

Medyczne aspekty zagrożenia wystąpieniem choroby popromiennej w Polsce

Medical aspects of threat of radiation sickness in Poland

Wiesław Wiktor Jędrzejczak

Katedra i Klinika Hematologii, Onkologii i Chorób Wewnętrznych WUM w Warszawie;
kierownik: prof. dr hab. med. Grzegorz W. Basak

Streszczenie. Prawdopodobieństwo wystąpienia choroby popromiennej w Polsce jest bardzo małe ze względu na to, że Polska ma niewielką liczbę własnych źródeł promieniowania jonizującego, a także dlatego, że zagrożenie zarówno radiacyjnym atakiem terrorystycznym, jak i wojną jądrową jest bardzo małe, co jednak nie oznacza, że nie istnieje. Polska, posiadając ponad 20 ośrodków przeszczepiania komórek krwiotwórczych, może zabezpieczyć we własnym zakresie nawet dość duży wypadek radiacyjny. Ponieważ w przygotowaniu do przeszczepienia szpiku wykorzystuje się napromienienie na całe ciało, personel tych ośrodków jest przygotowany do obsługi takich chorych. Natomiast przygotowanie na wypadek wykorzystania bomby jądrowej, w którym porażonych będą tysiące ludzi, jest ograniczone. Trzeba jednak podkreślić, że będzie to w znacznie większym stopniu problem ogólnospołecznym, organizacyjnym i psychologicznym, niż *stricte* medycznym. Pod względem medycznym będzie to głównie problem wykorzystania na masową skalę podstawowych sposobów opieki nad osobami z uszkodzonym układem krwiotwórczym i zapewnienia godnego umierania osobom z innymi zespołami choroby popromiennej, których nie będzie można uratować.

Słowa kluczowe: bomba jądrowa, skażenie promieniotwórcze, terroryzm

Abstract. Probability of radiation sickness to occur in Poland is very small as Poland has a limited number of its own sources of ionizing radiation and because a threat of terrorist attack with radioactive material, or a threat of a nuclear war is very low. We cannot, however, exclude its possibility. Poland with over 20 bone marrow transplant centers can manage even a relatively large-scale radiation accident. As in preparation for a bone marrow transplantation total body irradiation is routinely used, a personnel of such centers is prepared to take care of irradiated persons. However, in case of a nuclear bomb attack, when numbers of victims could amount to thousands, the possibilities would be quite limited. It should be stressed however, that, in such case the problem would more pertain to society, organization and psychology than be limited to medical aspects. From the medical point of view, it will concern a mass scale introduction of basic principles of care of people with hematopoietic system injuries and provision of end of life care to people with other syndromes of radiation poisoning, whose life could not be saved.

Key words: nuclear bomb, radioactive contamination, terrorism

Nadesłano: 11.09.2019. Przyjęto do druku: 13.12.2019
Nie zgłoszono sprzeczności interesów.
Lek. Wojsk., 2020; 98 (1): 36–41
Copyright by Wojskowy Instytut Medyczny

Adres do korespondencji
prof. dr hab. med. Wiesław W. Jędrzejczak
Katedra i Klinika Hematologii,
Onkologii i Chorób Wewnętrznych WUM
ul. Banacha 1a, 02-097 Warszawa
tel. +48 22 599 28 18, faks + 48 22 599 14 18
e-mail: wieslaw.jedrzejczak@wum.edu.pl

Wstęp

Wydaje się, że obecnie zagrożenie Polski wystąpieniem choroby popromiennej (poza jatrogennymi zmianami spowodowanymi radioterapią nowotworów) jest bardzo niewielkie, co nie znaczy, że nie istnieje. Mamy jeden

czynny reaktor, w sąsiednich krajach istnieją elektrownie jądrowe, planujemy wybudować własne, zwiększająca się rola międzynarodowa może uczynić z nas cel ataków terrorystycznych; nieprzewidywalny jest wreszcie rozwój sytuacji międzynarodowej, a znajdujemy się w sferze potencjalnej konfrontacji zbrojnej. Wiadomo także,

że nasi sojusznicy, tj. USA i Niemcy, przygotowują plany zabezpieczenia ludności na wypadek zagrożenia wystąpieniem takiej choroby i na tych właśnie opracowaniach [1-4] oparta jest ta publikacja.

Uważa się, że istnieje co najmniej pięć możliwości:

- atak terrorystyczny albo wypadek dotyczący reaktora jądrowego,
- zdarzenie kryminalne dotyczące silnego źródła promieniowania,
- atak terrorystyczny wykorzystujący urządzenie, w tym tzw. brudną bombę, generujące skażenie radioaktywne,
- wybuch „amatorsko” skonstruowanej bomby jądrowej,
- wybuch (wybuchy) bomb jądrowych użytych jako broń masowego rażenia [1].

Do tego trzeba dodać możliwość wykorzystania źródła promieniowania do eliminacji indywidualnej osoby, jak w przypadku Litwinienki [5]. Większość wiedzy medycznej dotyczącej przebiegu zaburzeń popromiennych pochodzi z analizy skutków wybuchów jądrowych w Hiroshimie i Nagasaki oraz awarii radiacyjnych w Czarnobylu [6] i Fukushima. Z kolei obecne metody postępowania o potencjalnym wykorzystaniu w leczeniu choroby popromiennej pochodzą głównie z ośrodków hematologicznych, zwłaszcza ośrodków przeszczepiania szpiku, w których w celach leczniczych poddaje się chorych na promieniowaniu na całe ciało dawkami sięgającymi 12 Gy (grejów) [7]. Trzeba także wspomnieć, że zależność od rodzaju zdarzenia oprócz skutków samego napromienienia będą występować (a często dominować) skutki dotyczące urazów mechanicznych, termicznych, skażenia zewnętrznego i wewnętrznego oraz skutki psychologiczne.

Kategorie problemów zależne od rodzaju zdarzenia radiacyjnego

W razie wypadkowego lub celowego uszkodzenia reaktora jądrowego można się spodziewać następstw podobnych jak w Czarnobylu [6] i Fukushima. Tu poważne problemy zdrowotne będą dotyczyły stosunkowo niewielkiej liczby osób (w Czarnobylu było to 237 osób) znajdujących się w bezpośredniej bliskości reaktora (a więc raczej nie w Polsce), natomiast populacja ogólna może być dotknięta opadami wyzwolonego pyłu radioaktywnego (głównie jod promieniotwórczy) pochodzącego z systemu chłodzącego reaktor. W tego typu sytuacjach celowe jest udostępnienie zagrożonej populacji preparatów jodu, np. płynu Lugola. Należy to uczynić możliwie szybko, aby zablokować tarczycę dla jodu promieniotwórczego [8].

W przypadku zdarzenia kryminalnego dotyczącego silnego źródła promieniowania, a więc na przykład kradzieży takiego źródła, ofiary będą pojedyncze, a skutki

zależne od rodzaju źródła i sposobu jego kontaktu z ciałem (ciałami) osób zaangażowanych w zdarzenie.

Atak terrorystyczny wykorzystujący tzw. brudną bombę [4], a więc urządzenie, w którym konwencjonalny ładunek wybuchowy ma za zadanie spowodować maksymalne rozproszenie zawartego w bombie izotopu promieniotwórczego i wywołać przede wszystkim skutki ekonomiczne (wyłączenie z eksploatacji istotnego ekonomicznie miejsca, np. portu), z racji jego skażenia, i psychologiczne, a więc masową panikę (w razie detonacji w miejscu, w którym jednorazowo znajduje się wielu ludzi). Powierzchnia, której będą dotyczyły bezpośrednie skutki zdarzenia, będzie stosunkowo niewielka – zamknie się w obrębie koła o promieniu 1 km [9]. Skutki zdrowotne będą obejmowały przede wszystkim urazy spowodowane przez ładunek konwencjonalny, pochłonięta dawka promieniowania będzie raczej niewielka, a głównym problemem będzie skażenie zewnętrzne. W zależności jednak od wykorzystanego izotopu może pojawić się również choroba popromienna.

Wreszcie skutki wybuchu bomby jądrowej będą zależały od jej rodzaju, siły, a także miejsca detonacji, i będą obejmować pełną skalę skutków zdrowotnych (w postaci choroby popromiennej, urazów mechanicznych i termicznych) oraz skutki epidemiologiczne, ekonomiczne, polityczne, psychologiczne i ogólnospołeczne. Uważa się, że różnego rodzaju terroryści mogą zbudować i zdetonować bombę o wielkości do około 0,01 kiloton (dla porównania bomba zdetonowana w Hiroshimie miała 13 kiloton), natomiast większe bomby mogą być zdetonowane w razie konfliktów pomiędzy państwami dysponującymi bronią jądrową. Tu, jak wiadomo, można mieć do czynienia z trzema głównymi rodzajami bomb: neutronową, atomową i wodorową.

Najbardziej klasyczne są bomby atomowe, wykorzystujące zjawisko rozszczepienia uranu lub plutonu, takie jak bomby zdetonowane w Hiroshimie i Nagasaki. Bomba wodorowa wykorzystująca zjawisko łączenia się lekkich jąder atomowych (np. wodoru) w cięższe może mieć znacznie większą siłę (liczoną w megatonach) i potencjał niszczenia nawet wielkich miast, ale do tej pory nie została wykorzystana w działaniach zbrojnych. Podobnie jak bomba neutronowa, gdzie energia powstaje w wyniku łączenia deuteru z trytem. Jest to bomba o sile mniejszej niż siła „zwykłej” bomby atomowej, a głównym czynnikiem rażenia jest promieniowanie, stąd nazywa „czystą bombą”. Jej siła zwykle nie przekracza 1 kiloton [1]. Nieco inny problem może stanowić wykorzystanie w działaniach bojowych amunicji zawierającej zubożony uran. Jest on wzbogacony o uran 235 w stosunku do naturalnego uranu. Takie pociski mają większą zdolność penetracji przez opancerzenie, ale skutki zdrowotne będą wtórne raczej do zatrucia uranem jako pierwiastkiem niż do promieniowania (materiał jest mniej radioaktywny niż naturalny uran). Istnieje pogląd, że część

zwiększonej zachorowalności w Iraku była wynikiem użycia takiej amunicji przez Amerykanów [9]. Zubożony uran jest wykorzystywany również w osłonach aparatów do radioterapii oraz w pojemnikach do transportu źródeł promieniowania. W udokumentowanym użyciu źródła promieniowania (polonu 210) do eliminacji byłego rosyjskiego agenta Aleksandra Litwinienki skutki były ograniczone do jednej osoby, nie było zagrożenia środowiskowego, ale niemożliwe było również uratowanie porażonego, gdyż polon, mając długi połowiczny okres rozpadu, wbudowuje się nieodwracalnie do kości, skąd promieniowaniem alfa niszczy szpik, w tym również szpik ewentualnie przeszczepiony. Uszkadza również wiele innych narządów. Tego typu zdarzenia są na ogół dziełem państwowych służb specjalnych, gdyż tylko one dysponują reaktorami mogącymi być źródłami izotopu [5]. Nie można jednak wykluczyć kradzieży i wykorzystania takiego materiału przez pracownika ośrodka obsługującego reaktor lub przez personel obsługujący jego transport. Przykładowo, Stany Zjednoczone importują miesięcznie około 8 g polonu 210 z Rosji, tymczasem śmiertelna dla człowieka jest już dawka rzędu ułamka miligramu [5]. Śmierć następuje kilkadziesiąt do kilkuset dni po przyjęciu polonu 210 (możliwa droga pokarmowa lub oddechowa), zależnie od dawki.

Skażenie promieniotwórcze

Jak już wspomniano, taki problem będzie dotyczył głównie sytuacji ataku terrorystycznego z wykorzystaniem tzw. brudnej bomby. Do jej konstrukcji (oprócz konwencjonalnego materiału wybuchowego) można wykorzystać każdy izotop promieniotwórczy dostępny w związku z zastosowaniami medycznymi bądź technicznymi. Lista takich izotopów jest dość długa; najważniejsze z to: ameryk 241, kobalt 60, cez 137, jod 131, iryd 192, rad 226, stront 90, kaliforn 252, pluton 238 i pluton 239 oraz uran 235 [4] i polon 210 [5]. Problemem może być także to, że promieniowanie nie jest widoczne, i jeżeli służby likwidujące skutki konwencjonalnego wybuchu nie będą dysponować miernikami promieniowania, jego obecność może długo nie zostać wykryta, a tym samym rozproszenie izotopu może być znacznie większe niż spowodowane wyjściowo. Będzie to wynikiem naturalnej ewakuacji ludzi i przedmiotów, np. samochodów, z okolicy zdarzenia, zanim powstanie podejrzenie skażenia radioaktywnego. W dodatku zwykłe liczniki Geigera mogą nie wykryć promieniowania alfa, które ma mały zasięg. Do tego potrzebny jest licznik wykorzystujący siarczek cynku i to przykładany do podejrzanej powierzchni tak blisko, jak to tylko możliwe [9]. Poza tym, jako że omawiana sytuacja jest nadal (na szczęście) hipotetyczna, służby, mając nawet pozytywny odczyt licznika, mogą go zlekceważyć, uznając go za skutek awarii urządzenia, które nigdy

wcześniej nie dawało pozytywnego odczytu (tak podobno stało się z pierwszymi sygnałami awarii w Czarnobylu). O ile skutki skażenia środowiska mogą tu być bardziej długotrwałe, to skutki medyczne będą raczej niewielkie. Postępowanie dekontaminacyjne będzie składało się głównie z kąpieli i wymiany odzieży [9]. Nie dotyczy to jednak polonu 210, w przypadku którego śmiertelna może być już dawka rzędu jednego mikrograma [5]. Nazwę „brudnej bomby” nosi również pewien specjalny rodzaj bomby atomowej – tzw. bomba kobaltowa (nie mylić z urządzeniem medycznym wykorzystującym ten sam izotop, kobalt 60). Jej wybuch może spowodować duże skażenie terenu.

Skutki psychologiczne

Praktycznie wszystkie zdarzenia radiacyjne są zagrożone poważnymi społecznymi skutkami psychologicznymi, z paniką włącznie. Po pierwsze, współczesne społeczeństwo nie jest „przyzwyczajone” do takich zdarzeń. Byłoby to więc pojawienie się zupełnie nowego i nieznanego zagrożenia, a w dodatku zagrożenia niewidzialnego, wykrywalnego tylko za pomocą urządzeń, które nie są powszechnie dostępne. Tutaj niekiedy przywołuje się pozytywny przykład działania polskich władz po katastrofie w Czarnobylu, polegających na szybkim i masowym udostępnieniu preparatów jodu jako sposobu przekonania społeczeństwa, że sytuacja jest pod kontrolą, właściwe służby działają, środki zapobiegawcze zostały wykorzystane i wszyscy są bezpieczni. Ale tego typu działania miałyby znaczenie psychologiczne przede wszystkim wtedy, kiedy nie byłoby w miarę powszechnego chorowania i umierania ludzi z bliżej nieokreślonego powodu. Podobnie można sobie wyobrazić wykorzystanie tzw. środków radioochronnych [10], pod warunkiem, że odpowiednie służby dysponowałyby dużymi zapasami tych środków. O ile można wątpić w medyczną skuteczność takiego zastosowania na masową skalę, to mogłoby ono mieć korzystne skutki psychologiczne.

Choroba popromienna

Biologiczne skutki wybuchu niewielkiej bomby wytworzonej amatorsko i bomby wykorzystanej w ramach działań wojennych będą podobne, ale działania medyczne będą musiały być różne, przede wszystkim dlatego, że różna będzie skala problemu. Przypuszczalny atak terrorystyczny będzie miał jednak mniejsze skutki, jeśli chodzi o liczbę porażonych, a także jeśli chodzi o skutki paraliżujące służby przewidziane do niwelowania tych skutków i wreszcie jeśli chodzi o skutki dezorganizujące wszelkie inne aspekty życia społecznego. Inaczej mówiąc, możliwy zakres pomocy będzie inny, jeśli ofiar będzie 100, a inny, jeśli będzie ich 100 tysięcy.

Tabela 1. Objawy chorobowe i rokowanie w uszkodzeniu popromiennym [12]
Table 1. Clinical symptoms and prognosis in postirradiation injury [12]

dawki (Gy)	objawy prodromalne	objawy chorobowe	rokowanie bez leczenia
0,5–1,0	dyskretne	niewielkie zmniejszenie liczb krwinek	niemal pewne przeżycie
1,0–2,0	niewielkie	wczesne objawy uszkodzenia szpiku	przeżycie >90%
2,0–3,5	umiarkowane	pancytopenia	możliwe przeżycie
3,5–5,5	ciężkie	pancytopenia + uszkodzenie przewodu pokarmowego	śmierć ok. 50% porażonych w ciągu 3,5–6 tygodni
5,5–7,5	ciężkie	pancytopenia + znaczące uszkodzenie przewodu pokarmowego	przewidywana śmierć w ciągu 2–3 tygodni
7,5–10,0	ciężkie	ciężkie uszkodzenie przewodu pokarmowego + nieodwracalna pancytopenia	przewidywana śmierć w ciągu 1–2,5 tygodnia
10,0–20,0	bardzo ciężkie	ciężkie uszkodzenie przewodu pokarmowego i nieodwracalne szpiku, zaburzenia świadomości	pewna śmierć w ciągu 5–12 dni
>20,0	bardzo ciężkie	zapaść mózgowo-naczyniowa, gorączka, wstrząs	pewna śmierć w ciągu 2–5 dni

Klasycznie wyróżnia się trzy zespoły ostrej choroby popromiennej: hematologiczny, gastroenterologiczny i neurologiczny, wychodząc od nazw specjalności lekarskich, które mają kompetencje w ich zwalczaniu [11-13]. Objawy tych zespołów częściowo się nakładają. Promieniowanie w mniejszych dawkach powoduje zespół hematologiczny (uszkodzenie aż do zniszczenia szpiku), w pośrednich gastroenterologiczny (uszkodzenie aż do zniszczenia nabłonka jelitowego), a w większych zespół neurologiczny (uszkodzenie OUN). W miarę zwiększania dawki pochłoniętej i zwiększania natężenia zespołu hematologicznego dołączają się do niego objawy ze strony przewodu pokarmowego – najpierw nudności i wymioty, potem głównie biegunka i bóle brzucha, które zaczynają dominować. Następnie pojawiają się zaburzenia świadomości aż do jej utraty, zaburzenia krążenia i śmierć. Ogólną symptomatologię i rokowanie podano w tabeli 1. Zespół hematologiczny (dawki 2–10 Gy) wymaga dla pełnego rozwoju 10–30 dni, zespół gastroenterologiczny (dawki 6–15 Gy) 3–10 dni, a zespół neurologiczny (dawki >15 Gy) może się rozwinąć nawet w ciągu kilku godzin. Do tego dochodzi jeszcze tzw. zespół skórny, czyli wysypka rumieniowa występująca kilka godzin po napromienieniu i następnie ustępująca. Istotne jest to, że u tych porażonych, których dzięki właściwemu postępowaniu medycznemu można by uratować, objawy choroby popromiennej rozwijają się z opóźnieniem nawet kilkunastu dni, co daje służbom czas zarówno na ewakuację, jak i na zorganizowanie pomocy. Postępowanie w zespole hematologicznym ostrej choroby popromiennej będzie tematem oddzielnego opracowania.

Obrażenia mieszane

Uważa się, że w razie wybuchu bomby jądrowej znaczna część obrażeń będzie trojakiemu typu: oparzenia, urazy mechaniczne i choroba popromienna. Energia termiczna ma stanowić około 35%, mechaniczna około 50%, a promieniowanie około 15% całkowitej energii uwalnianej przez bombę [3]. Uważa się jednak, że obrażenia termiczne i mechaniczne będą dominowały w okolicy epicentrum wybuchu, gdzie również pochłonięta dawka promieniowania będzie bardzo duża, co oznacza, że większości tak porażonych nie uda się uratować i konieczne będzie jedynie zapewnienie im godnej śmierci. Dalej od epicentrum dominować będą skutki napromienienia. Szacunki dotyczące liczby ofiar i potrzeb określających ich zabezpieczenia podano w tabeli 2. [3]; obejmują one zdetonowanie ładunków o sile 1 i 10 kiloton w mieście o populacji około 2 milionów (wielkość Warszawy). Przede wszystkim należy zwrócić uwagę na gigantyczny problem sanitarny: możliwie szybkie pochowanie kilku–kilkunastu tysięcy ciał (a do ciał ludzi trzeba dodać jeszcze ciała towarzyszących im zwierząt). Wymóg intensywnej opieki hematologicznej to leczenie w warunkach zbliżonych do ośrodka przeszczepiania szpiku. W Polsce istnieje obecnie kilkaset łóżek szpitalnych spełniających takie warunki, co daje możliwość zabezpieczenia mniej więcej 1/100 przewidywanych potrzeb. Podobny problem dotyczy lekarzy hematologów, w przypadku których można mówić o 1 specjalistce na około 1000 porażonych. W tej sytuacji o żadnym przeszczepianiu szpiku nie będzie mowy. Podstawą musi być możliwie szybka ewakuacja i zapewnienie możliwie najlepszych warunków higienicznych. Jedynym „ułatwieniem” w opanowywaniu sytuacji będzie to, że – jak wspomniano – objawy rozwiną się dopiero po kilku–kilkunastu dniach, co

Tabela 2. Szacowane liczby porażonych wymagających określonego poziomu pomocy w razie wybuchu bomb jądrowych o sile 1 i 10 kiloton w mieście o populacji około 2 milionów [3]*
Table 2. Expected numbers of victims requiring particular level of help after explosion of 1 and 10 KT nuclear bombs in city with approx. 2 million population [3]*

kategoria porażonych	dawka promieniowania (Gy)	liczba porażonych – wybuch 1 kilotony	liczba porażonych – wybuch 10 kiloton
obrażenia mieszane	wszystkie dawki	1000–3000	15 000–24 000
zgoni natychmiastowe	wszystkie dawki	>7000	>13 000
opieka paliatywna	>10	18 000	45 000
intensywna opieka hematologiczna	5–10	19 500	79 400
opieka hematologiczna	3–5	33 000	108 900
opieka internistyczna	1–3	66 000	70 000
monitorowanie ambulatoryjne	0,5–1	82 500	139 000
monitorowanie epidemiologiczne	0,25–0,5	106 000	147 000
monitorowanie psychologiczne osób bez innych obrażeń	<0,25	>150 000	>270 000

*W oparciu o opracowanie Hazard Prediction Assessment Capability Program (HPAC) wersja 3.21 Agencji Redukcji Zagrożeń Obronnych, Fort Belvoir, Wirginia, USA

zapewni czas na podjęcie niezbędnych kroków organizacyjnych. Trzeba natomiast zdać sobie sprawę, że nawet eksplozja 1-kilotonowej bomby w Warszawie całkowicie dezorganizowałaby życie w kraju, zaburzając działanie wszystkich władz centralnych, a także samej służby zdrowia, której kluczowe instytucje również znajdują się w tym mieście i których część zostałaby zniszczona.

Opanowywanie skutków zdarzenia radiacyjnego

Zadania związane z opanowywaniem skutków zdarzenia można podzielić na te, które będą dotyczyć bezpośrednio miejsca zdarzenia, oraz te, które będą dotyczyć porażonych ludzi i zwierząt. Tylko te drugie będą zadaniem służb medycznych, które jednak będą musiały ściśle współdziałać z pozostałymi służbami. Należy pamiętać, że na ogół najwięcej jest najmniej porażonych, a najmniej najbardziej porażonych, a nie odwrotnie. Wśród mniej porażonych skutki zdrowotne panicznej ucieczki i innych chaotycznych działań mogą znacznie przewyższać bezpośrednie skutki danego zdarzenia radiacyjnego, stąd zasadnicza rola właściwego zarządzania miejscem zdarzenia, również jeśli chodzi o ograniczanie skutków medycznych.

Podsumowanie

Jak wspomniano, ryzyko zdarzenia radiacyjnego jest w Polsce bardzo niewielkie, niemniej jednak istnieje, a małe prawdopodobieństwo wystąpienia znacząco

redukuje czynności przygotowawcze, a tym samym zwiększa potencjalne skutki, jeśli jednak wystąpi. Jeżeli zdarzenie obejmie kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt osób, to obecny potencjał polskiej służby zdrowia nawet w improwizowany sposób powinien być zdolny do opanowania sytuacji na najwyższym światowym poziomie, tym bardziej że będzie można liczyć na szeroką pomoc zagraniczną. Natomiast wybuch nawet 1-kilotonowej bomby w Warszawie będzie zupełnie innym wyzwaniem również dlatego, że w zasadniczy sposób wpłynie na miejscowe możliwości zarządzania rozwiązywaniem skutków takiego zdarzenia. Z potencjalnych celów w Polsce właśnie Warszawa wydaje się najbardziej zagrożona, gdyż atakujący będzie zapewne starał się maksymalizować skutki przy minimalizacji kosztów. Wybór innego dużego miasta jest jednak możliwy, jeśli potencjalny agresor uzna, że obrona lokalizacji warszawskiej jest zbyt dobrze zorganizowana. W przypadku Warszawy powinny być wyznaczone przynajmniej dwa zastępcze pozawarszawskie ośrodki zarządzania, które miałyby przygotowane choćby w zarysie plany zarządzania miejscem zdarzenia, a z drugiej strony plany postępowania z poszczególnymi grupami porażonych, a więc z ofiarami bezpośrednio śmiertelnymi, osobami w trakcie umierania, osobami wymagającymi szybkiej ewakuacji lub opóźnionej ewakuacji, a także plany opanowania masowej ucieczki z okolicy zdarzenia i możliwego zablokowania w ten sposób dróg ewakuacji. Wreszcie zespoły medyczne muszą być wielodyscyplinarne, czyli obejmować obok hematologów również chirurgów, internistów i bardzo rozbudowane zaplecze diagnostyczne, w tym laboratoryjne.

Piśmiennictwo

1. Mickelson AB, ed. Medical consequences of radiological and nuclear weapons. Office of the Surgeon General, Borden Institute, Fort Detrick, 2013: 1–279
2. Pellmar TC, Rockwell S. Radiological/Nuclear Threat Countermeasures Working Group. Priority list of research areas for radiological nuclear threat countermeasures. *Radiat Res*, 2005; 163: 115–123
3. Waselenko JK, MacVittie TJ, Blakely WF, et al. Strategic National Stockpile Radiation Working Group. Medical management of the acute radiation syndrome: recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. *Ann Intern Med*, 2004; 140: 1037–1051
4. Rump A, Becker B, Eder S, et al. Medical management of victims contaminated with radionuclides after a “dirty bomb” attack. *Mil Med Res*, 2018; 5: 27
5. Scott BR. Health risk evaluations for ingestion exposure of humans to polonium-210. *Dose Response*, 2007; 5: 94–122
6. WHO: Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. WHO 2006
7. Jędrzejczak WW. Hemograft. *Kompendium transplantologii komórek krwiotwórczych*. Termedia, 2017: 82–95
8. WHO. Iodine thyroid blocking. Guidelines for use in planning and responding to radiological and nuclear emergencies. WHO 2017
9. Bomanji JB, Novruzov F, Vinjamuri S. Radiation accidents and their management: emphasis on the role of nuclear medicine professionals. *Nucl Med Commun*, 2014; 35: 995–1002
10. Hofer M, Hoferová Z, Depeš D, Falk M. Combining pharmacological countermeasures to attenuate the acute radiation syndrome – a concise review. *Molecules*, 2017; 22: E834
11. Dainiak N, Waselenko JK, Armitage JO, et al. The hematologist and radiation casualties. *Hematology Am Soc Hematol Educ Program*, 2003: 473–496
12. Macià I, Garau M, Lucas Caldach A, López EC. Radiobiology of the acute radiation syndrome. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2011; 16: 123–130
13. Weisdorf D, Chao N, Waselenko JK, et al. Acute radiation injury: contingency planning for triage, supportive care, and transplantation. *Biol Blood Marrow Transplant*, 2006; 12: 672–682