

*Omawiana jest specyfika ochrony radiologicznej w medycynie. Istotnym problemem jest optymalizacja narażenia personelu medycznego stykającego się z otwartymi źródłami promieniowania. Jednym z warunków optymalizacji jest właściwa ocena dawki efektywnej, co wymaga prowadzenia monitoringu indywidualnego narażenia wewnętrznego. Celem artykułu jest zapoczątkowanie dyskusji na ten temat.*

*Słowa kluczowe: kontrola narażenia wewnętrznego, personel medyczny, dawka efektywna*

*The specific problem of radiation protection in medicine is discussed. The exposure of medical staff working with open radiation sources requires the optimisation. Important part of this optimisation is the determination of effective dose, connected with the monitoring of individual internal exposure. Purpose of this paper is to initiate discussion on the subject.*

*Key words: control of internal exposure, medical staff, effective dose*

# Czy narażenie wewnętrzne personelu medycznego powinno być monitorowane?

*Internal exposure of medical staff – should it be monitored?*

Bogdan Filipiak, Zbigniew Haratym, Kazimierz Mlicki

Instytut Energii Atomowej, Otwock-Świerk

## WSTĘP

Celem tego artykułu jest zainicjowanie dyskusji obejmującej zakres sprawowanej kontroli narażenia radiologicznego personelu medycznego, a ściślej odpowiedzi na pytanie czy system kontroli, ograniczający się do oceny narażenia zewnętrznego, jest wystarczający. Podstawowe tezy zostały tu podane na podstawie Publikacji nr 73 Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP) [1] oraz wieloletniego doświadczenia autorów zebranego w Ośrodku Jądrowym Świerk.

## GRUPY ZAGROŻENIA

Publikacja ICRP [1] wyróżnia następujące rodzaje zagrożenia:

- ▶ **Narażenie medyczne** – obejmuje pacjentów i związane jest z diagnostyką lub terapią. Dla tych osób górna granica narażenia (dawek promieniowania) wynika tylko z porównania wielkości zysku i straty aktualnego stanu zdrowia. Należy tu także zaliczyć narażenie osób opiekujących się ochotniczo pacjentami podczas pobytu w szpitalu lub w domu.
- ▶ **Narażenie zawodowe** personelu medycznego – spowodowane jest wykonywaniem zabiegów diagnostycznych lub terapeutycznych oraz opieką nad pacjentami. Narażenie to podlega ograniczeniu, a dawki graniczne określają przepisy państwowe [2].
- ▶ **Narażenie ludności** – wywołane jest działalnością człowieka, związaną z promieniowaniem jonizującym, np. osób postronnych przebywających w otoczeniu pracowni izotopowych. Nie obejmuje ono narażenia pochodzącego od promieniowania naturalnego. Narażenie ludności podlega ograniczeniu, a dawki graniczne określają przepisy państwowe [2].

Należy pamiętać, że narażenie (dawki) pacjentów poddanych diagnostyce, a zwłaszcza terapii, są o wiele rzędów wielkości większe od dawek granicznych personelu i ludności.

## SKUTKI BIOLOGICZNE ODDZIAŁYWANIA PROMIENIOWANIA

Skutki oddziaływania promieniowania jonizującego na organizmy żywe omówiono w cytowanej publikacji ICRP [1]. Zgodnie z tą publikacją skutki te dzieli się na **deterministyczne i stochastyczne**. Poniżej podano krótkie omówienie tych skutków.

- ▶ **Skutki deterministyczne.** Skutek nazywany jest deterministycznym, jeśli w wyniku oddziaływania promieniowania następuje zniszczenie wielu komórek w organie lub tkance. Efekt będzie klinicznie obserwowany tylko wtedy, gdy wartość dawki promieniowania jest wyższa od pewnego progu. Wielkość tego progu zależy od mocy dawki (tzn. dawki chwilowej), organu i rodzaju klinicznego skutku. Ze wzrostem dawki powyżej progu, prawdopodobieństwo będzie wzrastać do jedności (100 proc.), tzn. każda ekspozycja osoba będzie wykazywała już skutek tego oddziaływania. Rozległość tego efektu będzie wzrastać z wielkością ekspozycji.
- ▶ **Skutki stochastyczne.** Z biologii komórkowej i molekularnej wynika, że uszkodzone DNA w pojedynczej komórce mogą prowadzić do transformacji tej komórki, która jednak ciągle zachowuje zdolność reprodukcji. Pomimo czynności obronnych, które zazwyczaj są bardzo efektywne, istnieje jednak małe prawdopodobieństwo (będzie więc występować tylko u niewielkiej liczby narażonych osób), że ten typ uszkodzenia, promowany przez wpływ innych czynników niż promieniowanie, może prowadzić do warunków ześlabienia komórki. Jeżeli początkowe uszkodzenie dotyczyło komórek rozrodczych, mogą wówczas wystąpić efekty dziedziczenia. Te efekty somatyczne i dziedziczne są nazywane stochastycznymi. Skutki stochastyczne związane z promieniowaniem mogą wystąpić, wprawdzie z małym prawdopodobieństwem, nawet przy bardzo

tych dawkach. Znaczący to, że nie ma wartości progowej dawki, poniżej której nie istnieje ryzyko zaistnienia efektów stochastycznych. Prawdopodobieństwo efektów stochastycznych związanych z promieniowaniem wzrasta z dawką, zaś przy wyższych dawkach i mocach dawek zależność ta może zbliżyć się do wykładniczej. Przy bardzo wysokich dawkach, bliskich wartościom progowym efektów deterministycznych, prawdopodobieństwo wzrasta wolniej niż liniowo, ponieważ współistnieje już efekt niszczenia komórek.

## SPECYFIKA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ W MEDYCYNIE

Niektóre cechy praktyki medycznej wymagają przystosowania zasad ochrony radiologicznej do specyfiki tej działalności, a mianowicie:

- ▶ narażenie pacjentów powstaje podczas diagnostyki i terapii. W diagnostyce i interwencyjnych badaniach radiologicznych podanie dawki nie jest celem, a koniecznością uzyskania niezbędnych informacji. Dawka ta jest zaaplikowana pacjentowi celowo i na ogół nie może być zmniejszona bez pogorszenia wyników badania. W radioterapii celem podania dawki jest zniszczenie określonej tkanki. Konieczne wartości dawek są tak duże, że nie można uniknąć skutków deterministycznych dla sąsiednich tkanek. Powstaje także określone ryzyko wystąpienia skutków stochastycznych dla tkanek i organów bardziej odległych;
- ▶ narażenie personelu wynika, między innymi, z konieczności utrzymania kontaktu pacjenta z personelem medycznym i pielęgniarskim. Środki ochrony radiologicznej personelu powinny uwzględniać zminimalizowanie izolacji odczuwanej przez pacjenta. Jest to szczególnie ważne w medycynie nuklearnej i brachyterapii, kiedy źródło promieniowania znajduje się wewnątrz organizmu pacjenta;
- ▶ narażenie ludności wynika z faktu, że szpitale i urządzenia radiologiczne muszą być dostępne dla wszystkich. Kontrola narażenia tych osób jest znacznie trudniejsza niż w przemysłowym czy naukowo-badawczym wykorzystaniu promieniowania jonizującego.

## WIELKOŚCI DOZYMTRYCZNE

Dla liczbowego określenia narażenia człowieka stosowane są w ochronie radiologicznej następujące wielkości:

- ▶ **dawka pochłonięta,  $D_T$**  – podstawowa wielkość fizyczna określająca energię wydzieloną w jednostce masy, uśrednioną dla rozważanego organu lub tkanki T. Jednostką dawki pochłoniętej jest Grey (Gy);  $1\text{Gy} = 1\text{ J/1 kg}$ ;
- ▶ **równoważnik dawki (1),  $H_T$**  – poszczególne rodzaje promieniowania wywołują różne skutki stochastyczne w organizmach żywych, mimo że dawka pochłonięta jest równa. Wpływ ten uwzględnia się poprzez wprowadzenie współczynnika ważenia promieniowania (jakości) –  $w_R$ . Równoważnik dawki jest równy dawce pochłoniętej pomnożonej przez współczynnik ważenia promieniowania:

$$H_T = D_T \cdot w_R$$

Jednostką równoważnika dawki jest Sivert (Sv).

Dla większości rodzajów promieniowania stosowanych w medycynie (rentgenowskie, gamma, beta) współczynnik ważenia jest równy jedności i równoważnik dawki jest liczbowo równy dawce pochłoniętej. Dla promieniowania alfa  $w_R = 20$ , a dla neutronów, w zależności od energii  $w_R = 5-20$ ;

- ▶ **dawka efektywna (2),  $E$**  – narażenie poszczególnych tkanek lub organów w końcowym efekcie rzutuje na narażenie całego organizmu. W tym celu należy uwzględnić prawdopodobieństwo uszkodzenia tych tkanek lub organów oraz ich ważność dla całego organizmu. Dlatego każdemu organowi lub tkance odpowiada współczynnik ważenia tkanki  $w_T$ . Dawka efektywna obrazująca uszczerbek zdrowia (*health detriment*) jest sumą równoważników dawki w każdym organie lub tkance pomnożonych przez współczynnik ważenia tych organów lub tkanek:

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

Jednostką dawki efektywnej jest Sivert (Sv).

Uwaga: stosowane są też nazwy „dawka równoważna”, „efektywny równoważnik dawki” oraz „dawka skuteczna”.

## ZAWODOWE NARAŻENIE W MEDYCYNIE A OPTYMALIZACJA WARUNKÓW OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

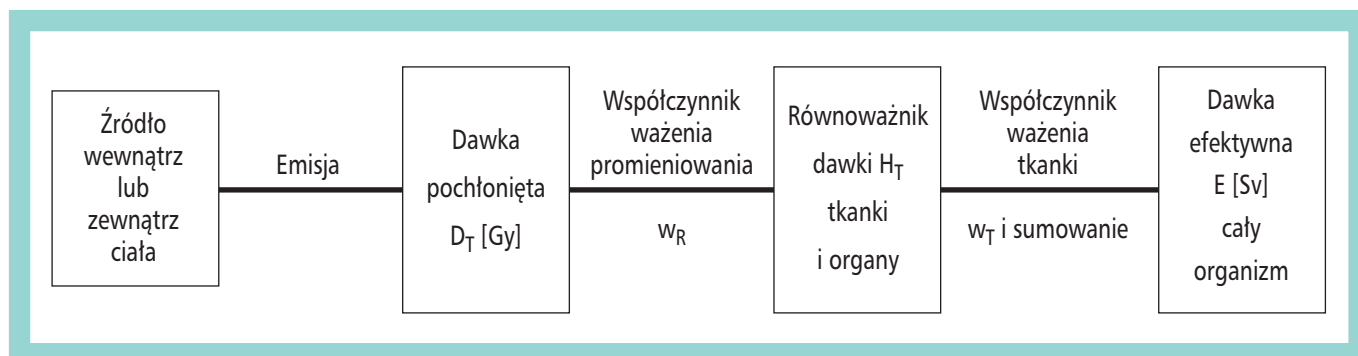
Optymalizacja warunków ochrony personelu medycznego oparta jest na tych samych zasadach co i w innych dziedzinach, i od wielu lat jest intensywnie wprowadzana do praktyki. Jednakże niektóre restrykcje, ze względu na ich specyfikę, powinny zostać omówione. Dotyczy to przypadków, kiedy wymagania ochrony personelu mogłyby ograniczyć zakres opieki oferowanej pacjentom.

Niekiedy spotykamy się z opiniami, zwłaszcza wyrażanymi przez administrację szpitali i klinik, że wobec bardzo dużych dawek, dopuszczonych dla pacjentów, zwiększenie narażenia personelu nie powinno stanowić problemu i można w tej dziedzinie szukać oszczędności. W pierwszej części tego artykułu przytoczono zasady stosowania promieniowania jonizującego dla pacjentów i mechanizmy oddziaływania promieniowania z organizmem człowieka. Z zasad tych wynika, że napromieniowanie pacjenta ma zazwyczaj na celu ratowanie jego życia, więc trzeba zgodzić się na wystąpienie nawet znacznych skutków deterministycznych. Inaczej jest w wypadku personelu medycznego, którego narażenie trwa kilkadziesiąt lat i składa się z wielkiej ilości pojedynczych narażeń. Oczywiście jest więc, że narażenie związane z pojedynczym zabiegiem powinno być minimalne, o wiele rzędów wielkości mniejsze od zagrożenia pacjenta.

I tak dla przykładu, usunięcie pracowników z pola działania dużych dawek jest niezbędne, ale stwarza to w pewnym zakresie warunki izolacji pacjenta, gdyż dostęp do urządzeń teleterapii jest ograniczony do okna lub wewnętrznych drzwi. Ograniczenia te powinny być utrzymane, jednocześnie konieczne jest ciągłe doskonalenie metod kontaktu z pacjentem.

W przypadku brachyterapii, problem ograniczenia dawki dla personelu pielęgniarskiego jest bardzo istotny i wskazuje na potrzebę coraz szerszego stosowania systemu *after loading* (opóźniony załadunek źródła).

Duży wpływ na ograniczenie dawki personelu ma oczywiście organizacja pracy,



Ryc. 1. Zależności pomiędzy omawianymi powyżej wielkościami

wyszkolenie personelu, monitoring miejsca pracy i kontrola indywidualnego narażenia.

Kontrola indywidualnego narażenia personelu medycznego od zewnętrznych pól promieniowania gamma jest, w ocenie autorów, prowadzona od wielu lat i coraz bardziej nowoczesnymi metodami. Natomiast kontrola narażenia wewnętrznego personelu jest dziedziną, której poświęca się w naszym kraju zbyt mało uwagi.

Podstawowym pytaniem jest, czy istnieje potrzeba wykonywania pomiarów skażeń wewnętrznych personelu medycznego i ewentualnie z jaką częstością. Aby odpowiedzieć na to pytanie należy rozważyć następujące kwestie:

- czy personel medyczny styka się ze źródłami promieniotwórczymi, które mogą spowodować narażenie wewnętrzne,
- czy dla efektywnej kontroli wystarczy monitoring miejsca pracy,
- w jaki sposób można ocenić narażenie wewnętrzne personelu.

Odpowiedź na pierwsze pytanie jest zdecydowanie pozytywna. Znaczy to, że w miejscach pracy personelu medycznego materiał promieniotwórczy może zostać rozproszony zarówno na skutek niedoskonałych procedur, jak i błędów ludzkich. Spowodować to może skażenia powietrza i skażenia powierzchniowe. Skażenia takie powoduje stosowanie w medycynie nuklearnej źródeł „otwartych”. Ale oprócz pierwotnych źródeł „otwartych”, zagrożenie stwarzają także pacjenci po, lub w trakcie diagnostyki lub terapii, a także odpady promieniotwórcze pochodzące z otwartych źródeł promieniotwórczych lub ich opakowań. Oddzielnym problemem są nieszczelne źródła zamknięte. Wszyscy wiemy, dlaczego wycofuje się z użycia źródła radowe. Dodatkowym elementem są negatywne zdarzenia zaistniałe w laboratoriach stosujących zarówno źródła promieniotwórcze zamknięte, jak i otwarte (błędy ludzkie, niesprawność urządzeń itp.).

Monitoring miejsca pracy jest bardzo pożytecznym elementem kontroli, gdyż pozwala na wykrycie źródła zagrożenia. Jednak, aby monitoring miejsca pracy był efektywny, powinien obejmować zarówno pomiar skażeń powierzchni, jak i powietrza (odpowiednio aerozole i gazy). Należy jednak zaznaczyć, że na podstawie okresowych pomiarów skażeń powierzchni i powietrza nie tylko nie można ocenić wielkości narażenia personelu, ale nawet stwierdzić jego zaistnienia.

Narażenie wewnętrzne ocenia się na podstawie pomiaru aktywności radionuklidów zgromadzonych w organizmie ludzkim. Wykonuje się to dwoma metodami: *in situ* i *in vitro*. Pomiar *in situ* wykonuje się Licznikiem Promieniowania Całego Ciała (LPCC). Obecnie jedynym działającym urządzeniem jest Licznik w Ośrodku Badawczym Świerk oraz Licznik Promieniowania Tarczycy (LPT). W Ośrodku Badawczym Świerk znajduje się LPT stacjonarny oraz LPT przewoźny, którym można doko-

nywać pomiarów na terenie kraju. Pomiar *in vitro* obejmują określanie wydaliny biologicznych i można je wykonywać oraz prowadzić oceny narażenia wewnętrznego w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej i Instytucie Energii Atomowej w Świerku. Badania te nie wymagają także obecności personelu, a jedynie pobrania i przesłania, w określonych warunkach, materiału pomiarowego.

Z doświadczeń autorów, zebranych w Ośrodku Świerk, a także danych literaturowych wynika, że praca w warunkach zagrożenia skażeniami promieniotwórczymi wymaga, w ramach prowadzonego nadzoru radiologicznego, okresowego monitoringu w zakresie skażeń wewnętrznych personelu. Pozwala to na wczesne wykrycie tendencji do wzrostu zagrożenia wynikającego z nieprawidłowości procedur technologicznych i błędów ludzkich. Częstość kontroli stosowanych procedur nie musi przekraczać jednego pomiaru na rok. Jeśli występuje znaczące narażenie ciągłe, związane z wchłonięciem określonego radionuklidu do organizmu człowieka, wówczas częstość pomiarów wynika z wartości poziomów inspekcyjnych i efektywnego okresu półtrwania danego izotopu. Pozwala to na określenie efektywnego równoważnika dawki obciążającej.

Reasumując, wydaje się słusznym wyciągnięcie generalnego wniosku z przytoczonych tu rozważań, że właściwy nadzór narażenia indywidualnego personelu medycznego wymaga wykonywania okresowych pomiarów narażenia wewnętrznego.

#### PIŚMIENNICTWO

1. ICRP Publication 73, Radiological Protection and Safety in Medicine, vol. 26, No. 2, 1996.
2. Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym z dnia 31 marca 1988 r. (M. P. z 1988 r. nr 14, poz. 124).

#### ADRES DO KORESPONDENCJI

mgr inż. **Bogdan Filipiak**  
Instytut Energii Atomowej  
Służba Ochrony Radiologicznej  
Członek International Radiation Protection  
Association (IRPA)  
05-400 Otwock-Świerk