

Bezpieczeństwo radiologiczne w pracowni hemodynamiki

Radiation safety in cardiac catheterization laboratory

Michał Tylkowski¹, Maciej Kośmider²

¹ Klinika Kardiologii, I Katedra Kardiologii i Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, Łódź

² Zakład Kardiologii Inwazyjnej, I Katedra Kardiologii i Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, Łódź

Post Kardiol Interw 2007; 3, 4 (10): 217–223

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo radiologiczne, pracownia hemodynamiki

Key words: radiation protection, cathlab

Wstęp

Postęp w medycynie w ostatnich dziesięcioleciach przyniósł nowe metody diagnostyki i terapii wielu chorób, co owocuje wydłużeniem się średniego czasu przeżycia. W kardiologii rozwój ten jest szczególnie widoczny. Niedługo upłynie 80 lat od wykonania pierwszego cewnikowania prawego serca przez Wernera Forssmana, a od wykonania pierwszej selektywnej koronarografii przez Masona Sones – 50 lat. Obecnie trudno sobie wyobrazić diagnostykę i leczenie choroby wieńcowej oraz wielu innych chorób serca bez zabiegów inwazyjnych. Istniejąca w Polsce sieć pracowni hemodynamiki jest uzupełniana przez nowe ośrodki. Coraz powszechniejszy dostęp do procedur inwazyjnych wykonywanych przez coraz liczniejszą grupę lekarzy oraz ciągle zwiększający się asortyment przezskórnych zabiegów rewaskularyzacyjnych powoduje zainteresowanie problemem ochrony radiologicznej podczas tych zabiegów. Promieniowanie rentgenowskie (promieniowanie X) jest szkodliwe dla zdrowia. Niestety, nasze zmysły nie rejestrują go, co sprawia, że niekiedy je lekceważymy z powodu braku poczucia zagrożenia. Wstąpienie Polski do Unii Europejskiej zaowocowało zaostreniem obowiązujących przepisów. Niniejsze opracowanie przygotowano ze względu na niedostatek informacji na temat ochrony radiologicznej, zarówno wśród lekarzy kardiologów kierujących chorych na badania inwazyjne, jak i operatorów. Głównym naszym celem jest poprawa bezpieczeństwa chorych poddanych procedurom medycznym z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego (RTG) w pracowni hemodynamiki.

Podstawy fizyczne

Promieniowanie RTG jest promieniowaniem elektromagnetycznym o długościach fali od 5 pm do 10 nm. U podstaw jego szkodliwego oddziaływania na organizm leżą procesy jonizacji zachodzące w komórkach. Jonizacja może naruszać strukturę komórki, może też oddziaływać pośrednio, poprzez reakcje chemiczne, które zapoczątkowuje. W tym drugim wypadku podstawowe znaczenie ma zjawisko radiolizy wody, które prowadzi do powstawania aktywnych chemicznie rodników zaburzających przemiany metaboliczne organizmu (np. biosyntezę białka). Stała ekspozycja na promieniowanie tła (kosmicznego, związanego z występowaniem metali ziem rzadkich itp.) wykształciła w komórkach mechanizmy naprawcze zdolne do usunięcia większości uszkodzeń. Z kolei większość nienaprawialnych uszkodzeń powoduje śmierć komórki. Tylko sporadycznie uszkodzone komórki przeżywają z defektem genomu. O ile w komórkach rozrodczych ma to bardzo duże znaczenie (powoduje defekt płodu), to w wypadku komórek somatycznych z reguły przebiega bez zauważalnych efektów. Powtarzane ekspozycje na promieniowanie i uszkodzenia genomu mogą jednakże doprowadzić do transformacji nowotworowej.

Wyróżniamy skutki stochastyczne i niestochastyczne oddziaływania promieniowania RTG. Skutki niestochastyczne (deterministyczne) zależą bezpośrednio i proporcjonalnie od otrzymanej dawki. Związane są głównie z niszczącym oddziaływaniem fizycznym promieniowania na tkanki. Zwykle istnieje określony próg dawki, poniżej którego dany skutek nie występuje. Główna wiązka promieniowania przechodzi przez klatkę piersiową chorego poddanego

Adres do korespondencji/Corresponding author: lek. Michał Tylkowski, Klinika Kardiologii, I Katedra Kardiologii i Kardiologii, Uniwersytet Medyczny, ul. Sterlinga 1/3, 91-425 Łódź, tel. +48 32 633 96 30 wew. 238, e-mail: tylkom@interia.pl

Praca wpłynęła 10.10.2007, przyjęta 15.10.2007.

Tabela 1. Deterministyczne skutki oddziaływania promieniowania RTG na skórę
Table 1. Deterministic effects of X-ray radiation

Efekt	Próg dawki [Gy]	Czas fluoroskopii (przy dawce 0,02 Gy/min) [godz.]	Czas od napromienienia do wystąpienia efektu
Przemijający rumień skórny	2	1,7	godziny
Czasowa utrata włosów	3	2,5	3 tygodnie
Trwała utrata włosów	7	5,8	>3 tygodni
Atrofia skóry	11	9,2	>2 tygodni
Teleangiektazje	12	10,0	>52 tygodni
Martwica skóry	18	15,0	>10 tygodni

badaniu w pracowni hemodynamiki. Narzędziem krytycznym, czyli najbardziej wrażliwym na działanie promieniowania, jest skóra pleców [1]. Możliwe działania niepożądane dawki ekspozycyjnej na skórę przedstawia tab. 1. Trzeba podkreślić, że większość niestochastycznych skutków niepożądanych napromienienia pojawia się po kilku tygodniach od zabiegu, kiedy chory przebywa już w domu.

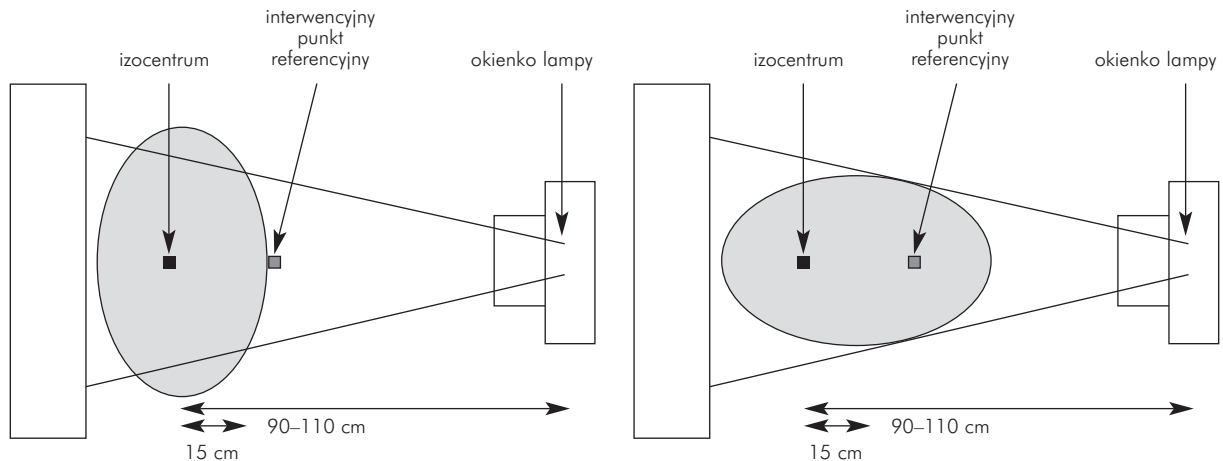
Stochastycznym skutkiem oddziaływania promieniowania są nowotwory i zmiany genetyczne. Skutki stochastyczne są niezależne od wielkości dawki, pojawiają się przypadkowo. Szanse pojawienia się skutku wzrastają wraz ze zwiększaniem dawki. Inaczej jest z natężeniem skutku, które od dawki nie zależy (do rozwoju nowotworu wystarczy uszkodzenie jednej komórki). Ryzyko zgonu z powodu nowotworu w okresie życia po napromienianiu dla populacji krajów rozwiniętych szacowane jest na 25–33% [2]. Ekspozycje na promieniowanie jonizujące populacji Hiroshimy i Nagasaki wskazują, że ryzyko rozwinięcia się śmiertelnego nowotworu podczas dalszego życia wynosi 0,04–0,12% na każde 10 mSv ekspozycji na całe ciało. Ekstrapolując te dane na typową interwencję wieńcową, można stwierdzić, że dodatkowe ryzyko rozwoju nowotworu u chorego podczas dalszego życia wynosi poniżej 1%. U osób poddanych ekspozycji >50. roku życia ryzyko jest znacznie mniejsze. W porównaniu z innymi czynnikami środowiskowymi, takimi jak np. palenie papierosów, jest to ryzyko niewielkie, jednakże nie można go pominąć [2].

Sposoby mierzenia promieniowania w pracowni hemodynamiki

Podstawową jednostką dawki promieniowania jest grej (Gy). Odpowiada on pochłonięciu 1 J energii przez 1 kg masy materii, przez którą przechodzą promienie. Jest to jednostka bardzo duża – kilka grejów to dawka śmiertelna dla człowieka. Po uwzględnieniu współczynnika jakości (szkodliwości), który dla promieniowania RTG wynosi 1, uzyskujemy dawkę wyrażoną w siwertach (Sv). Dla promieniowania RTG dopuszczalny jest skrót myślowy: 1 Gy = 1 Sv. Roczna dawka ekspozycji naturalnej (na promieniowanie tła) wynosi dla mieszkańców Polski 2–3 mSv, przeciętnie 2,6 mSv. Podstawą oceny narażenia chorego na promie-

niowanie jest dawka pochłonięta. Uwzględnia ona zarówno promieniowanie wiązki pierwotnej lampy rentgenowskiej, jak i promieniowanie rozproszone. W praktyce jest niemożliwa do zmierzenia – wymagałoby to umieszczenia mierników wewnątrz ciała. Badania z użyciem fantomów pozwalają, po uwzględnieniu rozmiarów chorego i parametrów wyjściowych wiązki, uzyskać dawkę pochłoniętą przez poszczególne narządy oraz sumaryczną dawkę skuteczną. Jednym z bardziej znanych sposobów obliczania wielkości dawki jest symulacja metodą Monte Carlo [3]. Bezpłatną wersję testową programu do powyższych obliczeń można pobrać z Internetu [4].

W codziennej praktyce nie ma konieczności oznaczania dawki skutecznej. Może ona znaleźć zastosowanie np. do wyliczania dawek dla płodu przed napromienieniem kobiet ciężarnych. Używa się innych, obiektywnych parametrów charakteryzujących wiązkę promieniowania. Jednym z najważniejszych jest iloczyn dawki i powierzchni (ang. *dose-area produkt* – DAP). Jest to wartość niezależna od odległości od źródła promieniowania (ze wzrostem odległości rośnie powierzchnia, przez którą przechodzą promienie, iloczyn pozostaje stały). Większość stosowanych systemów mierzy DAP przy użyciu wbudowanej komory jonizacyjnej, niektóre aparaty obliczają go z wyjściowych parametrów ekspozycji. Sam DAP nie charakteryzuje w sposób optymalny narażenia na promieniowanie. Nowsze angiografy wyliczają też dawkę ekspozycyjną na skórę chorego w tzw. interwencyjnym punkcie radiologicznym (ang. *interventional radiology point* – IRP). Ścisłe rzecz ujmując, obliczana jest suma energii kinetycznych wszystkich naładowanych cząstek powstających w warstwie powietrza znajdującej się na poziomie IRP. Wartość ta nosi nazwę kerma (ang. *kinetic energy released per mass*) i jest wyrażana w grejach. Obliczeń dokonuje się przy założeniu, że chory znajduje się w izocentrum ramienia C, czyli w punkcie przestrzeni, gdzie wiązki promieniowania emitowane przy dowolnych kątach odchylenia ramienia C się przecinają. Dawka jest obliczana przy założeniu, że skóra pleców chorego znajduje się w odległości 15 cm od izocentrum, w kierunku lampy. Z uwagi na to, że przekrój poprzeczny chorego nie jest idealnie okrągły (ryc. 1.), uzyskane wartości kerma mają charakter orientacyjny



Ryc. 1. Lokalizacja interwencyjnego punktu referencyjnego i potencjalne błędy wyliczeń dawki w tym punkcie
Fig. 1. Position of interventional reference point (IRP) and potential errors of skin dose estimation

(są obarczone błędem obliczeń sięgającym 50%) i służą jedynie do wyłonienia chorych narażonych na niepożądane działania promieniowania.

W ocenie bezpieczeństwa radiologicznego używany jest też czas użycia fluoroskopii oraz liczba i długość nagrywanych akwizycji obrazu. Podczas koronarografii i zabiegu angioplastyki wieńcowej (PCI) składowa DAP z fluoroskopii zwykle nie przekracza 40% [5]. Średni czas skopii wykonywanych zabiegów jest miernikiem sprawności manualnej operatora. Neofotistou i wsp. zaproponowali referencyjne wartości dla zabiegów kardiologii inwazyjnej [6]. W wypadku koronarografii 75% zabiegów powinno być wykonywanych przy użyciu czasu fluoroskopii <6 min, z użyciem DAP <57 Gy na cm² oraz liczby ramek akwizycji <1270. Dla zabiegów PCI wartości referencyjne wynoszą odpowiednio 16 min, DAP <94 cGy na cm² oraz liczba ramek akwizycji <1355. Proponowane wartości referencyjne należy traktować jako absolutne maksimum, którego nie można przekraczać, natomiast każde zmniejszanie napromienienia, jeśli uzyskuje się akceptowalną jakość obrazów, jest dopuszczalne i pożądanym.

Podstawowe wiadomości o budowie angiografu

Lampa rentgenowska angiografu składa się z ujemnie naładowanej katody oraz wolframowej antykatody (anody), które znajdują się w bańce próżniowej. Całość jest umieszczona w otowiano-stalowej obudowie z oknem, przez które wychodzi promieniowanie. Przepływ elektronów w lampie (tzw. prąd lampy) jest mierzony w miliamperach. Odzwierciedla on liczbę produkowanych fotonów promieniowania. Powstałe w katodzie elektrony są przyspieszane przez dostarczone pomiędzy elektrody napięcie i padają na anodę, powodując powstawanie promieniowania RTG. Zmiany napięcia powodują zmiany energii

fotonów produkowanego promieniowania. Aby usunąć z wiązki fotony o niższych wartościach energii (pochłaniane przez skórę i nieprzyczyniające się do powstawania obrazu), w oknie lampy umieszczono dodatkowe filtry miedziane lub aluminiowe. Lampa rentgenowska ma też sterowalne przesłony: półprzepuszczalną oraz nieprzepuszczalną (kolimator), umożliwiające modyfikację wiązki promieniowania wychodzącej z aparatu.

Promienie opuszczające lampę rentgenowską przechodzą przez chorego, ulegając częściowemu pochłonięciu i rozproszeniu. Za chorym znajduje się system odbioru obrazu przekształcający promieniowanie RTG na promieniowanie widzialne. Aby uzyskać obraz na monitorze, promieniowanie musi być wzmocnione, przekształcone na obraz widzialny (za pomocą kamery bądź cyfrowego detektora obrazu) oraz przetworzone przez komputer sterujący całością pracy aparatu. Cyfrowy detektor obrazu jest konstrukcją nowszą. Dostarcza on obrazów lepszej jakości przy użyciu mniejszych dawek promieniowania w porównaniu z systemem konwencjonalnym [7].

W celu zmniejszenia dawki współczesne aparaty generują promieniowanie w systemie cyklicznym (pulsowym). W diagnostyce osób dorosłych używa się trybu 10–15 pulsów/s. W większości współczesnych aparatów istnieje również możliwość zmiany dawki używanej podczas pracy (standardowa, niska i wysoka). Lampa kardiografiowa ma dwa tryby pracy – fluoroskopii oraz akwizycji. Fluoroscopia jest używana do czynności wymagających słabszej jakości obrazu (np. pozycjonowanie cewników). Zgodnie z rozporządzeniem *Food and Drug Administration* (FDA) z 2002 roku, wszystkie nowe angiografy podczas fluoroskopii w trybie normalnej dawki nie mogą używać dawki ekspozycyjnej na skórę większej niż 88 mGy/min [8]. Dopuszcza się używanie trybu zwiększo-

nej dawki, podczas którego dawka nie może przekraczać 180 mGy/min. Pracy w trybie zwiększonej dawki musi towarzyszyć ostrzegawczy sygnał dźwiękowy dla operatora. Angiografy wyprodukowane przed 2002 rokiem mają limity odpowiednio 100 i 200 mGy/min. Do obrazowania naczyń wieńcowych stosuje się tryb akwizycji, używający 5–30 razy większej dawki promieniowania i dający obraz służący do podejmowania decyzji terapeutycznych. Przy nagrywaniu nie ma górnego limitu dawki. Kardioangiograf jest wyposażony w zaawansowany system kontroli ekspozycji. Podstawowym jego zadaniem jest uzyskanie zaprogramowanego natężenia promieniowania na wzmacniaczu obrazu. Umieszczenie na drodze promieni przeszkody (np. ciała chorego) powoduje zwiększenie napięcia na lampie i w efekcie większą przenikliwość promieniowania. Jeśli to nie wystarczy, automatycznie usuwane są przesłony miedziane lub aluminiowe, zwiększa się czas trwania impulsu oraz natężenie prądu na lampie rentgenowskiej (liczba fotonów promieniowania). Jeśli mimo tych zabiegów nie uzyska się docelowego natężenia prądu na wzmacniaczu (np. u osób bardzo otyłych), aparat obniża wymagania dotyczące natężenia promieniowania na wzmacniaczu obrazu, nie dopuszczając do uszkodzenia lampy rentgenowskiej.

Za prawidłową pracę angiografu, czyli parametry ekspozycji zgodne z obowiązującymi normami, odpowiada w każdym ośrodku inspektor ochrony radiologicznej oraz zespół techników elektroradiologii. Natomiast za procedury medyczne z użyciem promieniowania RTG, tj. kwalifikację oraz sposób przeprowadzenia i dokumentację wyników badań, odpowiedzialność prawną ponosi dyrektor danego ośrodka, a w jego imieniu kierownik pracowni hemodynamiki.

Bezpieczeństwo radiologiczne w pracowni hemodynamiki

Podstawową zasadą, którą należy się zawsze kierować przy zastosowaniu promieniowania RTG w medycynie, jest zasada: tylko tyle, ile niezbędnie konieczne (ang. *as low as reasonably achievable* – ALARA), bowiem nie istnieje określona minimalna bezpieczna (tj. niepowodująca skutków ubocznych) dawka promieniowania. Im mniejsza dawka, tym mniejsze ryzyko skutków ubocznych, a powtarzane ekspozycje na promieniowanie kumulują ją. Ochrona radiologiczna rozpoczyna się przed pracownią hemodynamiki. Staranna kwalifikacja chorych kierowanych na badania inwazyjne ma w dobie wzrostu dostępności do tych badań zasadnicze znaczenie. Zysk z badania musi przewyższać potencjalne ryzyko powikłań, w tym i odległych efektów napromienienia.

Celem koronarografii jest uzyskanie obrazu o jakości wystarczającej do postawienia trafnej diagnozy. Nie jest celem uzyskanie najlepszego możliwego obrazu. Ograniczanie stosowanych dawek musi się odbywać w sposób zaplanowany; uzyskiwanie obrazów zbyt niskiej jakości, wymagających powtórek, jest niedopuszczalne. O jakości

obrazów powinien decydować zespół, w skład którego wchodzi kierownik pracowni, lekarz/lekarze wykonujący badania, inspektor ochrony radiologicznej oraz fizyk medyczny współpracujący z danym ośrodkiem.

Ilość promieniowania używana podczas zabiegów kardiologii interwencyjnej zależy od zdolności manualnych operatora oraz od jego wiedzy na temat teorii wykonywania zabiegów. Edukacja operatorów w zakresie ochrony radiologicznej przyczynia się do zmniejszenia sumarycznej dawki akumulowanej podczas pracy przez personel pracowni [9]. Istotne są następujące zasady dotyczące prawidłowej eksploatacji angiokardiografu:

- a) Naświetlanie chorego wyłącznie wtedy, gdy główny operator wykonuje czynności tego wymagające. Wstępne pozycjonowanie chorego w stosunku do ramienia C oraz doprowadzanie cewników po przewodniku od koszulki hemostatycznej do opuszki aorty wykonujemy przy minimalnym użyciu fluoroskopii.
- b) Ograniczenie liczby akwizycji do niezbędnego minimum pozwalającego na staranne przeprowadzenie procedur diagnostycznych i terapeutycznych. Po zakończeniu badania nie może być wątpliwości co do oceny każdego z odcinków naczyń wieńcowych o średnicy powyżej 1,5 mm. Rutynowo należy stosować 4 projekcje na lewą i 2 na prawą tętnicę wieńcową. U osób młodych, z mniejszym ryzykiem choroby niedokrwiennej serca, istnieje możliwość dalszej redukcji liczby projekcji (2–3 na lewą i 1 na prawą tętnicę wieńcową), o ile nie ma żadnych wątpliwości co do ocenianych naczyń.
- c) Skrócenie czasu akwizycji do 2–3 s (niemożliwe, jeśli trzeba uwidocznnić krążenie oboczne).
- d) Systematyczna praca w trybie obniżonej dawki (ang. *low dose*). Należy kontrolować jakość uzyskiwanych akwizycji obrazu. W 99% przypadków jest ona wystarczająca do podejmowania decyzji diagnostyczno-terapeutycznych. Niekiedy można stosować opcję nagrywania fluoroskopii (ang. *store fluoro*), np. podczas dokumentowania zabiegu PCI.
- e) Optymalne pozycjonowanie chorego względem ramienia C. W każdym angiokardiografie można zmieniać optymalną odległość od lampy rentgenowskiej do wzmacniacza. Chory powinien być jak najdalej od lampy i jak najbliżej wzmacniacza obrazu – tak bardzo, jak to technicznie możliwe. Przy nieprawidłowym ustawieniu chory może otrzymać **kilkakrotnie** większą dawkę promieniowania niż potrzeba. Istnieją używane rutynowo projekcje, które charakteryzują się zmienną względną dawką ekspozycji [10]. Przykładowe, najczęściej używane projekcje, podano w tab. 2.
- f) Używanie podczas zabiegów angioplastyki wymagających długiego stosowania fluoroskopii najmniejszego kąтового odchylenia ramienia C, jakie jest możliwe. W razie przedłużania się zabiegu należy zmieniać kąty pracy.

- g) Należy używać kolimatora (ryc. 2.). Zmniejszenie powierzchni naświetlanej wprost proporcjonalnie redukuje dawkę ekspozycyjną. Wskazane jest używanie funkcji zatrzymania ostatniego obrazu (ang. *last image hold*) oraz wirtualnych przesłon i kolimatora.
- h) Stosowanie najmniejszego powiększenia pozwalającego uzyskać obrazy optymalnej jakości. Geometryczne powiększenie w wypadku konwencjonalnego wzmacniacza obrazu zwiększa dawkę bardziej niż w wypadku wzmacniacza cyfrowego [11].

Ochrona radiologiczna personelu pracowni hemodynamiki

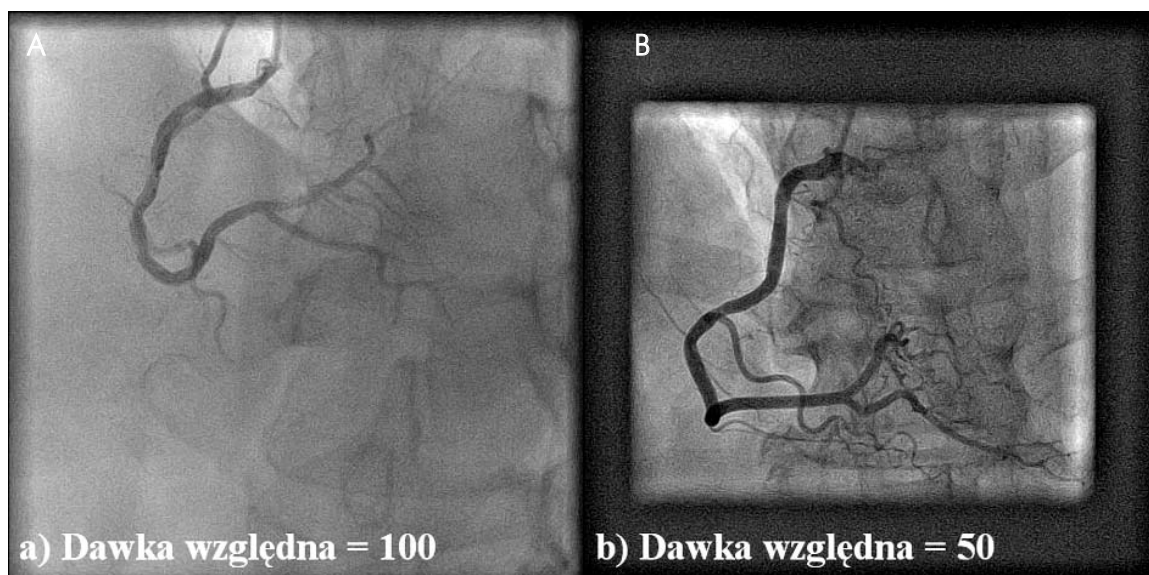
Głównym źródłem promieniowania docierającego do personelu jest promieniowanie rozproszone, powstałe w wyniku interakcji głównej wiązki promieniowania lampy rentgenowskiej z ciałem chorego. Jedynie śladowa ilość promieniowania pochodzi z obudowy lampy. Podstawową zasadą ochrony personelu jest ochrona chorego, która zmniejsza ilość promieniowania rozproszonego.

Do określania dawek otrzymanych przez pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące stosuje się dawkomierze indywidualne. Najczęściej wykorzystują one metodę fotograficzną. Dzięki wbudowanym w kasetę filtrom z różnych materiałów o różnej grubości istnieje możliwość określenia dawki, jakości promieniowania (zakres energetyczny) oraz stwierdzenia, czy dawka była jednorazowa czy cząstkowa. W myśl obowiązujących przepisów prawnych (ustawa *Prawo atomowe*) pracowników stykających się z promieniowaniem dzieli się na kategorie [12]. Do kategorii A zalicza się osoby narażone na dawkę skuteczną >6 mSv/rok. Obowiązuje je pomiar dawek indywidualnych realizowany przez noszenie dwóch dozymetrów: jednego w miejscu skierowa-

Tabela 2. Zmienne dawki względne podczas różnych odchyłań kątowych ramienia C
Table 2. Doses to patient and operator during different C-arm angulations

Kąty ramienia C	Dawka względna dla chorego [Gy]	Dawka względna dla operatora [Gy]
LAO 0° CRAN 0°	1	1
LAO 0° CAUD 20°	1,15	1,3
LAO 0° CRAN 30°	1,46	2,5
LAO 30° CRAN 0°	1,46	2,5
LAO 90° CRAN 0° („profil”)	2,15	6,3
LAO 50° CAUD 20° („spider”)	3,77	9,1

nym do źródła promieniowania – czyli chorego (np. na ramieniu, kołnierzu na tarczycę) oraz drugiego, za fartuchem ochronnym. Pracownicy kategorii B, narażeni na roczną dawkę skuteczną 2–6 mSv, mogą mieć wykonywany pomiar dawek indywidualnych; można też prowadzić pomiary na ich stanowisku pracy. Zgodnie z ustawą i jej zarządzeniami wykonawczymi, pracowników narażonych na promieniowanie obowiązuje roczna wartość graniczna efektywnego równoważnika dawki obciążającej w wysokości 20 mSv [12]. Pracownik, który otrzymał dawkę większą od rocznej granicznej, nieprzekraczającą jednak pięciokrotnie tej wartości, powinien być w dalszej pracy ekspozycyjnej w taki sposób, aby łączna dawka w dowolnym okresie kolejnych sześciu lat obejmujących rok zwiększonego napromienienia nie przekroczyła sześciokrotnej dawki granicznej. Odczytu dozymetrów indywidualnych dokonuje się w akredytowanych ośrodkach referencyjnych. Dane o ekspozycjach z kolejnych lat pracy są gromadzone



Ryc. 2. **A** – nieskolimowana (dawka względna = 100) i **B** – skolimowana (dawka względna = 50) akwizycja obrazu prawej tętnicy wieńcowej
Fig. 2. **A** – non-collimated (dose = 100) and **B** – collimated (dose = 50) image frame of right coronary artery

Tabela 3. Dawki efektywne wybranych procedur medycznych z użyciem promieniowania RTG**Table 3.** Effective doses of selected medical procedures using X-ray radiation

Badanie	Dawka efektywna [mSv]	Ekwiwalent liczby zdjęć klatki piersiowej	Czas, w którym chory otrzyma z promieniowania tła (2,6 mSv rocznie) ekwiwalent dawki otrzymanej w czasie badania
RTG klatki piersiowej (P-A)	0,02	–	3 dni
RTG głowy	0,07	3,5	10 dni
Mammogram	0,13	6,5	18 dni
RTG kręgosłupa szyjnego	0,3	15	1,4 miesiąca
RTG jamy brzusznej	0,53	26,5	2,4 miesiąca
RTG miednicy	0,83	41,5	3,8 miesiąca
RTG kręgosłupa piersiowego	1,4	70	6,5 miesiąca
RTG kręgosłupa lędźwiowego	1,8	90	8,4 miesiąca
CT głowy	2	100	10 miesięcy
CT jamy brzusznej	10	500	3,8 lat
CT klatki piersiowej	20–40	1000–2000	7–14 lat
PET-CT	25	1250	9,6 lat
CT – calcium score	1,5–2	75–100	7–9 miesięcy
Angio-CT tętnic wieńcowych	20–50	1000–2500	7–19 lat
SPECT	>8	>400	>3 lat
Koronarografia	<10	500	<3,8 roku
Koronarografia + angioplastyka	10–20	500–1000	3,8–7,6 roku

Skróty: CT – tomografia komputerowa, PET – pozytonowa tomografia emisyjna, SPECT – tomografia emisyjna pojedynczego fotonu

Abbreviations: CT – computed tomography, PET – positron emission tomography, SPECT – single photon emission computed tomography

i jest to jedyna dokumentacja napromienienia zawodowego w wypadku ewentualnego rozważania wpływu środowiska pracy na zdrowie.

Osobnym problemem jest wpływ promieniowania na soczewkę oka. Przy jednorazowej ekspozycji dawka wywołująca zmętnienie soczewki jest dość duża i wynosi 0,5–2 Sv. Zaćmę może wywołać jednorazowa ekspozycja soczewki na 5 Sv. W razie powtarzanych ekspozycji, dawki przekraczające sumarycznie 100 mSv/rok mogą doprowadzić do zmętnienia soczewki w kilkuletniej obserwacji. Zaćmę wywoła dawka 150 mSv akumulowana przez wiele lat.

W ochronie radiologicznej personelu również obowiązuje zasada ALARA. Składają się na nią trzy elementy: zwiększanie odległości od źródła promieniowania, zmniejszanie czasu ekspozycji oraz stosowanie osłon. Istotne są tu następujące elementy:

a) Podczas badania sala zabiegowa jest zamknięta, a wszyscy niezbędni pracownicy (lekarz, pielęgniarka instrumentariuszka, pielęgniarka zabiegowa oraz niekiedy technik) muszą nosić odzież ochronną. Fartuch ochronny o równoważniku grubości ołowiu 0,5 mmPb pochłania około 90% fotonów promieniowania o energii 75 keV. Dla lekarza i instrumentariuszki wystarczy ochrona na przednią część ciała, natomiast pielęgniarka zabiegowa powinna nosić fartuch chroniący również

plecy. Wskazane jest noszenie kołnierzy ochronnych na tarczycę oraz okularów ochronnych – szczególnie przez operatorów PCI, którzy otrzymują większe dawki niż lekarze wykonujący tylko koronarografie.

- b) Należy tak pozycjonować monitory systemu, aby operator patrzył na nie w kierunku przeciwnym do lampy.
c) Należy unikać kontaktu personelu z główną wiązką lampy. Zdarza się to niekiedy podczas trudnych punkcji tętnicznych oraz podczas usuwania elementów przesłaniających obraz (elektrod, kabli itp.). Lekarz nie powinien naświetlać chorego podczas usuwania tych przeszkód przez personel pracowni.

Europejskie normy prawne

Ekspozycje chorych na promieniowanie jonizujące stosowane w medycynie są uregulowane prawnie [12, 13]. Chory, który w wyniku zabiegu z zastosowaniem promieniowania RTG otrzymał na skórę dawkę sumaryczną przekraczającą 3 Gy, powinien być poddawany badaniom kontrolnym co najmniej raz w tygodniu w okresie 21 dni po ekspozycji. Jeśli w wyniku zabiegu wykonywanego według obowiązujących procedur, a mogącego wymagać powtórzenia, otrzymał na skórę dawkę sumaryczną przekraczającą 1 Gy, wyniki badań i informacja o dawce są przekazywane lekarzowi prowa-

dzącemu i powinny zostać odnotowane w dokumentacji medycznej. Podczas zabiegów koronarografii i PCI stosuje się różne kąty między lampą rentgenowską a ciałem chorego, dzięki czemu następuje napromienienie różnych fragmentów powierzchni skóry. Zapis ustawowy dotyczący konieczności podawania wartości dawki ekspozycji na skórę nie jest precyzyjny. Wydaje się, że przy napromienianiu różnych fragmentów powierzchni ciała obliczona przez komputer całkowita dawka ekspozycji na skórę będzie większa niż faktycznie otrzymana w danym punkcie jej powierzchni. Z tego powodu obiektywnym i optymalnym miernikiem ilości używanego promieniowania pozostaje DAP, jednakże wyliczenie kerma w interwencyjnym punkcie referencyjnym umożliwia dokonanie w prosty sposób selekcji chorych narażonych na ewentualne deterministyczne skutki niepożądane.

Podsumowanie

Gwałtowny rozwój technik komputerowych umożliwił nowoczesną diagnostykę inwazyjną i nieinwazyjną przy użyciu promieniowania RTG. Poprawnie wykonana koronarografia wiąże się z mniejszą (nawet kilkakrotnie) dawką ekspozycyjną i pochłoniętą przez chorego w porównaniu z 64-rzędową tomografią komputerową czy badaniem scyntygrafii perfuzyjnej (tab. 3.). Należy o tym pamiętać, wybierając metody diagnostyczne dla każdego chorego. Wykonanie obydwu powyższych badań i koronarografii w niedługim czasie może spowodować przekroczenie progu dawki powodującego wystąpienie efektów niepożądanych.

Narażenie chorego na promieniowanie podczas zabiegów w pracowni hemodynamiki jest nieuniknione. Niekiedy przekroczenie dawki uznanej za bezpieczną jest uzasadnione – np. podczas pierwotnej PCI w leczeniu zawału serca. Za całość odpowiada lekarz wykonujący badanie inwazyjne. Ma on realny wpływ na ilość promieniowania, którą otrzyma chory – redukcja dawki może wynosić nawet >50% przy stosowaniu przedstawionych technik. Jest to w interesie operatora – jako moralne zobowiązanie w stosunku do chorego oraz jako działanie czysto pragmatyczne, gdyż część promieniowania opuszcza ciało chorego i jako promieniowanie rozproszone powoduje narażenie personelu pracowni. Chory nie jest codziennie narażony na promieniowanie, tak jak zespół medyczny. Zmniejszenie dawki ekspozycyjnej dla chorego w sposób oczywisty koreluje z redukcją promieniowania pochłoniętego przez operatora podczas zabiegu. Edukacja w zakresie ochrony radiologicznej i okresowa kontrola jakości w pracowni hemodynamiki, leżąca w gestii kierownika danego ośrodka, przyczynia się do zmniejszenia używanych dawek promieniowania. nierozwiązane pozostają wątpliwości co do bezpieczeństwa kilkugodzinnych zabiegów udrożnienia przewlekłych okluzji, gdzie korzyści kliniczne nie są jednoznacznie udowodnione, a narażenie chorych i personelu na promieniowanie jest ogromne.

Należy uwzględniać dawki ekspozycyjne podczas tych zabiegów i mieć świadomość pewności wystąpienia efektu deterministycznego po przekroczeniu dawki progowej 3 Gy na skórę.

Istotna jest rejestracja używanych dawek w dokumentacji medycznej. Chory może być poddawany wielu zabiegom w różnych ośrodkach, dlatego tak ważny jest przepływ informacji na temat używanych dawek promieniowania RTG.

Piśmiennictwo

1. Vano E, Goicolea J, Galvan C i wsp. Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures. *Br J Radiol* 2001; 74: 1023-1031.
2. Hirshfeld JW Jr, Balter S, Brinker JA i wsp. ACCF/AHA/HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. *J Am Coll Cardiol* 2004; 44: 2259-2282.
3. Toohy RE, Stabin MG, Watson EE. The AAPM/RSNA physics tutorial for residents: internal radiation dosimetry: principles and applications. *Radiographics* 2000; 20: 533-546.
4. http://www.stuk.fi/sateilyn_kayttajille/ohjelmat/PCXMC/en_GB/demo_program/
5. Betsou S, Efstathiopoulos EP, Katritsis D i wsp. Patient radiation doses during cardiac catheterization procedures. *Br J Radiol* 1998; 71: 634-639.
6. Neofotistou V, Vano E, Padovani R i wsp. Preliminary reference levels in interventional cardiology. *Eur Radiol* 2003; 13: 2259-2263.
7. Vano E, Geiger B, Schreiner A i wsp. Dynamic flat panel detector versus image intensifier in cardiac imaging: dose and image quality. *Phys Med Biol* 2005; 50: 5731-5742.
8. Food and Drug Administration. Electronic Products; Performance Standard for Diagnostic X-Ray Systems and Their Major Components. <http://www.epa.gov/edrgstr/EPA-IMPACT/2002/December/Day-10/i30550.htm>
9. Kwon E, Empen K, Robinson DM i wsp. Efficiency of a minicourse in radiation reducing techniques: a pilot initiative to encourage less irradiating cardiological interventional techniques (ELICT). *Heart* 2005; 91: 1221-1222.
10. Kwon E, Dahm JB, Empen K i wsp. Identification of less-irradiating tube angulations in invasive cardiology. *J Am Coll Cardiol* 2004; 44: 1420-1428.
11. Srinivas Y, Wilson DL. Image quality evaluation of flat panel and image intensifier digital magnification in x-ray fluoroscopy. *Med Phys* 2002; 9: 1611-1621.
12. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (tekst jednolity: Dz. U. z 2004 r. Nr 161 poz. 1689).
13. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 24 grudnia 2002 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych oraz sposobu wykonywania kontroli wewnętrznej nad przestrzeganiem tych warunków (Dz. U. z dnia 31 grudnia 2002 r. Nr 241 poz. 2098).

Źródła informacji w Internecie

- Komisja UE: europa.eu.int/comm/environment/radprot
 International Atomic Energy Agency: www.iaea.org
 International Commission on Radiological Protection: www.icrp.org
 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: www.unscear.org
 World Health Organization: www.who.int