

Zasady ochrony radiologicznej w kardiologii interwencyjnej

Andrzej Ciszewski, Robert J. Gil, Marek Dąbrowski

10.1. Wstęp

Dynamiczny rozwój kardiologii interwencyjnej, który nastąpił w ostatnich latach, doprowadził do dużego wzrostu ekspozycji personelu i pacjentów na promieniowanie rentgenowskie [1]. Pracownie diagnostyczne, w których przed laty wykonywano dziennie kilka krótkich zabiegów diagnostycznych, przekształciły się w czynne całą dobę ośrodki hemodynamiczne, wykonujące nawet po kilkadziesiąt długich, skomplikowanych, często ratujących życie zabiegów terapeutycznych. Zmianie uległ również profil pacjentów. Obecnie przewagę stanowią chorzy starsi, z wielonaczyniową chorobą wieńcową, miażdżycą wielopoziomową czy wadami serca, którzy jeszcze kilka lat temu byli w większości leczeni przez kardiochirurgów.

Aparaty rentgenowskie wykorzystywane do badań hemodynamicznych są coraz bardziej doskonałe, nie tylko w sferze jakości obrazu, ale także bezpieczeństwa pracy. Niewątpliwie w ostatnich latach dzięki technice cyfrowej udało się istotnie poprawić rozdzielczość obrazu oraz ułatwić prowadzenie zabiegów naczyniowych. Dzięki temu z jednej strony udało się obniżyć stosowane wartości prądowe (a tym samym dawki promieniowania) w stosunku do metod konwencjonalnych. Z drugiej natomiast strony te wszystkie osiągnięcia elektroniki i informatyki poprzez praktycznie nieograniczone możliwości rejestracji poszczególnych etapów zabiegów naczyniowych niejako kuszą operatora do nadmiernego wydłużania sekwencji fluoroskopii i akwizycji filmowej. W efekcie bardzo często prowadzi to do sumarycznego wzrostu dawki w stosunku do sytuacji, kiedy zabieg jest wykonywany z wykorzystaniem aparatury RTG starszej generacji. Niejako wyrazem tych zagrożeń jest fakt, iż już w 1994 r. *Food and Drug Administration* uznała kardiologię interwencyjną za dziedzinę radiologii, w której uzyskiwane dawki promieniowania rosną najszybciej i stanowią największe zagrożenie dla pacjentów i personelu [2].

Te zmieniające się warunki pracy oraz konieczność dostosowania przepisów i sprzętu do norm Unii Euro-

pejskiej to powody, dla których autorzy niniejszego opracowania postanowili przedstawić najważniejsze zasady stosowania ochrony radiologicznej w pracowni hemodynamicznej.

10.2. Działanie promieniowania RTG

Promieniowanie rentgenowskie należy do promieniowania jonizującego, które oddziałując na materię, powoduje powstawanie jonów, czyli cząstek posiadających ładunek elektryczny. Skutki biologiczne promieniowania rentgenowskiego mogą być natychmiastowe oraz odległe w czasie. W żywym organizmie może ono powodować zaburzenia funkcjonowania komórki, zmiany jej materiału genetycznego oraz obumarcie. Stopień uszkodzenia komórki zależy od rodzaju promieniowania i jego dawki. Wpływ promieniowania na materiał genetyczny komórki po wielu latach może ujawnić się w postaci choroby nowotworowej lub trwałego defektu genetycznego. Należy podkreślić, że szansa wystąpienia choroby nowotworowej i zmian genetycznych wzrasta wraz z wielkością otrzymanej dawki promieniowania bez dawki progowej, a więc każda, nawet najmniejsza dawka stanowi zagrożenie [3]. Natomiast inne powikłania, takie jak zaćma, bezpłodność, małopłytkowość czy granulocytopenia występują dopiero po przekroczeniu dawki progowej.

Miarą oddziaływania każdego typu promieniowania jonizującego na człowieka jest dawka promieniowania. Obecnie powszechnie stosuje się parametr zwany dawką graniczną, wyrażany najczęściej w milisiwertach (mSv). Ze źródeł naturalnych (promieniowanie ziemskie, kosmiczne, pierwiastki promieniotwórcze zawarte w powietrzu) otrzymujemy co roku od 1 do 3 mSv. Zgodnie z międzynarodowymi normami dopuszczalna dawka roczna ponad tę, którą otrzymujemy ze źródeł naturalnych, nie powinna przekroczyć 1 mSv. Wykonanie zdjęcia klatki piersiowej wiąże się z dawką 0,02 mSv, a badanie izotopowe tarczycy od 0,4 do 40 mSv, zależnie od stosowanej metody [4]. Dużo większe dawki związane są z badaniem naczyniowym, w czasie któ-

rego pacjent otrzymuje np. 5 mSv, a w trakcie koronarografii kilkanaście mSv.

Pacjent jest narażony na większe dawki promieniowania najwyżej kilkunastokrotnie w ciągu życia, natomiast personel badający niemal stale. Dla osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące międzynarodowe normy dopuszczają roczną dawkę graniczną 50 mSv, jeśli napromieniowanie całego ciała jest równomierne. Dla soczewek oczu wynosi ona 150 mSv, a dla innych tkanek lub narządów 500 mSv [5]. Należy pamiętać, iż ustanowienie dawki granicznej nie zwalnia z obowiązku ograniczania rzeczywistych dawek promieniowania jonizującego do tak małych, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne.

Głównym źródłem promieniowania dla personelu jest badany pacjent, a nie lampa rentgenowska. Powstaje ono na skutek interakcji promieniowania wytworzonego w lampie z atomami ciała pacjenta znajdującymi się w polu naświetlenia. Ilość atomów będących źródłem tego rozproszonego promieniowania jest proporcjonalna do wielkości pola, objętości i gęstości naświetlonego obszaru. Ponadto zależy ona od stosowanej energii, wyrażonej w kilowoltach (kV), czyli twardości promieniowania. Promieniowanie rozproszone, będące efektem fizycznego zjawiska dyspersji promieniowania, jest emitowane z obiektu rozpraszającego (tj. pacjenta) izotropowo (jednakowo we wszystkich kierunkach). Przeprowadzone pomiary wykazują, że w wiązce promieniowania skierowanej i trafiającej do detektora obrazowego udział promieniowania rozproszonego stanowi ok. 40–95% całej energii promieniowania w zależności od wielkości obiektu (średnica 5–40 cm). Oznacza to, że promieniowanie użyteczne (tworzące obraz) to zaledwie 60–5% całkowitego promieniowania wychodzącego z pacjenta w kierunku detektora obrazu. Daje to również pojęcie o wielkości promieniowania rozproszonego emitowanego z pacjenta w innych kierunkach, np. w stronę personelu.

10.3. Zasady ograniczania wpływu promieniowania RTG

Dążąc do zmniejszenia wielkości promieniowania rozproszonego, należy kierować się kilkoma zasadami. Pierwszą z nich jest ograniczanie rozmiarów naświetlanego pola jedynie do absolutnie koniecznych. Niezbędne do tego jest stosowanie odpowiednich przeston (tzw. *blend*). Drugą zasadą jest taki dobór energii, która zapewniłaby oczekiwaną jakość obrazu przy użyciu jak najmniejszej ilości kilowoltów. Dawka promieniowania zależy od grubości tkanek, które są prześwietlane. Można przyjąć, że każde 5 cm dodatkowej warstwy tkanek pacjenta to podwojenie dawki. Dlatego w pro-

jekcjach z dużym odchyleniem skośnym, zwłaszcza głowowym, i pełnej projekcji bocznej dawka promieniowania jest nawet 5–8-krotnie większa niż w projekcji AP i niewielkich skosach bocznych. Należy także pamiętać, że dawka promieniowania jest ok. 10-krotnie większa w trakcie rejestracji obrazu niż w czasie fluoroskopii, a także wzrasta wraz z wielkością powiększenia. Wzrost dawki promieniowania wraz ze wzrostem wielkości powiększenia, realizowanym poprzez zmianę tzw. pola w detektorze obrazu (we wzmacniaczu obrazu lub w płaskim detektorze cyfrowym), jest następujący: każda zmiana pola na mniejsze (o ile procesowi temu towarzyszy zwiększenie rozdzielczości geometrycznej obrazu) powoduje 2-krotny wzrost dawki. Dotyczy to typowego szeregu wielkości pól obrazowych w detektorze (stosunek wymiarów liniowych 2 kolejnych pól obrazowych jest zbliżony do pierwiastka kwadratowego z 2 i wynosi ok. 1,41). Dlatego też nie należy wykonywać prostych zabiegów na maksymalnych powiększeniach ani rejestrować zbyt wielu obrazów.

Kardynalną zasadą, bezwzględnie wymaganą w pracowni hemodynamicznej, jest noszenie fartuchów ochronnych. Obowiązuje ono wszystkich przebywających w pomieszczeniu w trakcie pracy lampy rentgenowskiej. Zespoły wykonujące zabiegi terapeutyczne powinny stosować osłony tarczycy i okulary ze szkła ołowiowego. Te ostatnie pełnią także dodatkową rolę zabezpieczającą spojówki przed ewentualnym kontaktem z krwią badanego. Należy tu wspomnieć, że najbardziej narażony na promieniowanie jest lekarz stojący najbliżej źródła promieniowania. Pielęgniarka stojąca w większej odległości oraz pozostali personel są narażeni w znacznie mniejszym stopniu.

Bardzo ważną osłoną przed promieniowaniem są ekrany i kurtyny zawierające związki ołowiu, w które wyposażone jest obecnie większość pracowni. Kurtyny najczęściej stanowią integralną część stołu hemodynamicznego i odgradzają dolną część ciała operatora od lampy. Przezroczyste ekrany przymocowywane są na przegubach do sufitu i chronią górną część ciała badającego. W trakcie wielokrotnego zmieniania położenia lampy i stołu w czasie zabiegu zwłaszcza ekrany wymagają niewielkich korekcyjnych zmian położenia. Prawidłowe używanie ekranów i kurtyn, które mogą być grubsze i cięższe od fartuchów, zmniejsza otrzymaną dawkę aż 5-krotnie.

Często zadawane pytanie dotyczy grubości warstwy ołowiu (Pb) zapewniającej bezpieczeństwo badającemu. Wyjaśnia to prawo Lambert-Beera mówiące, iż dawka promieniowania zaabsorbowana przez jednostkę powierzchni ciała badającego jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od źródła promieniowania. Tak więc należy zawsze pamiętać o prostej za-

sadzie, że 2-krotne zwiększenie odległości badającego lekarza od serca badanego pacjenta powoduje, że tylko 25% pierwotnej dawki rozproszonej jest absorbowane przez jednostkę powierzchni jego ciała. Drugą ważną informacją jest to, że procent dawki absorbowanej przez fartuch nie jest stały, lecz zależy od energii promieniowania, przy wzroście energii np. z 60 do 100 kV dozymetru maleje aż 3-krotnie.

Przy uwzględnieniu wspomnianych powyżej praw fizyki można przystąpić do ustalenia pożądanej grubości fartuchów ochronnych. Przy stosowaniu energii naświetlania 75 kV energia rozproszona wyniesie 60–75 kV, zależnie od kąta odbicia promieni rentgenowskich. Warstwa połowicznej absorpcji promieniowania dla Pb wynosi od 0,05 do 0,15 mm dla wspomnianych wyżej dwóch wartości energii. Dlatego można obliczyć, że fartuch ołowiany o grubości ołowiu 0,25 mm przepuści od 30 do 12,5% promieniowania rozproszonego. Analogicznie – fartuch z warstwą ołowiu 0,5 mm jedynie 12,5–1% rozproszonego promieniowania – co jest wartością akceptowalną. Z powyższych rozważań wynikają 2 wnioski: w czasie pracy w promieniach RTG należy stosować jak najniższe energie promieniowania oraz fartuchy o grubości warstwy Pb 0,5 mm. Dotyczy to głównie lekarza badającego. Pozostały personel, przebywający w większej odległości od źródła promieniowania, może stosować fartuchy o cieńszej warstwie Pb.

Jonizacja powietrza, powstająca podczas używania promieniowania jonizującego, nie jest bardzo duża w przypadku aparatów nowej generacji. Dzieje się tak na skutek stosowania w takich aparatach promieniowania rentgenowskiego o bardziej korzystnym widmie energetycznym, co wiąże się z wyeliminowaniem poprzez filtrację frakcji niskoenergetycznego promieniowania miękkiego. Takie podejście przyczynia się do zmniejszenia zjawiska jonizacji powietrza, ale nie prowadzi do jego całkowitego wyeliminowania. Szkodliwość wdychania takiego powietrza przez organizmy żywe jest oczywista i dlatego ustawodawca wprowadził specjalne wymogi związane z wentylacją pomieszczeń. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 11 września 2003 r. w §8 ust. 1 stanowi, że w gabinetach rentgenowskich należy stosować wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną, zapewniającą co najmniej 4-krotną wymianę powietrza w ciągu godziny. Należy przy tym podkreślić, że należną wymianę powietrza powinno się uzyskiwać z wykorzystaniem odpowiednich urządzeń klimatyzacyjnych, które zapewniają dodatkowo utrzymanie optymalnych wartości temperatury i wilgotności powietrza, poprawiając warunki pracy personelu oraz komfort chorego.

10.4. Ochrona indywidualna przed promieniowaniem RTG

Istotną sprawą związaną z ochroną radiologiczną jest używanie przez personel zatrudniony w pracowni hemodynamicznej indywidualnych dozymetrów. Noszenie dozymetrów w miejscach najbardziej eksponowanych na promieniowanie rozproszone pozwala obliczyć ekwiwalent rzeczywistej dawki w przeliczeniu na całą powierzchnię ciała. Dlatego też obecnie wprowadzane są termoluminescencyjne dozymetry pierścienkowe. Zawierają one fluorek litu, który pochłania promienie jonizujące. Odczyt dozymetru polega na zmierzeniu nagromadzonej energii, która jest uwalniana w postaci światła. Metoda ta precyzyjnie określa dawkę i jest dużym postępem w stosunku do tradycyjnych dozymetrów fotometrycznych.

Obecnie duży nacisk kładzie się na ochronę pacjenta przed promieniowaniem. Dawka, jaką otrzymuje chory, może być do 1 000 razy większa niż dawka dla personelu, a liczba pacjentów poddawanych wielokrotnym zabiegom interwencyjnym stale rośnie. Ze względu na to, że pacjent otrzymuje dawkę bezpośrednio na skórę, określa się ją częściej w grejach (Gy), a nie w milisiwertach (mSv). W najbliższych miesiącach rozporządzenie Ministra Zdrowia powinno określić szczegółowe przepisy, dotyczące ochrony radiologicznej i czas ich wprowadzania.

Współczesna aparatura do przezskórnych zabiegów interwencyjnych oferuje cały szereg różnych rozwiązań technicznych, służących redukcji dawki promieniowania. Część z nich ma charakter obligatoryjny, jednak ograniczenia niniejszej publikacji uniemożliwiają ich pełne przedstawienie. Niejako dla uporządkowania zagadnienia poniżej przytoczone są najistotniejsze zapisy pochodzące z rozporządzenia Ministra Zdrowia z 11 września 2003 r.

§37.2:

Zestawy rentgenowskie stosowane do prześwietleń są wyposażone:

- we wskaźniki wartości natężenia prądu i napięcia na lampie rentgenowskiej;
- w miernik czasu ekspozycji, który powoduje wyłączenie wysokiego napięcia na lampie rentgenowskiej po czasie nie dłuższym niż 10 min, jeżeli wcześniej nie określono czasu dłuższego niż 10 min, oraz który nie później niż po upływie każdych 5 min prześwietlania i co najmniej na 30 s przed automatycznym wyłączeniem ekspozycji powoduje nadawanie sygnału dźwiękowego.

§37.2:

Zestawy rentgenowskie używane w radiologii interwencyjnej i zabiegowej są wyposażone w:

- miernik wielkości ekspozycji (rejestrator dawki) umożliwiający ocenę narażenia pacjenta podczas badania;

- fluoroskopię pulsacyjną;
- układ zapamiętywania ostatniego obrazu.

Należy pamiętać, iż jeżeli pacjent w trakcie badania otrzymał na skórę dawkę >1 Gy (1 Gy=1 000 mGy), informacja o tym powinna być przekazana lekarzowi prowadzącemu, a gdy przekroczono dawkę 3 Gy, pacjent wymaga badań kontrolnych po 3 tyg. [6]. Najczęstsze objawy uboczne ze strony pacjenta to zmiany skórne: rumień i wysypka w miejscu najbliższym źródła promieniowania, czyli lampy rentgenowskiej. Mogą się one pojawić po przekroczeniu dawki 2–3 Gy w kilka godz., ale również w kilka mies. po zabiegu. Do poważniejszych objawów skórnych należą owrzodzenia i martwica skóry, które mogą wystąpić w kilka miesięcy po zabiegu i w niektórych przypadkach wymagać przeszczepu skóry [7].

W podsumowaniu należy podkreślić, że zawrotny rozwój kardiologii interwencyjnej w ostatnich latach spowodował znaczny wzrost stosowanych dawek promieniowania i wyprzedził techniczne systemy ochronne oraz przepisy prawne. Dlatego należy przywrócić wiedzę i świadomość o oczywistych zagrożeniach i powikłaniach, na które narażamy pacjentów, kolegów i siebie samych.

10.5. Podsumowanie

1. Każde promieniowanie jonizujące, w tym rentgenowskie, jest szkodliwe dla zdrowia.
2. Lekarze wykonujący zabiegi w pracowniach hemodynamicznych powinni stosować fartuchy ochronne o warstwie ołowiu co najmniej 0,5 mm oraz używać ekranów ochronnych i kurtyń odgradzających operatora od źródła promieniowania.
3. Wykonujący procedury lecznicze powinni dodatkowo stosować osłony na tarczycę i okulary ochronne.
4. W czasie pracy należy ograniczać czas ekspozycji i liczbę projekcji.
5. Podczas pracy należy pamiętać o ograniczaniu pola ekspozycji za pomocą blend.
6. Nie przebywać w pobliżu źródła promieniowania w trakcie rejestracji, o ile nie jest to konieczne.
7. Należy kontrolować i rejestrować dawkę promieniowania, jaką otrzymuje pacjent.
8. Używanie indywidualnych dozymetrów jest obowiązkowe i poza pomiarem służy do zmniejszenia otrzymanej dawki.

Piśmiennictwo

1. Hwang E, Gaxiola E, Vlietstra RE, et al. Real-time measurement of skin radiation during cardiac catheterization. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1998; 43: 367-70.

2. Food and Drug Administration. Avoidance of serious X-Ray-induced skin injuries to patients during fluoroscopically-guided procedures. *September*, 1994.
3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. *New York: United Nations* 2000.
4. Berrington de Gonzalez A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004; 363: 345-51.
5. Rozporządzenie Rady Ministrów z 28.05.2002 w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego.
6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 24.12.2002 w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych.
7. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, et al. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 177: 3-11.

10.6. Najważniejsze akty prawne dotyczące pracowni RTG (w tym kardioangiograficznych)

1. Ustawa z 29.11.2000 r. Prawo atomowe, DzU Nr 3/2001, poz. 18.
2. Ustawa z 27.07.2001 r. o wyrobach medycznych, DzU Nr 126, poz. 1380.
3. Rozporządzenie Rady Ministrów z 28.05.2002 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego.
4. Rozporządzenie Rady Ministrów z 17.12.2002 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, DzU Nr 239, poz. 2029.
5. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 24.12.2002 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych oraz sposobu wykonywania kontroli wewnętrznej nad przestrzeganiem tych warunków, DzU Nr 241, poz. 2098.
6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 11.09.2003 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy z aparatami rentgenowskimi o energii promieniowania do 300 keV stosowanymi w celach medycznych, DzU Nr 165, poz. 1606.