O_2
BT 91 Test	Upper surface of a suspended cabinet, 200 cm	6	2	0	5+	H_2O_2
BT 91 Test	Window, 300 cm	6	2	0	5+	H_2O_2
BT 91 Test	Suit, 150 cm, feet	6	2	0	5+	
All from table 1	Suit, 150 cm	12	12	20	0	H_2O_2 One shot
BT 91	table, 60 cm	12	12	20	0	H_2O_2
BT 91	Upper surface of a suspended cabinet, 200 cm	12	12	20	0	H_2O_2
BT 91	Window, 300 cm	12	12	20	0	H_2O_2
BT 91	Suit, 150 cm, feet	12	12	20	0	H_2O_2

DYSKUSJA

Przeprowadzone doświadczenia wykazały wysoką skuteczność biobójczą mieszaniny nadtlenu wodoru/woda/powietrze, emitowanej przez urządzenie Nocospray firmy Oxyphram. Szczególnie efektywnym środkiem okazał się preparat Nocolyse One Shot, zawierający 12% stabilizowany roztwór nadtlenu 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

DISCUSSION

The conducted experiments showed a high biocidal efficiency of the hydrogen peroxide/water/air mixture emitted by the Nocospray device manufactured by Oxypharm. A particularly effective preparation was Nocolyse One Shot containing 12% stabilised hydrogen peroxide solution. The degree of microbiological contamination of the tested surfaces following the decontamination procedure was greatly below the acceptable level in a hospital environment [9]. Manual surface decontamination (using generally available detergents combined with a chloride bleach) did not guarantee comparable biocidal properties, especially on the external surface of a diving suit. The observations were consistent with the work by Cooper et al. [10].



były zgodne z pracą Coopera i wsp. [10].

Zastosowanie, jako rutynowego wskaźnika biologicznego oceniającego skuteczność biobójczą nadtlenu 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 nadtlenu wodoru, przy emisji rzędu od 5 do 10 ml Nocolyse One Shot na m³ pomieszczenia roboczego gwarantowało pełną penetrowalność czynnika biobójczego nawet do bardzo wąskich przestrzeni (średnica 9 mm, głębokość 45mm).

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

The use of the BT91 test as a routine biological indicator evaluating the biocidal effectiveness of hydrogen peroxide using *Geobacillus stearothermophilus* spores has confirmed the principle that the elimination of the presence of spore-forming bacteria from a surface guarantees liquidation of other bacteria, viruses and mould [11].

The application of a 12% hydrogen peroxide solution with the emission of 5 to 10 ml Nocolyse One Shot per one m³ of the tested room has guaranteed full penetrability of the biocidal agent even into very narrow spaces (diameter 9 mm, depth 45 mm).

The circulation of the decontamination mixture forced through air circulation inside the suit enabled a complete decontamination of the interiors of boots and other difficult-to-access areas of protective clothing.

BIBLIOGRAPHY

1. International Scientific Forum on Home Hygiene 2011, The chain of infection transmission in the home and everyday life settings, and role of hygiene 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 *Staphylococcus aureus* as model. *Journal of Applied Microbiology* 2001;90:962-70;
7. Grare M, Dailoux M, Simon L, Dimajo P, Laurain C. Efficacy of 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. Environ. 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