

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

Wojciech Witkowski

# Leczenie ran oparzeniowych powstałych w wyniku użycia białego fosforu w warunkach polowych

## Treatment of burn wounds resulting from battlefield white phosphorus usage

☒ Oddział Kliniczny Chirurgii Plastycznej, Rekonstrukcyjnej i Leczenia Oparzeń, Centralny Szpital Kliniczny MON Wojskowego Instytutu Medycznego, ul. Szaserów 128, 04-141 Warszawa, Tel.: (22) 681 72 19, Fax: (22) 610 01 64, e-mail: wojwit@wim.mil.pl

Wpłynęło: 06.07.2011

Zaakceptowano: 07.11.2011

**Streszczenie:** Biały fosfor jest używany w wielu typach pocisków w działaniach wojennych, ale także w wielu sytuacjach cywilnych życia codziennego, przemysłu i rolnictwa. Zapala się samoistnie w kontakcie z powietrzem, powoduje specjalną kategorię głębokich oparzeń oraz toksyczne uszkodzenie wielu narządów. Zgon następuje nawet w przypadku oparzenia niewielkich powierzchni ciała. Artykuł jest przeglądem możliwości leczenia, szczególnie wskazówek pierwszej pomocy, wstępnego leczenia, szybkiej neutralizacji wbitych cząstek białego fosforu oraz opracowania dotkniętych działaniem fosforu obszarów, także zaleceń wczesnej pomocy chirurgicznej oraz rekomendacji sposobów leczenia. Opisano aktualną wiedzę na temat wpływu fosforu białego na porażonych oraz wysiłki w celu poprawy optymalnej pomocy medycznej na polu walki. Autor jest konsultantem wojskowej służby zdrowia w dziedzinie chirurgii plastycznej i leczenia oparzeń.

**Słowa kluczowe:** fosfor biały | pomoc medyczna | poszkodowani na polu walki

**Abstract:** White phosphorus is used in many types of military munitions at military area as well as in civilian situations like fireworks, industrial and agricultural products. It ignites spontaneously on contact with air and causes special category deep burns and the byproduct of burning is extremely toxic causing severe damage of multiple organs. Death may result even with small white phosphorus burn areas. The article is the review of treatment modalities especially of first aid directives, initial care, prompt neutralization of embedded white phosphorus particles and debridement of affected skin areas also early surgical aid and management recommendations as well. Actual knowledge on white phosphorus effects in military casualties and efforts to improve the optimal medical battlefield aid are described. The author is Military Health Service consultant in plastic surgery and burns management.

**Key words:** battlefield casualties | medical aid procedures | white phosphorus

## Wstęp

Fosfor biały (ang. white phosphorus), znany w slangu polowym jako Willy Pete, jest chemicznym środkiem zapalającym (zwłaszcza w mieszankach) i parzącym, wszechobecnym na współczesnym polu walki. Stanowi nie tylko potencjalne zagrożenie dla wojsk, lecz także stwarza realny problem obrażeń pola walki, który wymaga od żołnierzy i personelu medycznego specjalnej wiedzy, wyposażenia i nawyków dających szansę skutecznej pomocy poszkodowanym w szczególnych warunkach działań polowych.

Fosfor biały jest używany w celach sygnalizowania, oświetlania i nawigacji, zmniejszania widoczności obiektów własnych przez przeciwnika, np. zapory (zasłony) dymne, i zapalania sprzętu oraz obiektów przeciwnika, usuwania przeciwnika ukrytego w bunkrach, okopach, skrytkach ziemnych, zabudowaniach, a także w celu wywołania niekorzystnego efektu psychologicznego u wroga, którego pokonanie w tych warunkach wymagałoby znacznych ofiar, także wśród wojsk własnych [1, 2].

Oparzenia fosforem białym mogą się zdarzyć również w warunkach cywilnych – w katastrofach przemysłowych lub podczas stosowania sztucznych ogni, u pracowników wytwórni fajerwerków, nawozów sztucznych, zapalek, trutek na gryzonie, pestycydów, detergentów, pasty do zębów, wytwarzających pociski i bomby fosforowe. Do historii wojny w Iraku przeszło zmasowane użycie środków bojowych zawierających fosfor biały w bitwie o Faludżę (Irak), która miała miejsce w dniach 8–20 listopada 2004 roku, zastosowanych głównie w celach iluminacji pola walki, ustawiania zasłon dymnych, oznaczania flarami kolorowych dymów bunkrów przeciwnika. Jednakże nie ustrzeżono się masowych, i jak określają świadkowie, brutalnych oraz straszliwych w skutkach oparzeń fosforem wśród ludności cywilnej. Wojskowi i politycy określają fosfor biały jako sugestywną broń psychologiczną i za pomocą manipulacji definicyjnej usprawiedliwiają stosowanie tego czynnika rażenia, nie

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

bacząc na realne i ciężkie skutki zdrowotne jego użycia. Żołnierze amerykańscy określają go cynicznie jako „shake and bake” (wstrząśnij i piecz).

Czysty fosfor biały zapala jedynie materiały łatwopalne: siano, słomę czy benzynę, dlatego w pociskach i bombach zapalających jest on stosowany dodatkowo z olejem, ropą naftową, z sodem, potasem, siarką i termitem. W tych postaciach, jego stosowania nie można uznać za humanitarne i psychologiczne. Fosfor biały jest ekstremalnie toksyczny; dawka śmiertelna wynosi 50 do 100 mg. Oparzenia nim spowodowane są bardzo bolesne, głębokie, wielomiejscowe oraz różnorodnej wielkości. Są trudne w leczeniu, a skażenie fosforem białym jest niebezpieczne dla udzielających pomocy oraz dla środowiska. Wobec protestów społeczności międzynarodowych (Amnesty International, IRC, Human Rights Watch) oraz wobec powtarzających się przypadków rażenia ludności cywilnej podczas stosowania środków pola walki zawierających fosfor biały, NATO zweryfikowało i ograniczyło zakres stosowania środków bojowych zawierających tę substancję, tak aby możliwie skutecznie chronić ludność cywilną, co jednakże nie zawsze jest wykonalne, albowiem wróg, bojownicy lub terroryści często ukrywają się i zagrażają wojskom stabilizacyjnym poprzez wzmieszanie się w skupiska ludności i chronienie się w obiektach cywilnych. Użycie fosforu białego jako środka rażenia ludzi jest zabronione Konwencją Genewską z 1980 roku. Jedyną dopuszczalną formą jest użycie fosforu jako konwencjonalnego narzędzia wojennego (oświetlenie, zasłony dymne). Prawo wojenne Stanów Zjednoczonych, które do dziś nie podpisały Art. III Konwencji, patrzy na to zagadnienie nieco inaczej. Mimo protestów społecznych i środowisk naukowych, a także medycznych (wątpliwości natury prawnej i humanitarnej), nie ma obecnie tendencji do całkowitego wyeliminowania fosforu białego ze środków rażenia pola walki. Liczne przypadki używania tej substancji w środkach rażenia, notowane obecnie na wszystkich bez wyjątku obszarach konfliktów zbrojnych, wymagają od niosących pomoc medyczną znajomości zasad postępowania z porażonymi fosforem białym, z raną lub ranami oparzeniowymi powstałymi jako rezultat jego specyficznego działania oraz umiejętności minimalizacji zagrożeń z tego wynikających, dla siebie i innych, którym niosą pomoc.

## Omówienie

Fosfor biały pali się w obecności powietrza spontanicznie, jest silnie toksyczny i bardzo niebezpieczny. Wszelkie drogi kontaktu, takie jak wdychanie jego oparów, połknięcie i wchłanianie substancji, bezpośrednio uszkadzają tkanki w stopniu ostrym, jak i przewlekłym.

Spala się aż do całkowitego wypalenia, stąd jest tak niebezpieczny dla ludzi. Może powodować, o ile nie jest usu-

nięty mechanicznie, miejscowe przepalenie wszystkich tkanek na wylot (nie wyłączając kości), łatwo pali skórę i topi mięśnie. Wykazuje silne właściwości ultra lipofilne i ze względu na silne działanie, zawsze powoduje oparzenia pośrednie i głębokie, nie powoduje oparzeń I stopnia. Uszkodzenia oparzeniowe są bardzo bolesne i mają formę czarnego, twardego strupa, otoczonego strefą pęcherzy oparzeniowych o rozległej powierzchni, zwłaszcza w wyniku użycia bomb fosforowych.

Pod wpływem reakcji z lipidami skóry i tłuszczem tkanki podskórnej, fosfor wchłania się i penetruje w głąb tkanek, co może być przyczyną trudności w gojeniu się ran. Rozproszony jego cząstki neutralizują się jedynie przez samospalenie; trwa to tak długo, aż cały proces się skończy. Fosfor przez tę samokonsumpcję produkuje ciepło około 1000°C, pogłębiając oparzenie. W trakcie spalania pobiera wodę z tkanki, tworząc dodatkowo kwas fosforowy.

Płonący fosfor można doraźnie ugasić wodą, albowiem do ponownego zapłonu wystarczy pobieranie przez niego wolnych rodników tlenowych ze struktury chemicznej wody lub jej wyparowanie i w ten sposób kontakt z tlenem powietrza. Jednakże, niepłonący fosfor biały można przechowywać wyłącznie pod wodą i kroić go pod wodą lub w nafcie albo glicerolu. Płonącego fosforu nie można skutecznie ugasić bez całkowitego zamknięcia dostępu powietrza. Laboratoryjnie może on być przechowywany w nafcie oczyszczonej lub glicerolu. Jedynym sposobem ugaszenia jest całkowite zamknięcie dopływu tlenu za pomocą materiałów nieprzepuszczających powietrza.

Fosfor biały jest substancją nierozpuszczalną w wodzie, trudno rozpuszcza się w alkoholu etylowym, łatwo wchłania się pod wpływem substancji oleistych i tłuszczów, ma białą barwę, jest woskowato miękki, przeświecający, o gęstości 1,82 g/cm<sup>3</sup>, żółknący pod wpływem światła. Utlenianiu fosforu towarzyszy zjawisko luminescencji, świecenia w ciemności. Jest to substancja I klasy niebezpieczeństwa pożarowego, temperatura samozapłonu posiada wartość już powyżej 34°C, a temperatura płomienia fosforu używanego w środkach bojowych wynosi około 2000°C, ponadto wykazuje cechę rozprysku podczas procesu spalania. Fosfor biały używany w wojsku jest wysokoenergetyczny i niezwykle eksplozywny w reakcji z tlenem. Wybucha spontanicznie płomieniem w kolorze żółtym i ulega wtedy oksydacji do pięciotlenku fosforu. Nawet pozornie wypalony, miejscowo zostawia cząstki na obwodzie i podlega reignicji (ponownemu samozapłonowi), dlatego najmniejsze cząstki białego fosforu nie mogą pozostawać na umundurowaniu czy skórze żołnierza lub w najbliższym otoczeniu. Dym powstający podczas palenia się fosforu białego jest bardzo gęsty, posiada wysoką temperaturę i ogranicza widoczność, a dodatkowo efekt ten pogłębia zwiększona wilgotność powietrza. Ta własność palącego się fosforu posiada rozległe zastosowanie połowe z powodu możliwości skutecznego zastosowania go w stawianiu za-

słon dymnych (ang. smoke screen). Powstałe opary zasłaniają przeciwnikowi widoczność ludzi, sprzętu bojowego i obszarów pola walki; są nieocenione w walkach ulicznych. W 1994 roku, w bitwie o miasto Groznyj w Czeczenii, większość pocisków artyleryjskich czy moździerzowych stanowiły pociski dymne, fosforowe. Pięciotlenek fosforu powstały w wyniku powstania dymu ulega konwersji pod wpływem wilgoci powietrza w kwas fosforowy, który przy dłuższym czasie ekspozycji jest drażniący miejscowo dla skóry, oczu (łzawienie, światłowstręt, skurcz powiek) i śluzówek dróg oddechowych. Może pojawić się ekstremalnie silny kaszel, całkowicie uniemożliwiający stosowanie przez żołnierzy masek przeciwgazowych. Większość dymów w zasłonach dymnych powstałych z fosforu białego czy czerwonego i ilość fosforu utrzymująca się w stężeniach tzw. dymowych nie jest niebezpieczna dla wojsk. W wyższych stężeniach, w pomieszczeniach zamkniętych lub słabo wentylowanych, przy dłuższym czasie ekspozycji (zwłaszcza w pobliżu źródła emisji) mogą być one niebezpieczne dla zdrowia lub nawet spowodować śmierć człowieka. Szybkie wyjście ze strefy działania powoduje zwykle ustąpienie dolegliwości i nie wymaga podjęcia leczenia. W przypadkach użycia środków rażenia lub innych środków polowych zawierających fosfor, mogą pojawić się systemowe objawy toksyczne (zatrucie, hemoliza) we krwi i narządach wewnętrznych [1–3], o ile nie podejmie się żadnych procedur leczniczych i zapobiegających toksycznemu wpływowi fosforu na organizm człowieka; wojskowych i ludności cywilnej znajdujących się w strefie rażenia.

Działanie urazotwórcze fosforu białego na organizm odbywa się trójtorowo: przez działanie miejscowe – uszkodzenia i oparzenia, przez wdychanie dymu oraz poprzez przedostanie się fosforu do ustroju drogą doustną. Bardzo ważne jest więc postępowanie miejscowe polegające na użyciu 5% wodnego roztworu dwuwęglanu sodu i strumienia bieżącej wody czy fizjologicznego roztworu soli kuchennej, mające na celu neutralizację kwasu fosforowego (metafosforowy i ortofosforowy), oraz mechaniczne usunięcie cząstek fosforu z powierzchni skóry. W przeszłości niektóre procedury pomocy polowej zalecały w tym celu stosowanie 2–3% roztworu siarczanu miedzi, co jeszcze dotąd jest praktykowane w niektórych armiach. Jednakże badania brytyjskie wykazały jego toksyczność i wywoływanie hemolizy, stąd obecnie kategorycznie nie zaleca się stosowania tej metody neutralizacji, poza krótkim spłukiwaniem skóry 0,1–0,2% wodnym roztworem siarczanu miedzi.

Ze względu na podkreślony już powyżej fakt, fosfor biały w wyniku swojego toksycznego działania powoduje głębokie oparzenia i uszkodzenia wielomiejscowe o dużej rozległości. Urazy te cechują się cięższym przebiegiem niż klasyczne oparzenia termiczne, a ryzyko zgonu jest znacznie wyższe niż w oparzeniach termicznych przy tej samej powierzchni. Zgon może nastąpić nawet przy minimalnych polach oparzonej powierzchni [1, 2].

Chou i wsp. w ramach pierwszej pomocy grupie siedmiu porażonych, do momentu dostarczenia poszkodowanych do ośrodka klinicznego neutralizowali i identyfikowali cząsteczki fosforu za pomocą 1% roztworu siarczanu miedzi, następnie naturalizowali czynnik parzący ciągłym płukaniem fizjologicznym roztworem soli kuchennej i utrzymując miejsca kontaminowane w chłodzeniu grubymi wilgotnymi kompresami, nawilżonymi 0,9% roztworem NaCl [3]. Następnie wykonywano natychmiastowy debridement, po czym stosowano czasowe pokrycie ran po głębokim wycięciu cząstek fosforu razem z ranami przez nie spowodowanymi skórą świńską albo definitywne przeszczepami skóry [3]. Równocześnie prowadzono monitorowanie czynności serca, poziomu elektrolitów oraz zwalczano hypokalcemię przez podawanie dożylnie glukonianu wapnia. Siarczanu miedzi w żadnym wypadku nie należy stosować w formie dłużej utrzymywanego kompresu, ze względu na dodatkowe własności toksyczne tego związku, powodujące ciężką hemolizę. Do płukania w celu neutralizacji fosforu nadaje się jedynie 0,1–0,2% wodny roztwór siarczanu miedzi. Roztwór 3% siarczanu miedzi może służyć do neutralizacji fosforu poza organizmem człowieka i w wielu armiach jest kategorycznie zabroniony w dużym stężeniu [1, 3].

Po wybuchu bojowego środka rażenia w postaci zapalającej bomby fosforowej lub pocisku artyleryjskiego, granatu, pocisku z granatnika albo zastosowania innych form środków polowych zawierających fosfor, np. smug oświetlających czy wielkich flar oświetlających pozycje wojsk, płonący fosfor opada na ziemię również w formie cząstek rozbryzgowych (efekt deszczu), także z daleka od celu ataku, co odpowiada za wiele małych ognisk rażenia żołnierza na całej powierzchni ciała (także osłoniętej ubraniem), znajdującego się nawet w znacznej odległości od wybuchu. Dopóki fosfor nie jest fizycznie usunięty z powierzchni, podlega ponownemu samozapłonowi z wywoływaniem wszystkich znanych efektów wpływu na organizm, zarówno poszkodowanego, jak i udzielającego pomocy personelu medycznego, oraz na środowisko zewnętrzne. Po zduszeniu płonących cząstek i odkryciu miejsca kontaminacji, fosfor ponownie ulega zapłonowi. W ramach podstawowych polowych procedur samopomocy i pomocy koleżeńskiej należy szybko zdjąć umundurowanie skażone fosforem lub płonącym fosforem, zanim przepali on mundur lub ubranie i znajdzie się na skórze poszkodowanego. Jeśli cząstki fosforu znajdują się na skórze (najczęściej odkrytej), należy zdusić płomień za pomocą wody, mokrego materiału lub nawet błota, szlamu. Miejsca, na których znajduje się fosfor biały, muszą być bezwzględnie przykryte wilgotnym materiałem, całkowicie uniemożliwiającym kontakt z powietrzem, dopóki cząstki fosforu nie zostaną mechanicznie usunięte. Wojska Stanów Zjednoczonych dysponują opatrunkiem Water-Jel, który wchodzi w skład zestawu IFAK (Individual First Aid Kit), jako specyficznym dla ratowania żołnierzy po kontaminacji

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

fosforem białym. Jednakże na skuteczność tego opatrunku poza wstępnymi wynikami badań nie ma pełnego naukowego uzasadnienia, zwłaszcza że powierzchnia tego opatrunku dostępna w zestawie indywidualnym jest niewielka, bo wynosi 4×16 cali, a zawarty w nim olej z drzewa herbacianego (*Melaleuca alternifolia*) może być przyczyną wzmocnienia toksycznego działania fosforu we wczesnej fazie kontaminacji. W trakcie eksperymentów przeprowadzonych na poligonie w Maryland w ramach projektu II TRI nr CO8066, testowano ten hydrożel na obojętnym podkładzie metalowym (rozmiar 4×4 cale), stwierdzając jego skuteczne właściwości kontroli i całkowitego ugaszenia płonącego fosforu białego oraz zabezpieczenia przed jego ponownym samozapaleniem przez 30 minut, podczas gdy opatrunek kontaminowany fosforem i nasączony wodą ulegał ponownemu samozapłonowi w czasie 1–5 minut. Jak twierdzą badacze, dotąd nie poznano podobnie skutecznego środka, jednak stosując go nie można było opanować problemu późnego uszkodzenia cieplnego wokół działania cząstek fosforu i wymaga to dalszych badań w zakresie pochłaniania ciepła przez hydrożel. Wyniki uzyskane w eksperymentach na zwierzętach nie były tak jednoznaczne, ponieważ zarówno opatrunek hydrożelowy, jak i wodny, wykazywały podobne zdolności kontroli ponownego samozapłonu fosforu. Z badań izraelskich Eldada i Simona z 1991 roku wykonanych na szczurach wynika, że najskuteczniejszą metodą ratowania życia zwierząt doświadczalnych oparzonych fosforem było ciągle płukanie powierzchni pokrytych fosforem wodą (copious water irrigation) [4, 5]. Neutralizację cząstek powstających w wyniku palenia się fosforu kwasu uzyskać można dodatkowym płukaniem wodnym roztworem 5% dwuwęglanu sodowego. Stosowanie siarczanu miedzi w roztworze lub emulsji powodowało zgon zwierząt nawet nieoparzonych fosforem.

W ramach czynności ratowniczych należy spróbować za wszelką cenę, nie bacząc na ból, usunąć cząstki fosforu za pomocą noża, bagnetu, patyka, pensety lub innych dostępnych przedmiotów, najlepiej pod wodą lub zwilżając wodą, aby nie dopuścić do ponownego samozapalenia cząstek fosforu. Możliwość usunięcia daje również pocieranie wilgotnym materiałem lub innym dowolnym niekontaminowanym fosforem materiałem, np. koszulą, ręcznikiem, płótnem itp. Materiał może być zwilżony wodnym roztworem sodu oczyszczonej (3–5%). Do zgaszenia płonącego fosforu w ekstremalnych sytuacjach braku czegokolwiek można zastosować również mocz lub błoto. Nie wolno dotykać fosforu palcami, nawet w rękawiczkach.

Wielokrotnie jednak mechaniczne usunięcie fosforu nie jest możliwe ze względu na jego wbicie (wżarcie się) w tkaniki i w takich przypadkach wymaga to czynności bardziej zaawansowanych na dalszych poziomach pomocy medycznej. Osoba (żołnierz) udzielając pomocy koledze, powinna pamiętać o tym, że sam ratownik jest w trakcie tych czynności

nażony na niebezpieczeństwo kontaminacji fosforem i na wdychanie jego oparów i dymów (zapach czosnku). Stąd zawsze ratownik musi ustawić się z wiatrem, tak aby dym ze spalającego się lub tłącego fosforu na ciele poszkodowanego nie oddziaływał na niego bezpośrednio. Jak dotąd, nie odnotowano żadnych doniesień o przypadkach śmierci z powodu wdychania dymu fosforowego na otwartej przestrzeni. Zasadą jest, aby żołnierz lub inny porażony, u którego pozostają na ciele cząstki nieusuniętego fosforu, znajdował się pod nadzorem ratownika aż do momentu całkowitego usunięcia fosforu lub w celu niedopuszczenia do samozapłonu pozostałych na ciele cząstek, przez utrzymywanie szczelności wilgotnego opatrunku przed niepożądanym dostępem powietrza. Mogą okazać się niezbędne kilkakrotne płukania kontaminowanej powierzchni skóry wodą, fizjologicznym roztworem soli lub 5% roztworem sodu oczyszczonej. Dalsze postępowanie jest zależne od sytuacji bojowej oraz możliwości udzielania pomocy medycznej. W rejonie pomocy medycznej (sala opatrunkowa w samochodzie) usuwa się cząstki, które dotąd nie zostały usunięte. Fosfor, który wżera się w głąb tkanki (nawet przez kość), powodując pogłębienie obrażeń i efekty toksyczne, może wymagać procedur chirurgicznych celem wczesnego i definitywnego jego usunięcia, co wiąże się z koniecznością ewakuacji na wyższy poziom, zależnie od aktualnych możliwości i zakresu pomocy medycznej określonego w rozkazie bojowym. Należy pamiętać, że fosfor pozostający na powierzchni ciała lub ubrania (umundurowania) nadal może być niebezpieczny dla personelu medycznego oraz innych rannych i porażonych przebywających w tych samych namiotach medycznego punktu pomocy, o ile fosfor nie jest skutecznie i ostatecznie usunięty. Należy pamiętać o neutralizacji powstających wtórnie kwasów fosforowych przez płukanie roztworem dwuwęglanu sodu i irygację wodną, co ułatwia usunięcie dalszych, widocznych cząstek fosforu. Czasem cząstki te można poznać i zlokalizować jedynie po dymieniu ze skóry, najczęściej są one widoczne jako czarne plamy, a w ciemności świecą. Pomocna, a nawet niezbędna w lokalizacji cząstek fosforu białego jest lampa UV Wooda, której cząstki pod wpływem światła wykazują zjawisko niebieskobladej fosforescencji. W świetle dziennym ogniska fosforu są woskowo-żółte. Nie wolno stosować we wczesnym okresie żadnych substancji olejowych ani tłustych maści, dopóki nie ma pewności, że wszystkie cząstki, bez wyjątku, zostały usunięte. Po całkowitym usunięciu fosforu rany traktuje się tak, jak klasyczne rany po oparzeniach termicznych.

Usuwanie cząstek fosforu muszą być zabezpieczone tak, by nie stanowiły źródła zagrożenia dla innych ludzi przebywających w rejonie pomocy medycznej (przez stosowanie odpowiednich kontenerów z gliceryną, wodą lub usunięcie ich jak najdalej od wojsk, w miejscach, gdzie fosfor mógłby ulec samowypaleniu, bez szkody dla ludzi i zwierząt). Fosfor na powierzchni ziemi zmienia się po krótkim czasie w sub-

stancję nieaktywną; głęboko w ziemi, na dnie rzek lub jezior może być niebezpieczny przez ponad tysiąc lat. Brak możliwości prostego usunięcia fosforu z powierzchni skóry ranego często wymaga wycięcia, które ma charakter głęboki i szcancowy, co oznacza wycięcie tkanek w strefie nieskażonej fosforem przez ich usunięcie tak głęboko, jak wymaga tego sytuacja miejscowa. Powstałe ubytki skóry powinny być zabezpieczone srebrowym absorbcyjnym opatrunkiem skórozastępczym, przeszczepem skóry allogenicznej lub świńskiej, względnie własnopochodnym (autogennym) przeszczepem skóry. Inne konieczne złożone zabiegi rekonstrukcyjne powinny być odroczone i odbywać się w okresie podostrym (do 6 tygodni), z użyciem metod ekspansji tkankowej lub nawet technik mikrochirurgicznego transferu tkanek [6–8].

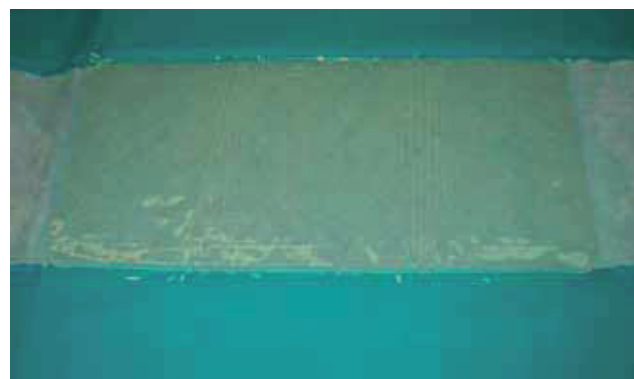
Poważnym problemem chirurgicznym i zagrożeniem życia porażonego są cząstki fosforu, które przedostają się w głąb tkanek, jam ciała na powierzchni odłamków pocisków lub bomb, przez co ułatwione jest silne działanie toksyczne fosforu na strumień krwi (hemoliza), serce, wątrobę i nerki (zespół niewydolności wielonarządowej). Leczenie miejscowe w takiej sytuacji jest technicznie ograniczone i zwykle polega na niedopuszczaniu powietrza do kanału penetracji odłamka. Jeśli nie można usunąć szrapnela, ostateczny toksyczny efekt działania fosforu praktycznie wobec braku możliwości usunięcia kontaminowanego odłamka w niektórych przypadkach jest przesądzony. Należy pamiętać, że śmierć chorego ze względu na właściwości toksyczne fosforu może spowodować nawet niewielki obszar oparzenia; z tego względu oparzenia fosforem białym różnią się pod względem rokowania od klasycznych oparzeń termicznych. Gaz o nazwie fosfina ( $\text{PH}_3$ ), powstający w wyniku absorpcji fosforu do krwi, powoduje ostrą niewydolność serca. W większości przypadków fosfor pozostaje we krwi przez 1–3 dni w formie kwasu fosforowego i zgon chorego następuje szybko, bez widocznych zmian.

Postępowanie ogólne z chorym porażonym fosforem białym nie różni się jednak od typowej procedury leczenia wstrząsu oparzeniowego – obejmuje standardowe zasady resuscytacji płynami regulowanej diurezą godzinową i intensywne monitorowanie czynności życiowych chorego. Oparzenia powierzchowne bez cząstek fosforu na powierzchni należy leczyć tak, jak klasyczne oparzenia. Przy obecności fosforu należy obowiązkowo go usunąć, a jeśli się nie da tego zrobić w ramach pierwszej pomocy, należy wykonać płukanie ciągle roztworem fizjologicznym soli oraz dwuwęglanem sodu i przesłać pacjenta do wykonania oczyszczenia w zaciemnionym pomieszczeniu (fosfor świeci) lub w świetle lampy UV Wooda na wyższym poziomie pomocy medycznej. Dokonywanie debridement w pomieszczeniach zamkniętych (namiotach, salach opatrunkowych w samochodach itp.) na poziomach pomocy medycznej może (poprzez uwalnianie się toksycznego dymu na skutek spalania

cząstek fosforu) przy dłuższym wchłanianiu spowodować poważne, ostre zmiany zapalne płuc oraz podrażnienia drzewa oskrzelowego porażonych i personelu medycznego, a także innych osób znajdujących się w pobliżu. Może spowodować szereg istotnych następstw zdrowotnych, jak bóle brzucha, żółtaczka, wymioty, ślinotok, podrażnienie spojówek oczu, śluzówki nosa i inne. Należy wtedy wykonać płukanie spojówek 5% wodnym roztworem dwuwęglanu sodu (10–15 minut).

## Komentarz

W związku z pojawiającymi się informacjami o możliwości użycia białego fosforu w działaniach w Afganistanie, powstała konieczność pilnego podjęcia prac nad uzyskaniem możliwości poprawienia wyposażenia polowych zestawów opatrunkowych oraz osobistego wyposażenia żołnierza w środki opatrunkowe, które byłyby zdolne do działania również w przypadku oparzeń fosforem białym, nie wyłączając fosforu płonącego, który równocześnie musi być ugaszony. Eksperymentalne badania poligonowe specjalistów amerykańskich ujawniły przydatność opatrunku hydrożelowego. Słabą stroną tego opatrunku jest zawartość substancji olejowej, co jest poważnym argumentem świadczącym przeciwko jego stosowaniu w tych wskazaniach, ponieważ wszelkie tłuszcze i substancje olejowe radykalnie i raptownie przyspieszają wchłanianie fosforu i produktów jego przemiany do krwi. Taką samą rolę pełni własna tkanka tłuszczowa porażonego po przedostaniu się fosforu do poziomu tkanki podskórnej. Obecnie nie dysponujemy opatrunkiem, który idealnie wypełniałby wymogi stawiane opatrunkowi zdolnemu do działania w przypadku oparzeń fosforem białym. Tymczasowo naśladujemy rozwiązanie amerykańskie, wykorzystując klasyczny oparzeniowy opatrunek hydrożelowy. Obecnie pracujemy nad koncepcją modyfikacji istniejącego hydrożelu (Ryc. 1), który byłby całkowicie bezwodny, nieprzepuszczalny dla tlenu i szczelny na tyle, by



Ryc. 1. Przykładowy opatrunek hydrożelowy. W obecnej formie nie nadaje się do zwalczania skutków kontaminacji fosforem białym. Stanowi on jednak szkielet rozwojowy dla konstrukcji nowego opatrunku.

! Artykuł jest dostępny na zasadzie dozwolonego użytku osobistego. Dalsze rozpowszechnianie (w tym umieszczanie w sieci) jest zabronione i stanowi poważne naruszenie przepisów prawa autorskiego oraz grozi sankcjami prawnymi.

natychmiast zdusić i ugasić płonący fosfor i nie dopuścić do reignicji fosforu w ranie, pozwalając tym samym na swobodny, bezpieczny transport porażonego do odpowiedniego poziomu pomocy medycznej, oraz schładzać powierzchnię rany. Opatrunek taki musiałby także być na tyle uniwersalny, by spełniać również swoje zadanie w przypadku oparzeń termicznych.

Wydaje się, że należy udoskonalać polski opatrunek hydrożelowy poprzez wprowadzenie do jego struktury elementów uszczelniających o naturze nietłuszczowej i nieoleistej (alginat sodu w mieszaninie z gliceryną) oraz nietoksycznych, neutralizujących soli srebra, jak azotan srebra, octan srebra lub innych związków srebra.

Badacze wojskowej służby zdrowia pracują obecnie nad takim składem opatrunku i samym opatrunkiem, który byłby transparentny, pozwalałby na łatwą inspekcję rany, powodowałby skuteczną chemiczną enkapsulację cząstek fosforu, uniemożliwiającą zarówno jego spalanie, reignicję, jak i wchłanianie. Ważnym jest również, aby opatrunek był rozpuszczalny w wodzie, tworzył film, który można łatwo usunąć, oraz delikatnie przylegał i chronił ranę przed zakażeniem.

W chwili obecnej nie istnieje opatrunek, który spełniałby wymogi pożądanej skuteczności w zetknięciu z fosforem

białym, stąd ochrona przed skutkami jego działania, zarówno parzącego, jak i toksycznego, jest wysoce niewystarczająca i enigmatyczna.

Konflikt interesów: nie zgłoszono.

## Piśmiennictwo

1. Davis KG. Acute management of white phosphorus burn. *Mil Med* 2002;167(1):83–84.
2. Al Barqouni LN, Skaik SI, Shaban NR, Barqouni N. White phosphorus burn. *Lancet* 2010;376(9734):68.
3. Chou TD, Lee TW, Chen SL. The management of white phosphorus burns. *Burns* 2001;27(5):492–497.
4. Eldad A, Simon GA. The phosphorous burns – a preliminary comparative experimental study of various forms of treatment. *Burns* 1991;17(3):198–200.
5. Eldad A, Wisoki M, Cohen H et al. Phosphorous burns: evaluation of various modalities for primary treatment. *J Burn Care Rehabil* 1995;16(1):49–55.
6. Conner JC, Bebartha VS. Images in clinical medicine. White phosphorus dermal burns. *N Engl J Med* 2007;357(15):1530.
7. Frank M, Schmucker U, Nowotny T, Ekkernkamp A, Hinz P. Not all that glitters is gold: civilian white phosphorus burn injuries. *Am J Emerg Med* 2008;26(8):974.e3–e5.
8. Kumar AR, Harshbarger R, Martin B. Plastic surgery challenges in war wounded. In: Sen CK (ed.). *Advances in Wound Care*. Mary Ann Liebert Inc, New York, 2010, pp. 65–69.