

Grażyna GILEWSKA

MOŻLIWOŚCI WYKONANIA MAKSYMALNEJ LICZBY RADIOGRAMÓW W ASPEKTCIE OCHRONY PACJENTA PRZED PROMIENIOWANIEM RENTGENOWSKIM^{*)}

STRESZCZENIE *Zasadniczym celem diagnostyki rentgenowskiej są korzyści diagnostyczne i później terapeutyczne pacjenta nad możliwym ryzykiem wpływu promieniowania jonizującego.*

Mimo obowiązywania zasady minimalizacji dawki promieniowania rentgenowskiego dla pacjenta (tzw. zasada ALARA), można stwierdzić, iż możliwe jest wykonanie około 80 zdjęć rentgenowskich stawu kolanowego w ciągu jednego roku, nie wywołując niestochastycznych skutków działania promieniowania jonizującego, powołując się również na korzyści diagnostyczne prowadzonych badań.

Stwierdzenie takie zostało sformułowane na podstawie oszacowania dawki efektywnej otrzymywanej przez pacjentów (0,012 mSv) przy wykonywaniu zdjęcia rentgenowskiego stawu kolanowego. Oszacowanie to wykonano przy nadmiarowych parametrach i porównano z przyjętą dawką 1 mSv jako graniczną, przy której narażenie pacjentów na stochastyczne skutki działania promieniowania jonizującego określa się jako minimalne.

Słowa kluczowe: *promieniowanie rentgenowskie, ochrona radiologiczna, staw kolanowy*

^{*)} Praca wykonana w ramach pracy statutowej S/WE/1/05.

dr inż. Grażyna GILEWSKA
e-mail: gilg@pb.edu.pl

Wydział Elektryczny
Politechnika Białostocka

1. WSTĘP

Korzyści płynące z diagnostyki rentgenowskiej nie mogą przesłaniać świadomości ryzyka skutków genetycznych i somatycznych. Należy zdawać sobie sprawę z przyczyn nadmiernego obciążenia dawką promieniowania rentgenowskiego i ze sposobów jego zmniejszenia.

Dawki promieniowania rentgenowskiego, jakie otrzymują pacjenci w poszczególnych badaniach rentgenowskich, charakteryzuje duża zmienność nawet w tych samych zakładach rentgenowskich. Wpływa na to odmienna technika operatorska, różnice filtracji promieniowania, stopień rozwarcia wiązki pierwotnej, czułość filmu i znajomość zasad ochrony radiologicznej.

W 1962 roku ukazał się raport Komitetu ONZ o badaniu skutków promieniowania atomowego (UNSCEAR), który zwrócił powszechną uwagę na obciążenie populacji ludzkiej promieniowaniem jonizującym ze źródeł medycznych. Ocena danych wykazała, że udział opadu radioaktywnego po wybuchach jądrowych w narażeniu ludności na promieniowanie jądrowe jest dziesięciokrotnie mniejszy od obciążenia diagnostyką rentgenowską. Wzrosły wówczas wysiłki zmierzające do zmniejszenia dawki promieniowania rtg pochodzącej z diagnostyki rentgenowskiej [10].

Nowe generacje coraz bardziej doskonalonych aparatów rentgenowskich przyniosły istotne zmniejszenie dawek otrzymywanych podczas badań. Jednak z upływem lat znowu zaczyna się obserwować wzrost obciążenia populacji ludzkiej promieniowaniem rentgenowskim. Wpływa na to głównie zwiększająca się liczba wykonywanych badań.

2. ZASADY I METODY OCHRONY PACJENTA

Zasady ochrony pacjenta przed nadmierną ekspozycją można ująć w następujących punktach [10]:

- ograniczenie wielkości napromienionego pola,
- właściwa filtracja promieniowania,
- właściwe dobranie parametrów elektrycznych nastaw badania w celu uniknięcia powtarzania ekspozycji,
- stosowanie osłon i fartuchów ochronnych.

Wielkość pola napromieniowanego jest odpowiednikiem napromieniowanej objętości pacjenta, a co za tym idzie dawki efektywnej przez niego otrzymanej podczas badania. Ma to istotne znaczenie szczególnie u małych dzieci. Jak podano w pracy [2], zwiększenie wymiaru długiego zdjęcia klatki piersiowej wcześniejsza o 2 cm przy formacie filmu 6 x 6 cm zwiększa pole narażenia o około 40%, a przy zdjęciu klatki piersiowej osoby dorosłej na dużym formacie filmu (35 x 43 cm) tylko o około 9%. U noworodków bardzo istotne znaczenie ma rozmieszczenie czerwonego szpiku kostnego, który znajduje się w 28% w czaszce, 10% w kończynach górnych i w 21% w kończynach dolnych [3]. Zdecydowanie mniejsze niebezpieczeństwo występuje przy naświetlaniu kończyn dorosłych pacjentów, u których w kończynach górnych znajduje się 2% całego szpiku, a w kończynach dolnych 7% szpiku, który występuje tylko w górnej części kości udowej.

W celu zmniejszenia narażenia pacjentów zaleca się wykorzystanie technik „utwardzających” promieniowanie rentgenowskie (zwiększających jego energię) poprzez wzrost napięcia lampy, bądź stosowanie filtracji, która obcina miękką część widma ulegającego rozproszeniu lub pochłonięciu w ciele pacjenta, nietworzącego obrazu radiograficznego. Zwiększenie napięcia lampy stosuje się do niektórych rodzajów badań, ponieważ uniemożliwia wizualizację obiektów o małym współczynniku osłabienia promieniowania. Filtracja przy właściwym doborze materiału i grubości filtru pozostaje bez znaczącego wpływu na jakość obrazu, jest polecana przez ekspertów Komisji Europejskiej [1].

Stosowanie osłon i fartuchów ochronnych z gumy ołowiowej zaleca się w większości badań rentgenodiagnostycznych.

Do oceny narażenia osób poddawanych zewnętrznej ekspozycji na promieniowanie jonizujące najczęściej używa się trzech wielkości [11]:

- kermu w powietrzu – zdefiniowanej stosunkiem sumy energii kinetycznych narażonych produktów oddziaływania do masy ośrodka, wyrażanej w grejach (Gy) (dawniej zwana dawką ekspozycyjną),
- dawki pochłoniętej – zdefiniowanej stosunkiem energii pochłoniętej w analizowanym obszarze ośrodka do jego masy, wyrażanej w grejach (Gy),
- dawki efektywnej – wyrażanej w sievertach (Sv) – zdefiniowanej wzorem:

$$E = \sum_R w_R \sum_T w_T \cdot D_T \quad (1)$$

gdzie:

D_T – średnia wartość dawki pochłoniętej w narządzie „ T ”, w_R – wagowy czynnik promieniowania, dla którego według zaleceń Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP-International Commission on Radiological Protection) [6] dla promieniowania rentgenowskiego przyjmuje się wartość jeden, w_T – wagowy czynnik narządu „ T ”, którego wartość przedstawiona w publikacji [6] kształtuje

się w granicach od 0,01 (dla skóry, powierzchni kości) do 0,12 (dla czerwonego szpiku kostnego, jelita grubego, płuc, żołądka) oraz 0,2 (dla gonad), określa on wrażliwość narządów na promieniowanie jonizujące.

Tak zwany roczny efektywny równoważnik dawki, jest to wielkość, która zdaniem Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej najlepiej odzwierciedla narażenie na promieniowanie jonizujące [5].

W ekspozycji na promieniowanie jonizujące w celach diagnostycznych stosowana jest tzw. zasada ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*), sformułowana po raz pierwszy w 1977 roku [5]. Zgodnie z tą zasadą, dawki promieniowania należy ograniczyć w sposób maksymalny, ale równocześnie rozsądny: Oznacza to takie zmniejszenie dawek, aby zostały jeszcze utrzymane istotne diagnostycznie elementy obrazu radiograficznego.

Ze względu na niewykonalność bezpośrednich pomiarów dawek pochłoniętych w narządach badanych osób, prace prowadzone w zakresie określania dawek otrzymywanych przez pacjentów w badaniach rtg można podzielić na dwie grupy. Prace eksperymentalne, polegające na zmierzeniu dawek w wyodrębnionych obszarach wnętrza fantomu fizycznego, którego kształt i skład pierwiastkowy są zbliżone do ciała ludzkiego. Tego typu prace eksperymentalne są wysoce pracochłonne i mało elastyczne.

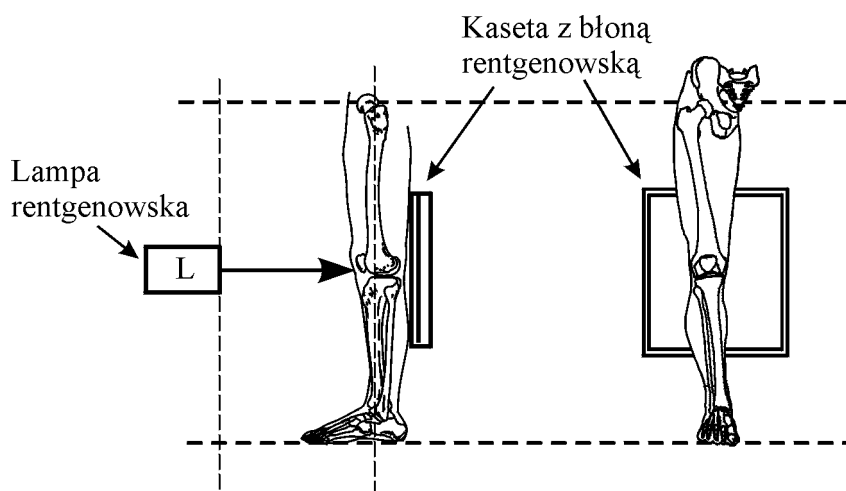
Opisane i prowadzone przez Staniszewską [11] metody teoretyczne pozbawione są powyższych ograniczeń. Wykorzystuje się w nich symulacje Monte Carlo do modelowania procesu przenikania promieniowania rentgenowskiego o zadanej charakterystyce energetycznej przez trójwymiarowy fantom matematyczny imitujący pacjenta poddawanego badaniu. Symulując procesy interakcji wiązki złożonej z określonej liczby kwantów X (o zadanym widmie energetycznym) z materią fantomu określa się wartości energii pochłoniętej w zadanym obszarze wnętrza fantomu.

W pracy [11] można także przeczytać, iż przy wykonywaniu zdjęć rentgenowskich fragmentów kończyn górnych i dolnych, które stanowią 14% ogólnej liczby badań rentgenowskich przeprowadzanych w Polsce, wiązka pierwotna obejmuje niewielki obszar ciała. Spowodowane taką ekspozycją dawki promieniowania uznano za mało znaczące dla narażenia populacji pacjentów i pominięto je w dalszych rozważaniach. Jednocześnie dalej umieszczono informację o analizie narażenia związanego z badaniami stomatologicznymi, podczas których przy braku osłony pacjenta fartuchem ochronnym z gumy ołowiowej, zdjęcia zębów dolnej szczęki powodują dawki nieprzekraczające 0,005 mSv.

3. CHARAKTERYSTYKA BADANEGO OBIEKTU

W większości przypadków obrazowania układu kostnego, w tym i połączeń stawowych, wykonuje się rutynowe zdjęcia rentgenowskie w projekcji przednio-tylnej oraz bocznej. W wielu przypadkach są one podstawą do wykonania zdjęć w innych specjalnych rzutach, jednak w większości wystarczają do ustalenia rozpoznania i wykonania badań, bądź pomiarów.

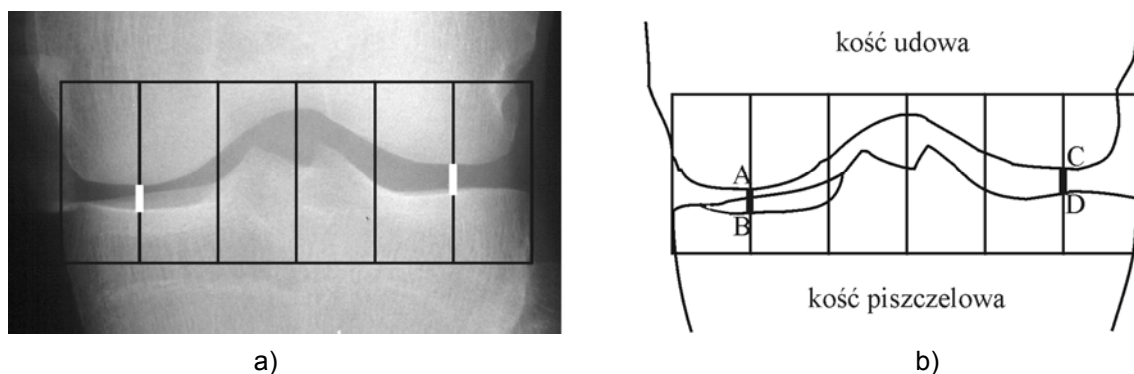
Istotnym zagadnieniem jest pozycja pacjenta w chwili wykonania zdjęcia rentgenowskiego. Zdjęcie w projekcji przednio-tylnej powinno wykonywać się w pozycji stojącej pacjenta (rys.1), przy wyprostowanych kolanach. Kasetę powinna przylegać do nogi, płaszczyzna kasety prostopadła do kierunku promienia centralnego.



Rys. 1. Sposób ustawienia pacjenta w projekcji przednio-tylnej

Prowadząc z lekarzami i radiologami wieloletnią analizę radiogramów stawu kolanowego wykonywanych w projekcji przednio-tylnej, można było ocenić, że miejsca pomiarowe powinny być określone względem wymiarów kości piszczelowej; ponadto pomiary te należy wykonywać zarówno w części przyśrodkowej jak i bocznej stawu kolanowego [8].

Otrzymujemy je dzieląc szerokość nasady bliższej kości piszczelowej (rys. 2a) na sześć części i wskazując miejsca pomiarowe w 1/6 odległości od brzegu, zarówno części przyśrodkowej (rys. 2b, odcinek AB), jak i bocznej stawu (rys. 2b, odcinek CD).



Rys. 2. Sposób wyboru miejsc pomiarowych szerokości szpary stawowej stawu piszczelowo-udowego w projekcji przednio-tylnej: a) radiogram, b) obrys krawędzi płaszczyzn

Porównując inwazyjność i koszty technik wykorzystywanych do obrazowania stawów kolanowych w celach pomiarowych, wydaje się iż wybór techniki rentgenowskiej do oceny zmian wymiarów stawów kolanowych w chorobie zwyrodnieniowej w okresie badawczym np. 1 roku jest w pełni uzasadniony [4].

4. OBLICZENIA I OSZACOWANIA

Próbując oszacować dawkę efektywną otrzymywaną przez pacjenta przy pojedynczym zdjęciu rentgenowskim stawu kolanowego wykorzystano dane z zaleceń wydawanych przez gremia specjalistów ochrony radiologicznej, w których określono tzw. „poziomy referencyjne”, oznaczające górny poziom zakresu dawek ekspozycyjnych dla poszczególnych badań. Poziomy te nie powinny być przekraczane bez istotnego uzasadnienia względami medycznymi (np. budowa ciała pacjenta, szczególne wymagania kliniczne) [7].

W pracy [7] przedstawiono poziomy referencyjne dawek ekspozycyjnych (kermi w powietrzu) dla trzech rodzajów badań rentgenowskich: klatki piersiowej, kręgosłupa piersiowego i kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Do oszacowania wybrano poziom referencyjny dla klatki piersiowej, jako najbliższy warunkom wykonywania zdjęć stawu kolanowego, chociaż znacznie je przekraczający. Poziom ten przy wykorzystaniu czułych ekranów wzmacniających w kasecie z kliszą rtg wynosi 0,15 mGy.

Dawkę efektywną otrzymywaną przy wykonywaniu zdjęcia rentgenowskiego stawu kolanowego oszacowano korzystając z opisanej uprzednio zależności (1) oraz przedstawionych poniżej założeń:

- wartość wagowego czynnika promieniowania rentgenowskiego $w_R = 1,00$ [6],
- wartość wagowego czynnika dla powierzchni kości i skóry wynosi $w_{KS} = 0,01$ [6],
- wartość wagowego czynnika dla mięśni wynosi $w_M = 0,05$ [6],
- przyjęto wartość dawki pochłoniętej $D_{KS} = D_M = 0,20$ mGy,
- przyjęto masę powierzchni kości i skóry oraz masę mięśni w obszarze pierwotnego promieniowania rentgenowskiego $m_{KS} = m_M = 0,5$ kg.

Inne narządy wrażliwe na promieniowanie jonizujące zostały pominięte przy założeniu stosowania fartucha ochronnego. Natomiast czerwony szpik kostny u osób powyżej 20 roku życia (a takie są wyłącznie brane pod uwagę przy chorobie zwyrodnieniowej stawu kolanowego) występuje tylko w górnej części kości udowej, która jest osłonięta fartuchem, mógł być również pominięty. Dodatkowym nadmiarowym założeniem było całkowite pochłonięcie energii promieniowania rtg przez analizowane narządy.

Zgodnie z zależnością (1), w warunkach bardzo ostrożnego szacowania dawki efektywnej, otrzymano jej wartość $E = 0,012$ mSv.

Wyznaczony w pracy [11] poziom narażenia populacji ogólnej w Polsce, wynikający z diagnostyki rentgenowskiej, wyrażony jako przeciętna roczna dawka efektywna przypadająca na jednego mieszkańca, wynosi 1,6 mSv. Można oczekiwać, że przy lepszym doborze parametrów badań, czyli zmniejszeniu warunków ekspozycji poniżej poziomów referencyjnych osiągnie ona poziom 1 mSv. Natomiast w [9] średni skuteczny równoważnik dawki otrzymywanej od wszystkich źródeł promieniowania stosowanych w medycynie w krajach rozwiniętych szacuje się na około 1 mSv na każdego mieszkańca, co stanowi w przybliżeniu połowę średniej dawki otrzymywanej od źródeł naturalnych.

Przyjmując dawkę 1 mSv jako graniczną, przy której narażenie pacjentów na stochastyczne skutki działania promieniowania jonizującego określa się jako minimalne, można stwierdzić, iż możliwe jest wykonanie około 80 zdjęć rentgenowskich stawu kolanowego w ciągu jednego roku, nie wywołując niestochastycznych skutków działania promieniowania jonizującego.

5. WNIOSKI

Nie wydaje się, by istniała potrzeba wykonania takiej liczby zdjęć rentgenowskich w ciągu roku. Nie jest to także możliwe ze względów organizacyjnych oraz finansowych. Ponadto szeroko rozumiana, wspomniana wcześniej zasada

ALARA, będąca odzwierciedleniem podstawowych kanonów etyki lekarskiej, skutecznie hamuje zamiary czysto technicznego podejścia do problemu.

Powyższe obliczenia i oszacowania mogą być użyteczne przy planowaniu badań diagnostycznych np. szerokości stawu kolanowego na przestrzeni czasu 1 roku, gdzie występuje duży udział błędów przypadkowych wnoszonych przez pacjentów z chorobami zwyrodnieniowymi z trudnościami w poruszaniu się. Zatem w celu eliminacji tychże błędów przypadkowych należałoby zwiększyć liczbę powtórzeń pomiarów w badanej grupie [4].

LITERATURA

1. Barańska D., Biegański T.: Filtracja jako sposób zmniejszenia narażenia pacjentów w diagnostyce radiologicznej. *Polski Przegląd Radiologiczny*, 67, 1, str. 83–86, 2002.
2. Biegański T.: Ochrona radiologiczna dzieci jako pacjentów. *Polski Przegląd Radiologiczny*, 64, 3, str. 179–183, 1999.
3. Cristy M.: Active bone marrow distribution as a function of age in humans. *Physics in Medicine and Biology*, 26, str. 389–400, 1981.
4. Gilewska G.: The method of analysis of joint space width measurement results: practical verification. *Proceedings of SPIE, Bellingham*, vol. 6158, str. 187–195, 2006.
5. International Commission on Radiological Protection: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, Oxford 1977.
6. International Commission on Radiological Protection: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, Oxford 1990.
7. Jankowski J., Staniszevska M. A., Wrońska S., Wróblewska D., Lesner M.: Ocena diagnostycznych aparatów rentgenowskich pod kątem narażenia radiacyjnego pacjenta używanych w województwie łódzkim. *Polski Przegląd Radiologiczny*, 65, 4, str. 293–297, 2000.
8. Makarowski T., Badurski J., Gilewska G.: Wykonywanie zdjęć RTG kolan wg zasad przyjętych przez Osteoarthritis Research Society (OARS). XXXV Zjazd Radiologów Polskich, Katowice, C-29, 1998.
9. Promieniowanie, dawki, skutki, narażenia. Biblioteka Postępów Techniki Jądrowej, Warszawa, 1990.
10. Pruszyński B., Benendo-Kapuścińska B.: Radiologia: diagnostyka obrazowa Rtg, TK, USG, MR i radioizotopy. PZWL, Warszawa, 1999.
11. Staniszevska M. A.: Diagnostyka rentgenowska w Polsce: określenie dawek dla pacjentów metodą symulacji Monte Carlo. Instytut Medycyny Pracy, Łódź, 1995.

Rękopis dostarczony dnia 04.04.2008 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Władysław Dybczyński

MAXIMUM FEASIBLE AMOUNT OF RADIOGRAPHS: ASPECT RADIOLOGICAL SAFETY OF PATIENT

Grażyna GILEWSKA

ABSTRACT *Quite a few diagnostic and therapeutic benefits of patient over risk of influence of ionizing radiation there are the fundamental aim of diagnosis radiology.*

You may say that it's possible to perform about 80 radiographs of knee joints in the course of a year in spite of ALARA principle. There is no cause for concern of no stochastic results of ionizing radiation.

It's estimated that a patient received 0,012 mSv effective dose during performance of radiograph of knee-joint. This estimation was compared to accepted limiting dose 1 mSv when expose patients to stochastic results of ionizing radiation experts evaluated as minimal.

Dr inż. Grażyna Gilewska ukończyła studia na wydziale Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej na specjalności Elektronika Biomedyczna. Od 1992 roku jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Politechniki Białostockiej, na Wydziale Elektrycznym, na którym obroniła doktorat w roku 2003 z dziedziny metrologia w elektrotechnice.

