

²²⁶Ra znalazł zastosowanie w terapii onkologicznej ze względu na długi okres połowicznego rozpadu i rodzaj emitowanego promieniowania. Po wielu latach stosowania zastąpiono go izotopami krótkożyłymi, charakteryzującymi się mniejszą radiotoksycznością. W niektórych ośrodkach onkologicznych nadal przechowuje się ²²⁶Ra pomimo niestosowania go w terapii. Niezbędnym warunkiem odebrania radu przez Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych jest konieczność zatopienia posiadanych źródeł w szkle, co wiąże się z bezpośrednim narażeniem pracownika na napromieniowanie. Celem pracy jest zapoznanie się z problemem utylizacji radu na podstawie własnych doświadczeń, co ułatwi przeprowadzenie tych czynności w innych ośrodkach onkologicznych w Polsce. Po przeprowadzonej analizie wstępnej wyliczono, że osoba pracująca przez 3 godz. w odległości 50 cm od nieosłoniętych 72 źródeł radu 226 o łącznej aktywności 31 GBq otrzymałaby dawkę 91,5 mSv. Dawka ta jest ok. 5-krotnie większa od rocznej dawki granicznej (skutecznej) dla pracowników kategorii A, dlatego praca w takich warunkach jest kategorycznie zabroniona. Po zastosowaniu osłony ołowianej, zmniejszeniu mocy dawki (jednoczesne narażenie na aktywność jedynie 5 źródeł) i użyciu poręcznego palnika gazowego (umożliwiającego pracę za osłoną ołowianą) pracownik dokonujący ich zatopienia w szkle otrzymał dawkę 2 mSv. Ocenę narażenia wykonano na podstawie dozimetrii indywidualnej, środowiskowej, pomiarów skażeń i mocy dawek. Warunkiem koniecznym do spełnienia przed przystąpieniem do wykonywania tych czynności była analiza zagrożenia wyliczona matematycznie, pozwalająca określić szczegółowe warunki pracy. W ocenie zagrożenia brano pod uwagę nie tylko napromienienie zewnętrzne, ale również możliwość skażenia zewnętrznego i wewnętrznego. Przed przystąpieniem do pracy wykonano kontrolę szczelności źródeł.

Słowa kluczowe: rad, utylizacja radu, promieniowanie jonizujące, ochrona radiologiczna.

Utylizacja radu 226 z ośrodka onkologicznego – ocena narażenia personelu

Utilization of Radium 226 from the oncology center – evaluation of staff exposure

Grzegorz Andrykowski

Klinika Chorób Wewnętrznych z Oddziałem Farmakologii Klinicznej i Terapii Monitorowanej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

Wstęp

W kilku ośrodkach onkologicznych w Polsce znajdują się nieużywane źródła radowe, które zgodnie z obowiązującymi przepisami powinny być przewiezione do krajowego składowiska odpadów promieniotwórczych [1, 2]. Jednym z powodów przechowywania nieużywanych źródeł w ośrodkach jest brak rozwiązań proceduralnych, które pozwalałyby na ich wywiezienie. Jedynym przedsięwzięciem zajmującym się składowaniem zużytych źródeł jest Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych [1]. Warunkiem odbioru źródeł przez pracowników Zakładu jest przygotowanie ich do transportu przez zatopienie w pojemnikach szklanych, co leży w gestii szpitala. Podczas wykonywania tych czynności istnieje realne zagrożenie otrzymania dużej dawki promieniowania jonizującego przez pracowników szpitala. Poruszany problem dotyczy nie tylko ochrony radiologicznej, ale również prawa pracy, gdyż nikt z pracowników szpitala w swoich obowiązkach pracy nie ma zawartych tego typu zadań. Ze Szpitala Wojewódzkiego im. M. Kopernika w Łodzi w czerwcu 2006 r. wywieziono 72 źródła radowe. W przedstawionej pracy opisano czynności związane z wywozem źródeł radu, z jednoczesną oceną zagrożenia radiologicznego i uwagami praktycznymi, dotyczącymi rozwiązania tego problemu. Celem pracy jest zapoznanie z problemem utylizacji radu na podstawie własnych doświadczeń, co ułatwi przeprowadzenie tych czynności w innych ośrodkach onkologicznych w Polsce.

Historia radu

Nazwa pierwiastka rad została nadana w 1898 r. przez jego odkrywców Marię i Piotra Curie i pochodzi od francuskiego słowa *radie* – promienisty. Za wyodrębnienie preparatów radu w stanie czystym oraz radu w stanie metalicznym Maria Skłodowska-Curie została nagrodzona w 1911 r. Nagrodą Nobla. Odkrycie radu stało się podstawą nauki o promieniotwórczości i zmieniło poglądy na budowę materii. W roku 1945 Paweł Langiewicz pisał: *Odkrycie radu będzie miało prawdopodobnie dla przyszłości naszej cywilizacji znaczenie dające się porównać ze znaczeniem odkryć, które pozwoliłyby opanować siłę ognia, a zastosowanie tego odkrycia, które do niedawna ograniczały się jedynie do obszaru medycyny, przewyższą znacznie zastosowanie maszyny parowej oraz silników spalinowych i odrzutowych.* Znaczenie tego odkrycia było spotęgowane trudnościami, które wynikają z wyjątkowo małych ilości tego pierwiastka w rudzie uranowej (maksymalna zawartość radu w jednym gramie rudy uranowej wynosi 10^{-4} mg, zawartość w skorupie ziemskiej w procentach wagowych wynosi 7×10^{-12} % wagowego) [3]. Otrzymanie nawet niewielkiej ilości tego pierwiastka wiązało się z przerobieniem kilku ton rudy i zastosowaniem nowatorskich – jak na owe czasy – metod detekcji promieniotwórczej, która dała pod-

^{226}Ra found application in oncological therapy due to its long half-life and the type of emitted radiation. After many years of application it was replaced by less radiotoxic short-lived isotopes. In some oncology centres ^{226}Ra is still stored even though it is not used in therapy. The necessity of sealing it in glass, which is associated with long-lasting and direct exposure of a worker to radiation, is an indispensable condition if radium is to be collected by the Radioactive Waste Disposal Plant. The aim of the study is to present the problem of radium utilization on the basis of our own experience, which will make it easier to perform these activities in other oncology centers in Poland. After the initial analysis, it was calculated that a person working for 3 hours at a distance of 50 cm from 72 unprotected sources of radium 266 of total activity of 31 GBq would be exposed to a dose of 91.5 mSv. As this dose is about five times higher than the annual effective dose for category A workers, work in such conditions is strictly prohibited. After application of a lead shield, decrease of the dose (simultaneous exposure to the activity of only 5 sources) and the use of a hand-held gas burner enabling work behind the lead shield, a worker sealing radium in glass is exposed to a dose of 2 mSv. Estimation of the exposure was performed on the basis of individual and environmental dosimetry, measurement of radioactive contamination and dose rate. Mathematically calculated analysis of the hazard enabling determination of precise working conditions is a necessity which must be fulfilled before performing these activities. In the evaluation of hazard, not only external exposure was taken into account but also the possibility of external and internal exposure as well. Before starting work leakproofness of the sources was controlled.

Key words: radium, radium utilization, ionizing radiation, radiation protection.

waliny nowej dziedziny – radiochemii. Pierwszy gram radu trafił do Polski w 1932 r. Został podarowany przez Marię Skłodowską-Curie nowo powstałemu Instytutowi Radowemu w Warszawie. W Szpitalu Wojewódzkim im. M. Kopernika w Łodzi leczenie radem rozpoczęto w 1963 r. Transport radu z Francji był wielkim wydarzeniem dla miasta, a przywiezienie kilkusetmiligramowej przesytki wiązało się ze wstrzymaniem komunikacji w mieście i podaniem wiadomości w prasie i radiu jako wiadomości dnia. Rad wywieziono w czerwcu 2006 r. w obecności inspektora ochrony radiologicznej i jednego pracownika Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.

Właściwości radu

Rad jest srebrzystym, lśniąącym i miękkim metalem. Jest pierwiastkiem dwuwartościowym, wykazującym charakterystyczne właściwości metali ziem alkalicznych. Topi się w temperaturze ok. 700°C, a wrze w 1400°C. Jego właściwości chemiczne są zbliżone do magnezu. Reaguje stosunkowo powoli z tlenem atmosferycznym, tworząc tlenek RaO i dość gwałtownie z wodą tworząc wodorotlenek $\text{Ra}(\text{OH})_2$. Z obecnie znanych 30 izotopów radu tylko 4 występują w przyrodzie, a ^{226}Ra jest jednym z nich [4]. Okres półrozpadu dla ^{226}Ra jest najdłuższy ze wszystkich jego izotopów i wynosi 1620 lat. Jest emitentem promieniowania alfa ($E_\alpha=4,6$ i $4,78$ MeV) i gamma ($E_\gamma=1,7$ MeV). Był wykorzystywany w przemyśle, medycynie i badaniach naukowych. W radiografii, jako składnik farb luminescencyjnych oraz w leczeniu raka – to tylko niektóre zastosowania tego pierwiastka w przeszłości [5]. Z powodu dużej radiotoksyczności, z którą wiązano wzrost zachorowań na nowotwory kości i krwi ^{226}Ra został zastąpiony izotopami promieniotwórczymi krótkożyłymi i innych pierwiastków.

Drogi wchłaniania radu

^{226}Ra może przechodzić do organizmu człowieka przez przewód pokarmowy, drogą inhalacyjną lub przez skórę. W normalnych warunkach główną drogą przechodzenia radu z naturalnego środowiska do organizmu jest układ pokarmowy [6, 7]. Rad wchłania się w jelitach jedynie w 20% i konkuruje z wapniem [8]. Po wchłonięciu zostaje zdeponowany głównie w kościach, pomimo że w początkowym okresie po wchłonięciu 1/3 całkowitej aktywności odkłada się w tkankach miękkich [9]. Wobec tego, że kości są tkanką krytyczną dla radu, to najbardziej narażone, a zarazem najbardziej wrażliwe na promieniowanie stają się komórki szpiku, osteoblasty i komórki nabłonkowe znajdujące się na powierzchni kości [10, 11]. W sytuacjach ekstremalnych, przy ciągłym wdychaniu ^{226}Ra ilość tego pierwiastka zdeponowana w układzie oddechowym może być znaczna, przy niewielkiej zawartości w innych narządach [12].

Postępowanie w razie skażenia radem

Podanie w krótkim czasie po skażeniu preparatów wapnia częściowo zabezpiecza organizm przed wchłonięciem radu. Zaleca się podawanie 10–20 g preparatu wapnia (zwłaszcza alginianu) w dużej ilości osłodzonej wody. W przypadku skażenia ran radem należy je przemyć zawiesiną 1 g *Calcium rhodisonate*, które powoduje wytrącenie się radu w postaci nierozpuszczalnych soli. Zabieg uważa się za skuteczny, gdy się go wykona w ciągu 15 min od skażenia.

Ocena narażenia

72 źródła radu 226 przechowywane były w 2 bunkrach szpitala. Ich łączna aktywność wynosiła 31 GBq. Podczas zatapiania źródeł w szkle średnia odległość pracownika od źródeł wynosiła 50 cm. Równoważna wartość stałej ekspozycyjnej dla Ra-226 ma wartość $21,4 \times 10^{-3} \text{ cGyh}^{-1} \text{ GBq}^{-1} \text{ m}^2$. Moc dawki pochłoniętej wyliczona z uwzględnieniem powyższych danych wynosi 2,65 cGyh⁻¹. Czas pracy ze źródłami przygotowywanymi do transportu wyniósł 3 godz. Dawka pochłonięta w powietrzu w tym czasie równa się 7,96 cGy. Osoba pracująca przez 3 godz. w odległości 50 cm od nieosłoniętych 72 źródeł radu 226, o łącznej aktywności 31 GBq otrzymałaby dawkę 91,5 mSv.

Celem zmniejszenia narażenia i ograniczenia dawki pochłoniętej zastosowano 5-centymetrową osłonę ołowianą, którą umieszczono między źródłami a pracownikiem. Dla radu 226 osłona ołowiana osłabia 10-krotnie pochłoniętą



Ryc. 1. Stanowisko pracy przygotowane do zatopienia w szkle źródeł radu-226

Fig. 1. A work stand prepared for sealing radium 226 in glass



Ryc. 2. Bunkier radowy z wysuniętymi pięcioma źródłami radu 226

Fig. 2. Radium bunker with five sources of radium 226 pulled out



Ryc. 3. Źródło radu 226

Fig. 3. A source of radium 226

dawkę. Osoba pracująca w takich warunkach otrzymałaby dawkę 9,15 mSv.

Dokonując dalszych analiz stwierdzono, że dodatkowa osłona utrudniłaby łatwy dostęp do źródeł, zaś odległość 50 cm była optymalna do wykonywania czynności manualnych. Ograniczenie otrzymanej dawki można było uzyskać jedynie przez skrócenie czasu narażenia. Odpowiednie przygotowanie ampułek do zatopienia, zastosowanie ręcznego palnika gazowego, pozwoliło na sprawne, optymalne pod względem ochrony radiologicznej działanie. Najistotniejszym elementem obniżającym otrzymaną dawkę było:

- 1) pojedyncze, częściowe wysuwanie przewodnicy szuflady ze źródłami,
- 2) umieszczenie po 5 źródeł radu o średniej aktywności ok. 2 GBq w ampułce, przy zamknięciu pozostałych źródeł w bunkrze na czas zatapiania ampułki,
- 3) natychmiastowe umieszczanie zatopionych ampułek w osłonie ołowianej bunkra,
- 4) zastosowanie osłony ołowianej o grubości 5 cm.

Metody pomiarów dozymetrycznych

W trakcie przygotowywania radu 226 do transportu przeprowadzono:

- 1) dozymetrię środowiskową i indywidualną dawkomierzami fotometrycznym umieszczonymi na ścianie osłony ołowianej oraz na klatce piersiowej pracownika dokonującego zatapiania w szkle źródeł radu. Po zakończonych czynnościach przestano dawkomierze fotometryczne do Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie do odczytu dawki w trybie awaryjnym [13];
- 2) pomiary dozymetryczne powierzchni, z którymi miały styczność źródła radu, aby wykryć ewentualne skażenia. Pomiary dokonano miernikiem skażeń EKO-C/S z sondą scyntylicyjną typu SSA-1P;
- 3) pomiary rozkładu mocy dawki na powierzchni opakowań transportowych po umieszczeniu w nich źródeł. Pomiary dokonano przyrządem DP-75;
- 4) pomiarów mocy dawki na zewnętrznej powierzchni samochodu po załadunku pojemników ze źródłami dokonano przyrządem DP-75.

Wyniki pomiarów dozymetrycznych:

- 1) dawka na fotometrze środowiskowym wynosiła 6 mSv, na indywidualnym 2 mSv,
- 2) nie stwierdzono obecności skażeń promieniotwórczych w środowisku pracy,
- 3) moc dawki na powierzchni opakowań transportowych nie przekraczała 2 mSv/godz.,
- 4) moc dawki na powierzchni zewnętrznej samochodu nie przekraczała 0,5 mSv/godz.

Wnioski

Po wywiezieniu 72 źródeł radu o łącznej aktywności 31 GBq z ośrodka onkologicznego i przeprowadzeniu dozymetrycznej oceny indywidualnej i środowiskowej postawiono następujące wnioski:

- 1) wyjęcie z bunkra jedynie partii źródeł na czas ich zatopienia w szkle zmniejszyła narażenie pracownika na otrzymaną dawkę z 91,5 mSv do 6 mSv,

- 2) zastosowanie 5-cm osłony z ołowiu zmniejsza narażenie pracownika z 6 mSv do 2 mSv,
- 3) dokonanie analizy matematycznej przed przygotowaniem źródeł do transportu prognozuje zagrożenie radiacyjne,
- 4) wykonanie pomiarów dozymetrycznych, środowiskowych i indywidualnych ocenia narażenie pracownika w trakcie i po przeprowadzonych czynnościach [14],
- 5) sprawdzenie szczelności źródeł przed rozpoczęciem czynności minimalizuje możliwość wystąpienia skażeń wewnętrznych,
- 6) stosowanie fartucha, rękawiczek, okularów i maski na nos i usta zabezpiecza przed skażeniem wewnętrznym podczas ewentualnego rozszczelnienia źródła [15].

Praca finansowana z grantu Nr 50215361.

Adres do korespondencji

dr med. **Grzegorz Andrykowski**
Klinika Chorób Wewnętrznych
z Oddziałem Farmakologii Klinicznej
i Terapii Monitorowanej
Uniwersytet Medyczny
ul. Kniaziewicza 1/5
91-347 Łódź

Piśmiennictwo

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (DzU Nr 230, poz. 1925).
2. Ustawa z 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe DzU z 2004 r. nr161, poz. 1689 i nr 173, poz. 1808, z 2005 r., Nr 163 poz. 1362 oraz z 2006 r. Nr 52 poz. 378, Nr 104, poz. 708 i nr 133, poz. 935.
3. Ciba J, Trojanowska J, Zołotajkin M. Mała encyklopedia pierwiastków. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
4. Molinari J, Snodgrass WJ. The chemistry and radiochemistry of radium and the other elements of the uranium and thorium natural decay series. Technical Report Series No 310, The environmental behaviour of radium 1990; vol. 1, IAEA, Vienna, 11-56.
5. Rowland RE, Stahney AF, Brues AM, Littman MS, Keane AT, Patten BC, Shanahan M, My 1978, Current status of the study of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in humans at the Center of Human at the Center of Human Radiobiology. Health Phys 1978; 35: 159-60.
6. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York 1993.
7. Fisenne IM, Perry PM, Decker KM, Keller HW, 1987, The daily intake of ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁸U, ²²⁸Ac, ²³²Th and ²²⁶Ra by New York City residents. Health Phys 1987; 53: 357-63.
8. ICRP Publication 30. Part 3, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. Pergamon Press 1979.
9. Stather JW. The behaviour and radiation dosimetry of radium in man. Technical Report Series No 310, The environmental behaviour of radium. IAEA, Vienna 1990; 2: 297-344.
10. ICRP Publication 11. A review of the radiosensitivity of the tissues in bone. Pergamon Press 1967.
11. ICRP Publication 30, Part 1. Vol. 2, No. 3/4. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. Pergamon Press 1979.
12. Toxicological Profile for Radium. Tp-90-22, U.S. Department of Health & Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry 1990.
13. Rozporządzenie Rady Ministrów z 5 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących rejestracji dawek indywidualnych (DzU Nr 207, poz. 1753).
14. Rozporządzenie Rady Ministrów z 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (DzU Nr 20, poz. 168).
15. Rozporządzenie Rady Ministrów z 12 lipca 2006 r. w sprawie szczególnych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (DzU Nr 140, poz. 994).