

# ANALIZA WYNIKÓW RUTYNOWEGO MONITORINGU NARAŻENIA PERSONELU NA PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE W MIEJSCACH PRACY

ANALYSIS OF THE RESULTS OF PERSONAL MONITORING  
TO IONIZING RADIATION AT WORKPLACES

Sylwia Papierz, Joanna Domienik-Andrzejewska

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Polska  
Zakład Ochrony Radiologicznej / Radiation Protection Department

## STRESZCZENIE

**Wstęp:** W pracy zaprezentowano wyniki przeprowadzonych przez Zakład Ochrony Radiologicznej (ZOR) Instytutu Medycyny Pracy (IMP) w Łodzi w 2022 r. pomiarów dozymetrycznych dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie rentgenowskie oraz gamma. **Materiał i metody:** Ocena dawki efektywnej w ramach dozymetrii indywidualnej prowadzona była metodami fotometryczną lub termoluminescencyjną (*thermoluminescent dosimetry* – TLD). Dodatkowo na podstawie wyłącznie metody TLD wykonywane były również pomiary przestrzennego równoważnika dawki  $H^*(10)$  oraz indywidualnych równoważników dawek  $Hp(0,07)$  i  $Hp(3)$ . W 2022 r. ZOR IMP objął pomiarami łącznie >30 000 osób zatrudnionych w >4500 zakładach, głównie w placówkach służby zdrowia. Wszystkie pomiary wykonywane były zgodnie z akredytowanymi procedurami badawczymi (zakres akredytacji AB 327). **Wyniki:** W 2022 r. średnia roczna dawka  $Hp(10)$  była równa 0,26 mSv, natomiast  $Hp(0,07)$  zmierzona metodą dozymetrii pierścionkowej oraz nadgarstkowej wynosiła, odpowiednio, 0,63 mSv oraz 0,78 mSv. Z kolei średnia wartość  $Hp(3)$  była równa 0,21 mSv. W 2022 r. nie odnotowano ani jednego przypadku przekroczenia limitu rocznego dawki wśród osób objętych pomiarami przez IMP. **Wnioski:** Zgromadzone w bazie „Dozymetrii” IMP dane oraz szczegółowa analiza rocznych dawek otrzymywanych przez osoby zawodowo narażone na promieniowanie jonizujące i objęte pomiarami przez ZOR IMP w 2022 r. wskazują na dobrze funkcjonujący system ochrony radiologicznej w Polsce. *Med Pr Work Health Saf.* 2024;75(5):415–423

**Słowa kluczowe:** narażenie zawodowe, promieniowanie jonizujące, dozymetria indywidualna, monitoring dawek, dozymetria termoluminescencyjna, dozymetria filmowa

## ABSTRACT

**Background:** The paper presents the results of dosimetric measurements routinely performed by the Radiation Protection Department of the Nofer Institute of Occupational Medicine (NIOM) in Łódź in 2022 for people occupationally exposed to X and  $\gamma$  radiation. **Material and Methods:** The evaluation of the effective dose as part of individual dosimetry was provided using the film or thermoluminescent dosimetry (TLD). Additionally, based exclusively on the TLD method, measurements of the ambient dose equivalent  $H^*(10)$  and personal dose equivalents  $Hp(0.07)$  and  $Hp(3)$  were performed. In 2022, the dosimetric service of the Radiological Protection Department of the NIOM covered >30 000 workers employed in >4500 laboratories (mainly health care departments). All measurements were performed in accordance with accredited research procedures (number AB 327). **Results:** In 2022, the average annual dose of  $Hp(10)$  was equal to 0.26 mSv, whereas  $Hp(0.07)$  measured using ring and wrist dosimetry was equal to 0.63 mSv and 0.78 mSv, respectively. In turn, the average  $Hp(3)$  value was 0.21 mSv. In 2022, there was not a single case of exceeding the annual dose limit among people measured by the NIOM. **Conclusions:** The data collected in the “Dosimetry” database of the NIOM and a detailed analysis of annual doses received by people occupationally exposed to ionizing radiation indicate a well-functioning radiological protection system in Poland. *Med Pr Work Health Saf.* 2024;75(5):415–423

**Key words:** occupational exposure, ionizing radiation, individual dosimetry, dose monitoring, thermoluminescent dosimetry, film dosimetry

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Sylwia Papierz, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Ochrony Radiologicznej, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: sylwia.papierz@imp.lodz.pl  
Nadesłano: 25 kwietnia 2024, zatwierdzono: 4 lipca 2024

## WSTĘP

Wykonywanie obowiązków zawodowych związanych ze stosowaniem sztucznych źródeł promieniowania jonizującego w medycynie, nauce i przemyśle wiąże się bezpośrednio z narażeniem na nie personelu. Dlatego jednym z podstawowych priorytetów organizacji międzynarodowych zajmujących się ochroną radiologiczną jest minimalizacja tego narażenia zgodnie z zasadą ALARA (*as low as reasonably achievable*). Istotnym elementem systemu ochrony radiologicznej jest kontrola narażenia na promieniowanie jonizujące pracowników realizowana w ramach rutynowego monitoringu zorganizowanego w miejscu pracy.

W Polsce podstawowym aktem prawnym w zakresie bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej jest Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe. Szczegółowe przepisy dotyczące ochrony zdrowia pracowników zawarte są m.in. w rozdziale 3 ustawy [1]. Zgodnie z nimi ocena narażenia na promieniowanie jonizujące w miejscu pracy prowadzona jest na podstawie ciągłych pomiarów dawek indywidualnych lub pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy [wyrażonych jako przestrzenny równoważnik dawki  $H^*(10)$ ] dla każdego roku kalendarzowego [1,2]. W ochronie radiologicznej dawka efektywna jest główną jednostką dozymetryczną stanowiącą podstawę szacowania narażenia dla całego ciała i możliwości wystąpienia skutków stochastycznych działania promieniowania jonizującego, takich jak nowotwory i choroby dziedziczne. Jest to wielkość niemierzalna w praktyce metodami bezpośrednimi. Do oceny dawki efektywnej rekomendowany jest pomiar indywidualnego równoważnika dawki  $Hp(d)$  na głębokości  $d = 10$  mm [ $Hp(10)$ ].

Ponadto w przypadku personelu medycznego zaangażowanego w wykonywanie procedur medycznych z zakresu radiologii zabiegowej przeprowadzanych pod kontrolą promieniowania RTG, a w szczególności lekarzy operatorów i pielęgniarek instrumentariuszek, dozymetria całego ciała nie jest wystarczająca do oceny pełnego ryzyka radiacyjnego w danym miejscu pracy ze względu na niehomogeniczność pola promieniowania, na które narażony jest personel. Podobnie jest w medycynie nuklearnej. W tych obszarach działalności medycznej do rutynowego monitoringu radiacyjnego personelu często stosuje się dodatkowo dawkomierze na dłonie i soczewki oczu w celu oceny ryzyka wystąpienia skutków deterministycznych [3–5]. Co więcej, dawki pochłonięte mogą być bardzo różne nawet dla procedur tego samego typu, a ich wielkość zależy od wielu czynników, np. w radiolo-

gii zabiegowej są to m.in. złożoność zabiegu, geometria (w tym stosowane projekcje), widmo promieniowania rentgenowskiego czy zastosowane osłony, a w medycynie nuklearnej, oprócz ostatniego z wymienionych czynników, nie bez znaczenia są także umiejętności praktyczne personelu związane przede wszystkim z manualnym przygotowywaniem (tzw. oznakowywaniem, które powoduje największe ryzyko narażenia) oraz wstrzykiwaniem pacjentom radiofarmaceutyków [4,6–8].

Wymóg stosowania dodatkowego dozymetru do oceny dawki równoważnej dla skóry dłoni pojawił się w przepisach krajowych w 2006 r. Z kolei implementacja zaleceń Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej o obniżeniu limitu dawki dla soczewki oka nastąpiła wraz z nowelizacją ustawy Prawo atomowe w 2019 r. W praktyce dawki równoważne dla dłoni i soczewek oczu szacuje się na podstawie pomiarów, odpowiednio, indywidualnego równoważnika dawki  $Hp(0,07)$  i  $Hp(3)$ .

W celu optymalnego dostosowania metod oceny narażenia personelu w danej jednostce organizacyjnej do jego spodziewanego poziomu, w zależności od wielkości zagrożenia, wprowadzone zostały 2 kategorie pracowników: A i B. Do kategorii A należy zaliczyć tych, którzy w wyniku świadczonej pracy mogą otrzymać dawkę efektywną  $>6$  mSv lub dawkę równoważną  $>15$  mSv na soczewki oczu lub 150 mSv na skórę i kończyny; natomiast do kategorii B wszystkich pozostałych, którzy nie zostali zaliczeni do A. U pracowników z kategorią A ocena narażenia na promieniowanie jonizujące realizowana jest na podstawie dozymetrii indywidualnej, natomiast w przypadku tych z kategorią B na podstawie pomiarów dozymetrycznych w środowisku pracy (choć kierownik jednostki może również podjąć decyzję o objęciu pracowników zaliczonych do kategorii B dozymetrią indywidualną). Należy podkreślić, iż ocena narażenia pracowników na promieniowanie jonizujące wykonywana jest w sposób ciągły w okresach nie dłuższych niż 3-miesięczne [2].

Jednym z podstawowych elementów systemu ochrony radiologicznej osób zatrudnionych w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące (w przeciwieństwie do ekspozycji medycznej) jest obowiązujący system limitów dawek, a więc takich wartości dawek promieniowania, których poza pewnymi wyjątkami ustalonymi w przepisach prawa nie wolno przekraczać – wartości te zwane są dawkami granicznymi. Podstawowym aktem normatywnym ustanawiającym wspomniane limity jest ustawa Prawo atomowe [1], zgodnie z którą dawka graniczna wyrażona jako dawka skuteczna (efektywna) dla osób pracujących w warunkach narażenia

na promieniowanie jonizujące wynosi 20 mSv w ciągu roku kalendarzowego, z jednoczesnym zastrzeżeniem, iż dopuszczalne jest przekroczenie wspomnianego limitu do wartości 50 mSv w ciągu roku tylko w przypadku wyrażenia zgody przez organ właściwy do wydania zezwolenia, pod warunkiem że w ciągu kolejnych 5 lat kalendarzowych jej sumaryczna wartość nie przekroczy 100 mSv. Z kolei dawki graniczne, wyrażone jako dawki równoważne dla skóry oraz soczewki oka, nie powinny przekraczać w ciągu roku kalendarzowego, odpowiednio, 500 mSv oraz 20 mSv [1].

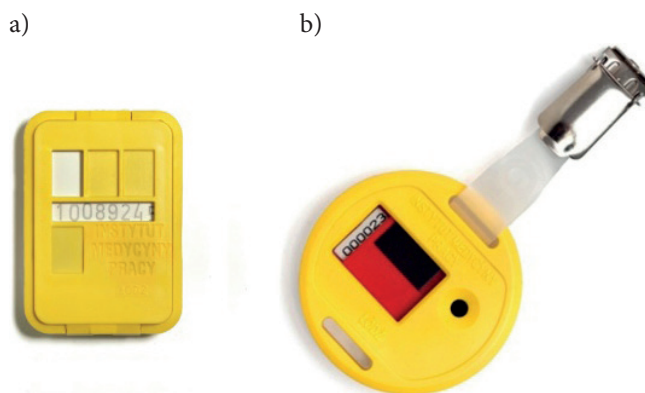
Zakład Ochrony Radiologicznej (ZOR) Instytutu Medycyny Pracy (IMP) w Łodzi od 1966 r. prowadzi pomiary dozymetryczne dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie rentgenowskie (X) oraz gamma ( $\gamma$ ) i jest aktualnie jednym z 6 specjalistycznych akredytowanych laboratoriów badawczych w Polsce. Zakład Ochrony Radiologicznej realizuje pomiary dawek indywidualnych, w ramach rutynowego monitoringu, z zastosowaniem 2 metod dozymetrii pasywnej: filmowej oraz termoluminescencyjnej (TL). Zarówno dozymetria filmowa, jak i TL są metodami sprawdzonymi, znanymi i powszechnie stosowanymi przez część serwisów dozymetrycznych na świecie.

## MATERIAŁ I METODY

### Dozymetria filmowa (fotometryczna)

Wykorzystywanym od wielu lat w ZOR IMP materiałem detekcyjnym jest pakiet FOMA Personal Monitoring Film (PMF) (FOMA, Hradec Králové, Republika Czeska), na który składają się 2 filmy pokryte obustronnie emulsją o wymiarach  $3 \times 4$  cm: wysokoczuły R-10 oraz niskoczuły R-2 (tzw. interwencyjny). Oba filmy w pakiecie PMF są osłonięte szarym papierem oraz umieszczone w wodoodpornym oraz światłoszczelnym opakowaniu, które nie dopuszcza do przypadkowego zaczernienia emulsji pod wpływem światła widzialnego.

Metoda fotometryczna wykorzystuje zjawisko zaczernienia filmu fotograficznego pod wpływem promieniowania jonizującego. Wartość zmierzonego zaczernienia zależy od wielkości dawki pochłoniętej przez emulsję fotograficzną, a także od energii padającego promieniowania. Filmy umieszczone są w specjalnie zaprojektowanych dla IMP kasetach (rycyna 1a) wyposażonych w układ filtrów miedzianych (0,05 mm Cu, 0,5 mm Cu, 1,5 mm Cu) oraz filtr ołowiowy (1 mm Pb). Oprócz metalowych filtrów kasetę zawiera również nieprzesłonięte okienko. Taka konstrukcja kasety zapewnia



Zdjęcia / Photos: Zbigniew Kamiński (Zakład Ochrony Radiologicznej, IMP / Radiation Protection Department, NIOM)

**Rycina 1.** a) Dozometr indywidualny wyposażony w detektor filmowy, b) dozometr indywidualny/środowiskowy wyposażony w detektory termoluminescencyjne nisko- lub wysokoczułe  
**Figure 1.** a) Personal dosimeter equipped with a film detector, b) personal/environmental dosimeter equipped with low- or high-sensitivity thermoluminescent detectors

wyznaczenie dawki (wg stosowanej metody Dresela) niezależnie zarówno od energii rejestrowanego promieniowania jonizującego, jak i od wielkości dawki. Dodatkowo w kasecie znajduje się zatopiona metalowa szpilka, która służy do określania kąta padania wiązki promieniowania.

Po zakończeniu ekspozycji filmy poddawane są, zgodnie z obowiązującą akredytowaną procedurą, obróbce fotochemicznej w ciemni fotograficznej, a następnie przeprowadzana jest analiza densytometryczna zaczernienia filmu w miejscu nieosłoniętym (tzw. okienku) oraz w miejscach osłoniętych poszczególnymi filtrami. W przypadku dozymetrii filmowej wielkość zaczernienia zależy nie tylko od wielkości dawki oraz energii padającego promieniowania, ale również od czasu wywołania, składu i temperatury odczynników oraz rodzaju emulsji fotograficznej, dlatego niezbędne jest wywołanie błon wzorcowych (naświetlonych znaną dawką oraz energią promieniowania) do każdego procesu wywołania dozymetrów filmowych.

Pomiary indywidualnego równoważnika dawki Hp(10) wykonywane są w cyklach 3-miesięcznych, na podstawie akredytacji uzyskanej w Polskim Centrum Akredytacji nr AB 327, w zakresie dawek (0,1–1000) mSv oraz energii (24–208) keV dla promieniowania X oraz 662 keV dla promieniowania  $\gamma$ . Dodatkowo dla jednoznacznej identyfikacji osoby objętej w zakładzie pomiarami każda błona dozymetryczna ma fabrycznie nadany, niepowtarzalny 8-cyfrowy numer, a kasetę może być dodatkowo oklejona danymi identyfikującymi osobę objętą dozymetrią. Detektor filmowy jest jednokrotnego użytku i nie nadaje się do ponownego wykorzystania.

Niezaprzeczną zaletą metody filmowej jest możliwość określenia, czy dozymetr był ekspozycyjnie, np. w wyniku przypadkowego pozostawienia go w polu promieniowania jonizującego, czy też dynamicznie, tj. regularnie frakcjonowanej ekspozycji w czasie trwania okresu pomiarowego. W pierwszym wypadku obraz filtrów widocznych na błonie poddanej obróbce fotochemicznej jest wyraźny, natomiast w drugim – rozmyty, co umożliwia łatwe i jednoznaczne rozróżnienie ekspozycji rzeczywistej od niezamierzonej (incydentalnej), której nie należy zaliczyć do dawki życiowej. Ponadto wszelkie artefakty utrwalone na filmie pozwalają jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie, czy film był poprawnie umieszczony w kasecie, tj. zgodnie z instrukcją dla użytkownika.

Niewątpliwymi zaletami dozymetrii filmowej są relatywnie prosta obróbka fotochemiczna, łatwa archiwizacja oraz możliwość wielokrotnego odczytu. Podsumowując, dozymetr filmowy charakteryzuje się dużą niezawodnością i jest idealnym dozymetrem indywidualnym do monitoringu radiacyjnego personelu.

### Dozymetria termoluminescencyjna

W ZOR ocena indywidualnego równoważnika dawki Hp(10) dokonywana jest także metodą dozymetrii termoluminescencyjnej (*thermoluminescent dosimetry* – TLD). Dodatkowo na podstawie metody TLD wdrożono w IMP również pomiary wielkości przestrzennego równoważnika dawki H\*(10) oraz indywidualnych równoważników dawek Hp(0,07) i Hp(3).

Metoda TLD opiera się na pomiarze światła widzialnego emitowanego przez podgrzany do wysokiej temperatury materiał termoluminescencyjny, ekspozycyjnie wcześniej na promieniowanie jonizujące.

W ZOR wykorzystywane są 2 typy detektorów termoluminescencyjnych (Radcard, Kraków, Polska): detektory typu MTS-N wykonane z fluorku litu z domieszkami magnezu i tytanu (LiF: Mg, Ti), tzw. detektory niskoczułe, oraz detektory typu MCP-N wykonane z fluorku litu z domieszkami magnezu, miedzi i fosforu (LiF: Mg, Cu, P), tzw. detektory wysokoczułe. Oba typy detektorów mają w składzie lit naturalny, zawierający 92,5%  ${}^7\text{Li}$  i 7,5%  ${}^6\text{Li}$ .

Pomiary dawek indywidualnych na całe ciało oraz dawek w środowisku pracy (dozymetria środowiskowa) realizowane są z wykorzystaniem kaset dozymetrycznych (rycina 1b), wyposażanych, w zależności od rodzaju dozymetrii, w detektory niskoczułe (w przypadku pomiarów dawek indywidualnych na całe ciało) lub wysokoczułe (w przypadku dozymetrii środowiskowej). Detektory

te umieszczane są wewnątrz dozymetru we wkładkach wyposażonych w 2 aluminiowe filtry o grubości 1 mm (1 mm Al), umożliwiających automatyczny odczyt detektorów termoluminescencyjnych w czytniku RE-2000 (Mirion Technology, Turku, Finlandia).

Z kolei pomiar indywidualnego równoważnika dawki Hp(3) wykonywany jest z użyciem dozymetru ocznego, znanego pod nazwą handlową Eye-D (Radcard, Kraków, Polska), który składa się z plastikowej obudowy z zamykaną kapsułą, w której umieszczony jest wysokoczuły detektor TL typu MCP-N (rycina 2a). Każdy dozymetr oznacza się niepowtarzalnym numerem w celu jednoznacznej identyfikacji osoby, do której jest przypisany.

Do oceny indywidualnego równoważnika dawki Hp(0,07) w ZOR stosuje się dawkomierze w kształcie pierścionka dozymetrycznego bądź dozymetru nadgarstkowego z umieszczonym wewnątrz detektorem termoluminescencyjnym typu LiF: Mg, Ti (bez dodatkowej filtracji). Wzory zarówno dozymetru pierścionkowego, jak i nadgarstkowego zostały opracowane w ZOR na potrzeby dozymetrii indywidualnej. Pierścionek wykonany jest z elastycznego tworzywa sztucznego i może być umieszczony pod rękawicą chirurgiczną na dowolnym palcu wiodącej ręki pracownika. Dużą zaletą dozymetru pierścionkowego jest jego konstrukcja, w tym możliwość regulacji średnicy, która znacznie podnosi komfort noszenia go nawet pod rękawiczką chirurgiczną. Część detekcyjna dozymetru nadgarstkowego, tj. zamykana kapsuła z detektorem TL, opracowana została na bazie dozymetru pierścionkowego, a silikonowa opaska dostępna jest w 3 rozmiarach umożliwiających dopasowanie dozymetru do rozmiaru nadgarstka. Dozymetr nadgarstkowy może stanowić alternatywę dla pierścionkowego, np. w tych pracowniach kardiologii zabiegowej, w których wykonuje się zabiegi z dostępu bezpośredniego i istnieje szczególne ryzyko utraty sterylności w przypadku uszkodzenia rękawiczki chirurgicznej i możliwość przeniesienia patogenu w okolice pola operacyjnego. W takiej sytuacji dozymetr noszony na poziomie nadgarstka znacznie redukuje powyższe ryzyko. Z drugiej jednak strony może nie doszacować rzeczywistego narażenia skóry dłoni. Zarówno pierścionek, jak i opaska nadgarstkowa wraz z obudową na detektor TL są oznakowane niepowtarzalnym numerem i przeznaczone do wielokrotnego użytku (rycina 2b i 2c).

Niewątpliwą zaletą detektorów termoluminescencyjnych wykorzystywanych w TLD jest tkankopodobność (właściwości absorpcyjne detektorów są porównywalne

a)



b)



c)



Zdjęcia / Photos: Mateusz Mirowski (Zakład Ochrony Radiologicznej, IMP / Radiation Protection Department, NIOM)

**Rycina 2.** a) Dozymetr soczewkowy typu Eye-D (Radcard, Kraków, Polska), b) dozymetr pierścienkowy, c) dozymetr nadgarstkowy (dozymetry b i c są produkowane na zlecenie Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi na podstawie wzorów własnych opracowanych w Zakładzie Ochrony Radiologicznej)

**Figure 2.** a) Eye lens dosimeter type Eye-D (Radcard, Kraków, Poland), b) ring dosimeter, c) wrist dosimeter (dosimeters b and c are produced on behalf of Nofer Institute of Occupational Medicine in Łódź on the basis of own designs developed in the Radiation Protection Department)

do właściwości tkanki człowieka), a także ich liniowa zależność dawkowa oraz mała zależność energetyczna.

W przeciwieństwie do metody filmowej metoda TLD nie pozwala, w pomiarach wykonywanych rutyno-

wo na dużą skalę, na rozróżnienie ekspozycji statycznej od dynamicznej bez dodatkowej specjalistycznej aparatury. W przypadku tego typu pomiarów wykonuje się 1 odczyt, który udokumentowany jest w postaci elektronicznego pliku z wykresem widma wyświecania.

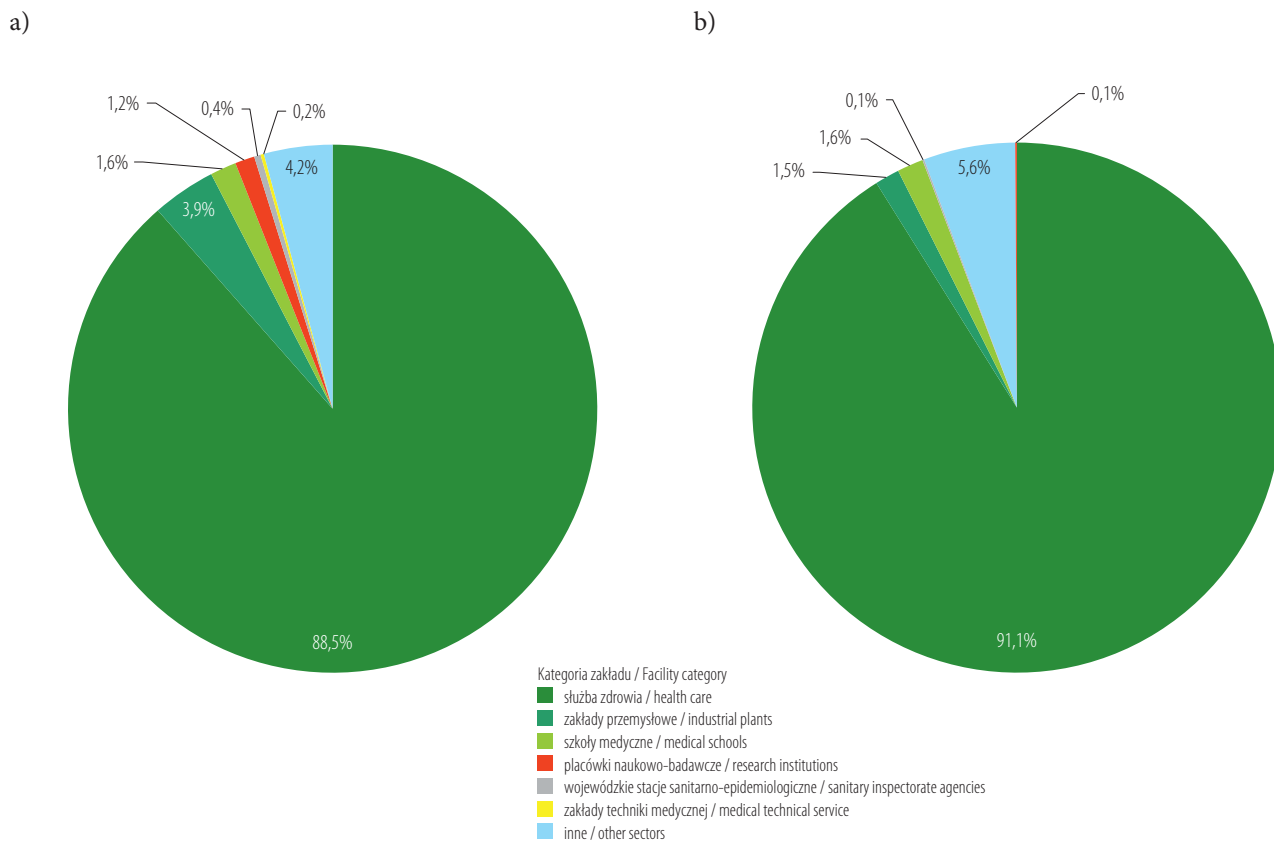
## WYNIKI I OMÓWIENIE

Pomiary indywidualnego równoważnika dawki Hp(10) zarówno metodą filmową, jak i TLD wykonywane są w IMP w cyklach 3-miesięcznych. W 2022 r. usługi dozymetrii indywidualnej realizowane były w 4564 zakładach i laboratoriach, w których łącznie pomiarami objętych było ponad 30 000 osób zawodowo narażonych na promieniowanie jonizujące.

Zgromadzone w bazie „Dozymetrii” IMP w Łodzi wyniki pomiarów indywidualnego równoważnika dawki Hp(10) metodami filmową oraz TLD przeanalizowano pod względem rodzaju miejsca zatrudnienia osób objętych pomiarami. W bazie zdefiniowane są następujące kategorie miejsc zatrudnienia: szeroko rozumiana służba zdrowia (jednostki organizacyjne w systemie opieki zdrowotnej, np. szpitale, przychodnie, poradnie, gabinety stomatologiczne), wojewódzkie stacje sanitarno-epidemiologiczne, szkoły medyczne, zakłady przemysłowe, placówki naukowo-badawcze oraz zakłady technik medycznych. Zebrane wyniki wskazują, iż zarówno w zakładach objętych dozymetrią filmową, jak i TLD procentowy udział pracowników w poszczególnych kategoriach miejsc zatrudnienia jest zbliżony, a największą grupę stanowi służba zdrowia (rycina 3).

W tabeli 1 przedstawiono wyniki dotyczące poziomów rocznych dawek Hp(10) otrzymywanych przez pracowników objętych w swoich zakładach pracy dozymetrią filmową w 2022 r. Dla każdej z wymienionych kategorii miejsc zatrudnienia zaprezentowano wartość średnią i maksymalną rocznej dawki Hp(10), a także rozkład procentowy dawek dla różnych przedziałów ich wartości z dokładnością do 0,01%. W 2022 r. nie zarejestrowano żadnego przypadku przekroczenia rocznego limitu dawki wynoszącego 20 mSv, a tylko jedna wartość dawki przekroczyła 6 mSv. Około 99,82% rocznych dawek dla całej populacji objętej dozymetrią filmową nie przekracza wartości 1 mSv, przy czym 99,6% wyników znajduje się poniżej poziomu czułości metody, tj. 0,1 mSv.

Podobną analizę przeprowadzono dla wyników uzyskanych metodą TLD (tabela 1). W przypadku osób objętych dozymetrią całego ciała metodą TL zarejestrowano 1 potwierdzony przypadek przekroczenia poziomu



**Rycina 3.** Udział procentowy osób zawodowo narażonych na promieniowanie rentgenowskie i  $\gamma$  objętych pomiarami dozymetrycznymi metodą a) filmową i b) termoluminescencyjną ze względu na kategorię zakładu w 2022 r. w Polsce

**Figure 3.** Percentage of people occupationally exposed to X-ray and  $\gamma$  radiation covered by dosimetric measurements using a) film and b) thermoluminescent methods according to the facility category in 2022 in Poland

dawki wynoszącego 6 mSv, a otrzymane wyniki wskazują, iż zarejestrowano minimalnie niższy odsetek dawek, które nie przekraczają wartości 1 mSv (tj. 99,34%) niż w przypadku metody filmowej, przy czym, dla porównania, 91,8% wyników znajduje się poniżej poziomu czułości metody, tj. 0,1 mSv. Jeśli chodzi o oszacowane w opracowaniu średnie i maksymalne wartości rocznych dawek na całe ciało, to dla obu metod, filmowej i TL, są one zbliżone i wynoszą ok. 0,26 mSv oraz 7 mSv. Wyniki dotyczące wartości średnich rocznych dawek na całe ciało również dla pracowników służby zdrowia publikowane w literaturze mogą różnić się nawet o rząd wielkości i wynosić np. 0,06 mSv [9] lub 0,62 mSv [10].

Analogiczne analizy przeprowadzono dla danych dotyczących indywidualnych równoważników dawek Hp(0,07) (z dokładnością do 0,01%) mierzonych za pomocą dozymetrii pierścionkowej i nadgarstkowej (tabela 2). W 2022 r. średnie roczne wartości dawek były na poziomie 0,63 mSv w dozymetrii pierścionkowej oraz 0,78 mSv w dozymetrii nadgarstkowej, a maksymalne roczne dawki wynosiły, odpowiednio, 194,36 mSv i 40,22 mSv, co oznacza, że nie został prze-

kroczony roczny limit dawki na skórę dłoni wynoszący 500 mSv. Porównując powyższe wyniki ze średnimi rocznymi dawkami dla pracowników służby zdrowia dostępnymi w literaturze, można zauważyć, iż są one zbliżone i wynoszą 0,6 mSv [10]. Wyższe dawki maksymalne rejestrowane w dozymetrii pierścionkowej mogą wynikać z kwestii statystycznych albo z faktu, że dozymetr nadgarstkowy, ze względu na jego inne położenie, może w trakcie niektórych zabiegów niedoszacowywać dawki, o czym już wspomniano. Obecnie prowadzone są badania zmierzające do wyznaczenia odpowiednich współczynników korekcyjnych dla zabiegów interwencyjnych. Ponadto publikowane wyniki z dziedziny medycyny nuklearnej również potwierdzają, że dozymetry nadgarstkowe znacząco zaniżają dawkę – nawet niemal 4-krotnie, dlatego przy poziomach ekspozycji obserwowanych w pracowniach izotopowych wprowadzenie dodatkowych współczynników korygujących (obciążonych znaczną niepewnością pomiarową) istotnie zwiększyłyby błąd szacowanych dawek [11]. Z tego powodu w medycynie nuklearnej dozymetria nadgarstkowa nie jest raczej

**Tabela 1.** Podział indywidualnych równoważników dawek Hp(10) metodą filmową i termoluminescencyjną (TL) w populacji osób zawodowo narażonych na promieniowanie rentgenowskie i  $\gamma$  w 2022 r. w Polsce  
**Table 1.** Classification of personal dose equivalent Hp(10) using film and thermoluminescence (TL) method in the population exposed to X-ray and  $\gamma$  radiation in 2022 in Poland

| Typ zakładu pracy<br>Type of institution  | Dawka<br>Dose<br>[mSv] |               | Badani narażeni na roczną dawkę<br>Participants receiving annual dose<br>[%] |              |              |               |                |                |            |
|---|------------------------|---------------|--|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|------------|
|   | M                      | maks.<br>max. | (0–1]<br>mSv   | (1–2]<br>mSv | (2–6]<br>mSv | (6–15]<br>mSv | (15–20]<br>mSv | (20–50]<br>mSv | >50<br>mSv |
| <b>Metoda filmowa / Film method</b>   |                        |               |  |              |              |               |                |                |            |
| służba zdrowia / health care  | 0,27                   | 7,31          | 99,81  | 0,11         | 0,07         | 0,01          | 0              | 0              | 0          |
| wojewódzkie stacje sanitarno-epidemiologiczne /<br>/ sanitary inspectorate agencies | 0,29                   | 0,30          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| szkoły medyczne / medical schools   | 0,18                   | 0,30          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| zakłady przemysłowe / industrial plants   | 0,26                   | 3,86          | 99,88  | 0            | 0,12         | 0             | 0              | 0              | 0          |
| placówki naukowo-badawcze / research<br>institutions                                | 0,27                   | 0,30          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| zakłady techniki medycznej / medical technical<br>service                           | 0,20                   | 0,30          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| inne / other sectors  | 0,25                   | 2,04          | 99,89  | 0            | 0,11         | 0             | 0              | 0              | 0          |
| cała populacja / total population   | 0,26                   | 7,31          | 99,82  | 0,10         | 0,07         | 0,01          | 0              | 0              | 0          |
| <b>TL</b>   |                        |               |  |              |              |               |                |                |            |
| służba zdrowia / health care  | 0,27                   | 6,06          | 99,28  | 0,44         | 0,27         | 0,01          | 0              | 0              | 0          |
| wojewódzkie stacje sanitarno-epidemiologiczne /<br>/ sanitary inspectorate agencies | 0,30                   | 0,30          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| szkoły medyczne / medical schools   | 0,14                   | 0,22          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| zakłady przemysłowe / industrial plants   | 0,29                   | 0,99          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| placówki naukowo-badawcze / research<br>institutions                                | 0,24                   | 0,30          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| inne / other sectors  | 0,28                   | 1,21          | 99,82  | 0,18         | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| cała populacja / total population   | 0,27                   | 6,06          | 99,34  | 0,41         | 0,24         | 0,01          | 0              | 0              | 0          |

Wyniki zaokrąglono do 0,01% / The results rounded-up to 0,01%.

zalecana w ocenie narażenia skóry dłoni albo jest rekomendowana tylko pod pewnymi warunkami, m.in. konieczności zapewnienia jednakowej pozycji dozymetru w trakcie zabiegu [3].

Zebrane dane przeanalizowano w odniesieniu do zajmowanego stanowiska pracy osób objętych dozymetrią pierścionkową lub nadgarstkową w IMP w 2022 r. Wykazano, iż w obu przypadkach ok. 80% pracowników stanowili lekarze z pracowni kardiologii i radiologii zabiegowej. Z kolei pielęgniarki w dozymetrii pierścionkowej oraz nadgarstkowej stanowiły, odpowiednio, 8,2% oraz 18%, a pozostałe zawody jak fizycy, technicy lub pracownicy z nieokreślonym stanowiskiem pracy stanowili, odpowiednio, 11,8% oraz 5,17%. Z przeprowadzonej analizy wynika również, iż w przypadku ok. 94% wszystkich pracowników służby zdrowia obję-

tych dozymetrią pierścionkową lub nadgarstkową zarejestrowane dawki roczne nie przekroczyły poziomu 1 mSv, a 68,5% wyników w dozymetrii pierścionkowej i 57% w nadgarstkowej było poniżej poziomu czułości obu metod, tj. 0,05 mSv.

Uzupełnieniem pełnej analizy danych na temat narażenia na promieniowanie jonizujące personelu medycznego uczestniczącego w procedurach z zakresu radiologii interwencyjnej (m.in. kardiologii lub ortopedii) są dane na temat wielkości rocznych dawek na soczewki oczu (tabela 3). W 2022 r. wartość średnia rocznej dawki wyniosła 0,21 mSv, a maksymalna 1,83 mSv. Niemal 99% osób objętych dozymetrią soczewkową to pracownicy służby zdrowia, dla których 97,76% zarejestrowanych dawek nie przekroczyło 1 mSv, a pozostałe 2,24% mieści się w przedziale (1–2] mSv. Ponadto 80,5% wyników znaj-

**Tabela 2.** Podział indywidualnych równoważników dawek Hp(0,07) metodą termoluminescencyjną (TL) w populacji osób zawodowo narażonych na promieniowanie rentgenowskie i  $\gamma$  w 2022 r. w Polsce dla dozymetrii nadgarstkowej i pierścinkowej  
**Table 2.** Classification of personal dose equivalent Hp(0.07) using thermoluminescence (TL) method in the population exposed to X-ray and  $\gamma$  radiation in 2022 for wrist and ring dosimetry in Poland

| Typ zakładu pracy<br>Type of institution          | Dawka<br>Dose<br>[mSv] |               | Badani narażeni na roczną dawkę<br>Participants receiving annual dose<br>[%] |               |                |                |                 |                  |                  |             |
|---|------------------------|---------------|--|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------|
|   | M                      | maks.<br>max. | (0–1]<br>mSv   | (1–10]<br>mSv | (10–20]<br>mSv | (20–50]<br>mSv | (50–100]<br>mSv | (100–200]<br>mSv | (200–500]<br>mSv | >500<br>mSv |
| Dozymetria nadgarstkowa / Wrist dosimetry         |                        |               |  |               |                |                |                 |                  |                  |             |
| służba zdrowia / health care                      | 0,78                   | 40,22         | 93,49  | 4,34          | 1,52           | 0,65           | 0               | 0                | 0                | 0           |
| placówki naukowo-badawcze / research institutions | 0,11                   | 0,23          | 100  | 0             | 0              | 0              | 0               | 0                | 0                | 0           |
| cała populacja / total population                 | 0,78                   | 40,22         | 93,53  | 4,31          | 1,51           | 0,65           | 0               | 0                | 0                | 0           |
| Dozymetria pierścinkowa / Ring dosimetry          |                        |               |  |               |                |                |                 |                  |                  |             |
| służba zdrowia / health care                      | 0,63                   | 194,36        | 94   | 3,99          | 0,79           | 0,86           | 0,27            | 0,10             | 0                | 0           |

Wyniki zaokrąglono do 0,01% / The results rounded-up to 0,01%.

**Tabela 3.** Podział indywidualnych równoważników dawek Hp(3) metodą termoluminescencyjną (TL) w populacji osób zawodowo narażonych na promieniowanie rentgenowskie i  $\gamma$  w 2022 r. w dozymetrii soczewkowej w Polsce  
**Table 3.** Classification of personal dose equivalent Hp(3) using thermoluminescence (TL) method in the population exposed to X-ray and  $\gamma$  radiation in 2022 for eye dosimetry in Poland

| Typ zakładu pracy<br>Type of institution          | Dawka<br>Dose<br>[mSv] |               | Badani narażeni na roczną dawkę<br>Participants receiving annual dose<br>[%] |              |              |               |                |                |            |
|---|------------------------|---------------|--|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|------------|
|   | M                      | maks.<br>max. | (0–1]<br>mSv   | (1–2]<br>mSv | (2–6]<br>mSv | (6–15]<br>mSv | (15–20]<br>mSv | (20–50]<br>mSv | >50<br>mSv |
| Służba zdrowia / Health care                      | 0,21                   | 1,83          | 97,76  | 2,24         | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| Placówki naukowo-badawcze / Research institutions | 0,10                   | 0,19          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| Inne / Other sectors                              | 0,28                   | 0,28          | 100  | 0            | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |
| Cała populacja / Total population                 | 0,21                   | 1,83          | 97,77  | 2,23         | 0            | 0             | 0              | 0              | 0          |

Wyniki zaokrąglono do 0,01% / The results rounded-up to 0,01%.

duże się poniżej poziomu czułości metody, tj. 0,02 mSv. Oszacowane w pracy wielkości narażenia są dużo niższe niż te publikowane w literaturze i wyznaczane na podstawie dawek mierzonych w trakcie pojedynczych zabiegów oraz liczby rocznie wykonywanych procedur, które pokazują, że roczny limit dawki na soczewki oczu może być przekroczony w przypadku pracy bez dodatkowych osłon chroniących soczewki oczu [6,7,12].

## WNIOSKI

Zgromadzone w bazie „Dozymetrii” IMP dane oraz zaprezentowana powyżej szczegółowa analiza rocznych dawek otrzymywanych przez osoby zawodowo narażone na promieniowanie jonizujące w 2022 r. wskazują na dobrze funkcjonujący system ochrony radiolo-

gicznej w Polsce. Brak przekroczenia rocznego limitu dawki Hp(10) w ciągu ostatnich 5 lat jest pewnym potwierdzeniem bezpiecznych warunków pracy [13]. Należy jednak pamiętać, że przedstawione w pracy wartości rocznych dawek nie odzwierciedlają pełnego narażenia osób objętych w IMP dozymetrią z uwagi na fakt, iż mogą być one zatrudnione jeszcze w innych miejscach pracy, w których rutynowy monitoring realizowany jest przez pozostałe laboratoria badawcze [14]. Niemniej baza danych dozymetrycznych IMP wciąż stanowi jedyne i unikatowe źródło informacji na temat rocznego narażenia pracowników w Polsce, gdyż dawki dla różnych grup pracowników w danym roku kalendarzowym obliczane są na podstawie realnie otrzymanych i zsumowanych dawek kwartalnych, a nie szacowanych na podstawie średnich dawek kwartalnych.



## PODZIĘKOWANIA

Autorki składają podziękowania Panu mgr. inż. Zbigniewowi Kamińskiemu za pomoc w udostępnieniu i opracowaniu danych z bazy „Dozymetrii” IMP niezbędnych do napisania niniejszego artykułu.

### Wkład autorek

**Koncepcja badań:** Sylwia Papierz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

**Metodyka badań:** Sylwia Papierz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

**Zbieranie materiału:** Sylwia Papierz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

**Analiza statystyczna:** Sylwia Papierz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

**Interpretacja wyników:** Sylwia Papierz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

**Piśmiennictwo:** Sylwia Papierz,

Joanna Domienik-Andrzejewska

## PIŚMIENNICTWO

1. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe. DzU z 2023 r., poz. 1173.
2. Rozporządzenie z dnia 11 sierpnia 2021 r. w sprawie wskaźników pozwalających na wyznaczenie dawek promieniowania jonizującego stosowanych przy ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące. DzU z 2021 r., poz. 1657.
3. Wrzesień M, Olszewski J. Wrist dosimeter in nuclear medicine – An alternative for the ring dosimeter? *Phys Med*. 2018; 54:117–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2018.10.006>.
4. Wrzesień M, Królicki L, Albiniak Ł, Olszewski J. Need for eye lens dosimetry in nuclear medicine. *RAP Proc*. 2019;4:67–71. <https://doi.org/10.37392/rapproc.2019.14>.
5. Kyriakidou A, Schlieff J, Ginjaume M, Kollaard R. Need for harmonization of extremity dose monitoring in nuclear medicine: results of a survey amongst national dose registries in Europe. *J Radiol Prot*. 2021;41(4):726–28. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abff3>.
6. Domienik-Andrzejewska J, Ciraj-Bjelac O, Askounis P, Covens P, Dragusin O, Jacob S, et al. Past and present work practices of European interventional cardiologists in the context of radiation protection of the eye lens-results of the EURALOC study. *J Radiol Prot*. 2018;38(3):934–50. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aac64b>.
7. Domienik J, Brodecki M, Rusicka D. A study of the dose distribution in the region of the eye lens and extremities for staff working in interventional cardiology. *Radiat Meas*. 2012;47(2):130–38. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.12.004>.
8. Szewczak K, Jednoróg S, Krajewski P. Individual dose monitoring of the nuclear medicine departments staff controlled by Central Laboratory for Radiological Protection. *Nucl Med Rev Cent East Eur*. 2013;16(2):62–5. <https://doi.org/10.5603/NMR.2013.0036>.
9. Baudin C, Vacquier B, Thin G, Chenene L, Guersen J, Partriarieu I, et al. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staff: trends during the 2009–2019 period in a multicentric study. *Eur Radiol*. 2023;33:5675–84. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09541-z>.
10. Elshami W, Abuzaid M, Piersson A, Mira O, Abdel Hamid M, Zheng X, et al. Occupational dose and radiation protection practice in UAE: A retrospective cross-sectional cohort study (2002–2016). *Radiat Prot Dosimetry*. 2019;187(4):426–37. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz184>.
11. Biegała M, Brodecki M, Jakubowska T, Domienik-Andrzejewska J. Evaluation of exposure to ionizing radiation of medical staff performing procedures with glucose labeled with radioactive fluorine <sup>18</sup>F-FDG. *Nucl Eng Technol*. 2024;56:335–39. <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.10.005>.
12. Principi S, Delgado Soler C, Ginjaume M, Beltran Vilagrasa M, Rovira Escutia JJ, Duch MA. Eye lens dose in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015;165(1–4):289–93. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv051>.
13. Domienik-Andrzejewska J, Wiszniewska M. Dozymetria indywidualna jako element profilaktyki zdrowotnej pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące. *Med Pr Work Health Saf*. 2023;74(6):527–39. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01480>.
14. Frye S, Reynolds A, Botkin C, Muzaffar R, Osman M. Monitoring the Occupational Radiation Exposure of an Individual at Multiple Institutions. *J Nucl Med Technol*. 2022; 50(2):161–65. <https://doi.org/10.2967/jnmt.120.243154>.