

Maria A. Staniszewska¹
Renata Kopeć²
Maciej Budzanowski²
Edyta Owsiak³

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA POZIOM NARAŻENIA PERSONELU MEDYCZNEGO PODCZAS ZABIEGÓW ORTOPEDYCZNYCH POD KONTROLĄ FLUOROSKOPII

FACTORS AFFECTING EXPOSURE LEVEL FOR MEDICAL STAFF DURING ORTHOPEDIC PROCEDURES
UNDER FLUOROSCOPIC CONTROL

¹ Uniwersytet Medyczny w Łodzi / Medical University of Lodz, Łódź, Poland
Wydział Nauk Biomedycznych i Kształcenia Podyplomowego, Zakład Medycznych Technik Obrazowania / Faculty of Biomedical Sciences
and Postgraduate Education, Department of Medical Imaging Techniques

² Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk / The Henryk Niewodniczański Institute of Nuclear
Physics, Polish Academy of Sciences, Kraków, Poland
Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej / Laboratory of Individual and Environmental Dosimetry

³ Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej – Centralny Szpital Weteranów / University Clinical Hospital
Military Memorial Medical Academy – Central Veterans' Hospital, Łódź, Poland
Klinika Ortopedii, Traumatologii i Rehabilitacji Pourazowej / Clinic of Orthopaedy, Traumatology and Traumatic Rehabilitation

STRESZCZENIE

Wstęp: Rozszerzone monitorowanie narażenia personelu wykonującego zabiegi radiologii interwencyjnej jest od kilku lat wymagane prawnie. Poziom tego narażenia zależy od wielu czynników, w tym rodzaju zabiegu oraz uwarunkowań technicznych i metodycznych. W ortopedii fluoroskopia rentgenowska jest wykorzystywana do kontroli rekonstrukcji chirurgicznych. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów dozymetrycznych, na których podstawie analizowano wpływ poszczególnych czynników na zarejestrowane wartości dawek otrzymywanych przez członków zespołu zabiegowego podczas osteosyntezy kości kończyn. **Materiał i metody:** Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy polegały na pomiarach dawek otrzymywanych przez osoby pełniące określone funkcje w zespole operacyjnym podczas serii kilkunastu zabiegów ortopedycznych polegających na zespalaniu (osteosyntezie) kości kończyn. Każdy z 3 członków zespołu otrzymał zestaw 4 indywidualnych dawkomierzy zawierających dozymetry termoluminescencyjne, co umożliwiło ocenę dawki efektywnej, dawek równoważnych dla oczu, skóry dłoni i dawki na poziomie szyi. Badania prowadzono na blokach operacyjnych 3 łódzkich szpitali. **Wyniki:** Dawki równoważne otrzymywane przez operatora podczas 1 zabiegu wynoszą 0,029–0,073 mSv dla oczu i 0,366–1,604 mSv dla skóry dłoni. Istotnie wyższe dawki otrzymywane są zwłaszcza przez lekarza operatora podczas zabiegów osteosyntezy metodą śródszpikową (współczynnik Pearsona $R^2 = 0,94$). Średni wiek pacjentów i wskaźnik masy ciała nie różniły się statystycznie w grupach operowanych w monitorowanych szpitalach. **Wnioski:** Z analizy wyników pomiarów dozymetrycznych wynika, że w ortopedycznych procedurach radiologii interwencyjnej (interventional radiology – IR) największy wpływ na poziom narażenia personelu ma rodzaj wykonywanego zabiegu, a dokładniej poziom trudności jego przeprowadzenia. Kolejnym ważnym czynnikiem jest optymalizacja warunków pracy aparatu, w tym wykorzystanie fluoroskopii impulsowej. Najbardziej narażonym członkiem zespołu zabiegowego jest lekarz operator. Med. Pr. 2017;68(1):75–83

Słowa kluczowe: ekspozycja zawodowa, radiologia zabiegowa, dawki, ortopedia, fluoroskopia, dozymetria termoluminescencyjna

ABSTRACT

Background: Extended control of staff exposure in interventional radiology has been legally required over the last few years. This is determined by a number of factors, including the type of procedure, technical conditions and methodology. In orthopedic procedures fluoroscopy is used to control surgical reconstructions. An influence of particular factors on the registered values of doses received by the members of medical team performing osteosynthesis for limb fractures is presented in this paper. **Material and Methods:** Doses received by individual interventional team members performing specific functions, operator, assisting physicians and scrub nurse, during a series of the procedures were measured. Each person was equipped with 4 dosimetric tools, containing thermoluminescent dosimeters, to measure the equivalent doses for the eyes, hand skin and the neck (outside the shield) and to evaluate effective doses. The investigations were performed in operational theatres of 3 hospitals in Łódź. **Results:** The equivalent doses per one procedure for the eyes and hand skin of the operator were 0.029–0.073 mSv and 0.366–1.604 mSv, respectively. Significantly higher doses were noted during the procedures of intramedullary osteosynthesis, especially for the operator. An average age and body mass index (BMI) of patients treated in the monitored hospitals did not differ statistically. **Conclusions:** Based on the dosimetric measurements the following conclusions can be drawn: in orthopedic procedures of interventional radiology (IR) the exposure of the staff is mostly determined by the type of procedure and more precisely by its complex-

ity and by the optimized use of X-ray unit, including pulsed fluoroscopy. It is also revealed that the operator is the most exposed person in the interventional team. *Med Pr* 2017;68(1):75–83

Key words: occupational exposure, interventional radiology, doses, orthopaedy, fluoroscopy, thermoluminescent dosimetry

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Maria A. Staniszewska, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Wydział Nauk Biomedycznych i Kształcenia Podyplomowego, Zakład Medycznych Technik Obrazowania, ul. Lindleya 6, 90-131 Łódź, e-mail: maria.staniszewska@umed.lodz.pl
Nadesłano: 4 listopada 2015, zatwierdzono: 2 czerwca 2016

WSTĘP

Technologiczny rozwój rentgenowskiej (rtg.) aparatury obrazującej przyczynia się do systematycznego zwiększenia częstości i zakresu jej wykorzystania w procedurach zabiegowych określanych wspólną nazwą radiologia interwencyjna (interventional radiology – IR).

Początkowo (tj. przed ok. 20 laty) ten sposób wykorzystania aparatury rentgenowskiej ograniczał się do kardiologii, z rzadka – neurochirurgii. Stopniowo działania pod kontrolą promieniowania rtg. zaczęto stosować nie tylko w zabiegach naczyniowych, lecz także – do wizualnej kontroli efektów działania – w urologii, ortopedii, gastroenterologii, ginekologii i anestezjologii. Z definicji te nienaczyniowe procedury IR – chociaż pozornie bezpieczniejsze od naczyniowych – są związane z niekorzystnymi (z punktu widzenia ochrony radiologicznej) okolicznościami:

- używane są aparaty rtg. niższej klasy technicznej, co ogranicza możliwości optymalizacji pracy,
- najczęściej używane są klasyczne, nieprzeziernie dla promieniowania rtg. stoły operacyjne, co wymusza ekspozycję w projekcjach bardziej obciążających radiacyjnie,
- zabiegi wykonywane są na salach operacyjnych, gdzie rozstawionych jest wiele metalowych sprzętów, co zwiększa ilość promieniowania rozproszonego,
- wreszcie – zdecydowanie niższy poziom świadomości personelu co do zasad bezpiecznej pracy z promieniowaniem jonizującym.

Dla porównania – kardiologowie inwazyjni mają ponad 20-letnie doświadczenie w pracy z promieniowaniem, które nauczyło ich należytej ostrożności i dbałości o minimalizację narażenia własnego i narażenia pacjentów. Wiąże się z tym także problem odpowiedniej odzieży ochronnej i monitorowania otrzymywanych dawek.

Choć wymagają tego przepisy prawne [1,2], często sytuacja finansowa placówki powoduje, że zabezpieczenie w postaci standardowego fartucha z gumy ołowiowej, używanego przez personel wykonujący zabiegi IR

z zakresu urologii, ortopedii czy gastroenterologii, jest niewystarczające, a poziom narażenia jest oceniany na podstawie wyników odczytu 1 dawkomierza indywidualnego (wynika to z przekonania o niezbyt częstym używaniu promieniowania). Niestety sami członkowie zespołów zabiegowych też nie domagają się ochrony – trochę z powodu nieświadomości zagrożeń, a trochę z wygodnictwa (niewygodna odzież ochronna, konieczność pilnowania dawkomierzy itd.).

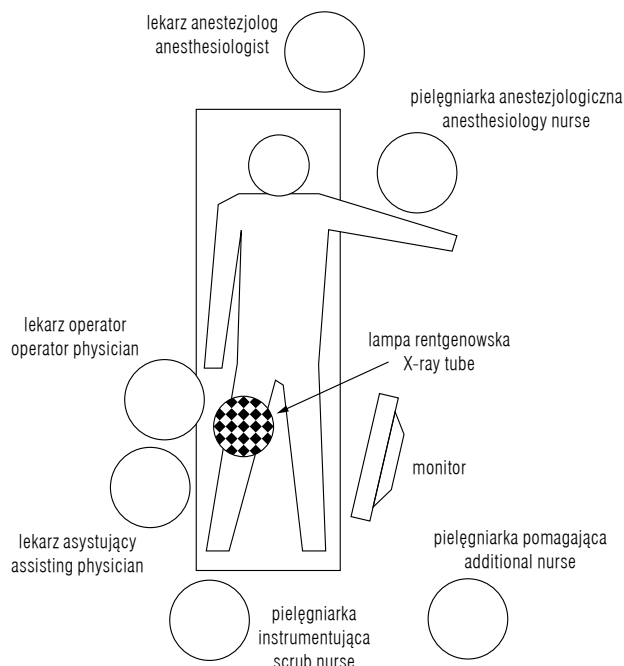
Niniejsza praca ma na celu ocenę narażenia personelu wykonującego ortopedyczne procedury radiologii zabiegowej oraz wskazanie czynników, które miały największy wpływ na poziom tego narażenia.

MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono od sierpnia 2012 r. do kwietnia 2015 r. Dotyczyły one dawek otrzymywanych przez członków zespołów wykonujących zabiegi ortopedyczne polegające na zespalaniu (osteosyntezie) kości kończyn. Badania prowadzono na blokach operacyjnych 3 łódzkich szpitali:

- Oddziału Chirurgii Urazowo-Ortopedycznej Miejskiego Centrum Medycznego im. dr. Karola Jonschera w Łodzi,
- Oddziału Chirurgii Urazowo-Ortopedycznej i Nowotworów Narządu Ruchu Wojewódzkiego Szpitala Specjalistycznego im. M. Kopernika w Łodzi,
- Kliniki Ortopedii z Oddziałem Rehabilitacji Po-urazowej Uniwersyteckiego Szpitala Klinicznego im. Wojskowej Akademii Medycznej – Centralnego Szpitala Weteranów w Łodzi (USK-WAM).

Wszystkie zabiegi odbywały się na salach operacyjnych i były wykonywane przez 3-osobowe zespoły o różnym składzie osobowym, złożone z lekarza operatora, lekarza asystującego i pielęgniarki instrumentującej. Pacjent był ułożony na stole operacyjnym (słabo przeziernym dla promieniowania rtg.), wokół którego zespół operacyjny był rozstawiony zgodnie ze schematem przedstawionym na rycinie 1.



Ryc. 1. Standardowe ustawienie członków zespołu operacyjnego podczas osteosyntezy kości udowej

Fig. 1. Standard places of the operational team members during the procedure of extremities bone osteosynthesis

Personel uczestniczący w monitorowanych zabiegach używał do ochrony fartuchów z gumy ołowiowej o równoważniku ołowiu 0,25 mm Pb (Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi oraz USK-WAM), 0,35 mm Pb lub 0,5 mm Pb (Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi). Równoważnik ołowiu stosowanych przez monitorowany personel w trakcie zabiegów kołnierzy ochronnych wynosił 0,25 mm Pb (USK-WAM), 0,35 mm Pb lub 0,5 mm Pb (Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi) oraz 0,5 mm Pb (Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi). Regułą było natomiast, że nikt z zespołu (nawet lekarz operator) nie używał rękawic ani okularów ochronnych. Źródłem promieniowania rtg. były aparaty rtg. w formie ramienia C, spełniające wymagania techniczne niezbędne do fluoroskopowej kontroli w interwencyjnych procedurach ortopedycznych.

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy polegały na pomiarach dawek otrzymywanych przez osoby pełniące określone funkcje w zespole operacyjnym (tj. lekarza operatora, lekarza asystującego i pielęgniarkę instrumentującą) podczas serii kilkunastu zabiegów. Każdy z 3 członków zespołu otrzymał zestaw 4 indywidualnych dawkomierzy zawierających dozymetry termoluminescencyjne, tj.:

- dawkomierz DI-02 do pomiaru dawki na tułowiu – pod fartuchem, interpretowanej jako dawka efektywna,
- dawkomierz DI-02 do pomiaru dawki na poziomie szyi – na powierzchni osłony, interpretowanej jako dawka równoważna dla głowy,
- dawkomierz pierścinkowy PI-01 do pomiaru dawki interpretowanej jako równoważna na skórę dłoni,
- dawkomierz oczny OD-12 do pomiaru dawki interpretowanej jako równoważna dla soczewki oka.

Zestaw 4 dawkomierzy przypisanych osobie pełniącej określoną funkcję był używany podczas serii kilkunastu zabiegów osteosyntezy wykonywanych w danym szpitalu. Liczbę kolejnych zabiegów, podczas których dawki były rejestrowane (przez ten sam zestaw dozymetrów), podano w części „Wyniki”.

Odczyty dawkomierzy wykonano nieodpłatnie w Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej (LADIS) Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (akredytacja Polskiego Centrum Akredytacji nr AB 1317 z 15 lutego 2012 r.).

WYNIKI

Zgodnie z celem niniejszej pracy dokonano oceny narażenia personelu w zabiegach ortopedycznych wykonywanych pod kontrolą promieniowania rtg. w 3 łódzkich szpitalach oraz wskazania czynników, które miały największy wpływ na poziom tego narażenia.

Z piśmiennictwa [3–5] wiadomo, że należy rozważyć następujące aspekty:

- rodzaj i optymalizację wykorzystania aparatu rtg.,
- budowę ciała pacjentów,
- poziom trudności zabiegu,
- doświadczenie zawodowe (wprawę) lekarza operatora,
- rozmiary pomieszczenia, w którym zabieg jest wykonywany, i liczbę sprzętów mogących zwiększać ilość promieniowania rozproszonego.

Materiału do porównań i oceny dostarczyły ponad 2-letnie pomiary i obserwacja zachowań zespołów z 3 szpitali, gdzie wykonywane były zabiegi ortopedyczne o zbliżonym charakterze. Do analizy włączono wyniki pomiarów przeprowadzonych podczas 95 zabiegów osteosyntezy wykonanych w 3 łódzkich szpitalach. Poniżej przedstawiono sprawdzenie wpływu ww. czynników na poziom dawek otrzymywanych przez członków zespołu zabiegowego.

Rodzaj i optymalizacja wykorzystania aparatu rtg.

W monitorowanych zabiegach wykorzystywano wymienione niżej aparaty rtg. wraz z podstawowymi parametrami ich pracy:

- w Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym im. M. Kopernika w Łodzi – aparat BV Endura (prod. Philips Medical Systems Nederland B.V, Holandia): odległość obrazu źródłowego (source-to-image distance – SID) = 100 cm, fluoroskopia ciągła, średnica wzmacniacza obrazu = 23 cm;
- w Miejskim Centrum Medycznym im. dr. Karola Jonschera w Łodzi – aparat ZIEHM 8000 (prod. Ziehm Imaging GmbH, Niemcy): SID = 97 cm, fluoroskopia ciągła z redukcją dawki do połowy (maksymalnej wartości), średnica wzmacniacza obrazu = 23 cm;
- w USK-WAM – aparat ARCADIS Varic VC 10 A (prod. Siemens AG Medical Solutions, Niemcy): SID = 100 cm, fluoroskopia ciągła, średnica wzmacniacza obrazu = 23 cm.

Parametry prądowo-napięciowe podczas wszystkich ekspozycji dobierano do budowy anatomicznej pacjenta.

Przedstawione dane świadczą, że wszystkie 3 aparaty rtg. były odpowiedniej klasy do wizualizacji zabiegów ortopedycznych. Uwagę zwraca, że w żadnym z 3 szpitali nie wykorzystywano fluoroskopii impulsowej, lecz korzystano z fluoroskopii ciągłej. Oznacza to większe dawki zarówno dla pacjentów, jak i personelu. Tylko w 1 ze szpitali wykorzystywano przy tym 50% redukcji dawki, w pozostałych działano przy pełnym obciążeniu anody mocą.

Ta dalece nieoptymalna eksploatacja aparatów rtg. jest najprawdopodobniej wynikiem nieznanomości możliwości tych urządzeń przez personel oddziałów ortopedii, a niestety nie ma obowiązku konsultowania parametrów pracy z fizykiem medycznym, nawet jeśli dany szpital go zatrudniał (co też nie jest obowiązkowe).

Budowa ciała pacjentów

Narażenie personelu wykonującego wszelkie procedury radiologii zabiegowej jest ściśle związane z narażeniem pacjentów: pacjent jest podstawowym źródłem promieniowania rozproszonego, które daje główny wkład do dawki dla personelu znajdującego się w bezpośredniej bliskości tego pacjenta. Dlatego sprawdzono, czy istniały różnice między grupami operowanymi w 3 monitorowanych szpitalach.

Różnice w rozkładach badanych wartości (tab. 1) sprawdzono pod względem istotności statystycznej testem Kruskala-Wallisa (program Statistica). Dla zgodności wieku uzyskano wartości statystyki $p = 0,34$, natomiast dla zgodności wskaźnika masy ciała (body mass index – BMI) wartość statystyki wynosi $p = 0,42$. Powyższe wartości świadczą, że zarówno średni wiek pacjentów, jak i ich BMI nie różnią się statystycznie w grupach operowanych w monitorowanych szpitalach. Jedynie znaczna różnica wieku pacjentów mogłaby wpływać na utrudnienie w przebiegu zabiegu z uwagi na ewentualne zaawansowanie procesu osteoporozy i/lub powikłania naczyniowe u osób w podeszłym wieku.

Korelacje pozostałych analizowanych wielkości oceniano przy użyciu programu Excel.

Tabela 1. Wiek i indeks masy ciała (BMI) pacjentów poddanych zabiegom ortopedycznym wykonanym pod kontrolą fluoroskopii w analizowanych szpitalach

Table 1. Age and body mass index (BMI) of the patients subjected to orthopedic procedures under fluoroscopic control performed in the analyzed hospitals

Szpital Hospital	Pacjenci Patients (N = 95)	
	wiek [w latach] age [years] (M±SD)	BMI (M±SD)
Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi / / Dr Karol Jonscher Municipal Medical Centre	71,8±12,4	25,7±5,5
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi / / Mikołaj Kopernik Regional Specialistic Hospital	62,3±22,6	26,3±5,3
Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej / University Clinical Hospital Military Memorial Medical Academy – Central Veterans' Hospital	70,2±16,5	25,4±4,9

Tabela 2. Rodzaje osteosyntezy stosowane w analizowanych szpitalach, w których przeprowadzane są zabiegi ortopedyczne pod kontrolą fluoroskopii**Table 2.** Types of osteosynthesis applied in the analyzed hospitals where orthopedic procedures under fluoroscopic control are performed

Szpital Hospital	Osteosynteza Osteosynthesis	
	śródszpikowa intramedullary	pozostałe remainder
Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi / Dr Karol Jonscher Municipal Medical Centre		
próba nr 1 / series No. 1	1	12
próba nr 2 / series No. 2	1	14
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi / Mikołaj Kopernik Regional Specialistic Hospital		
próba nr 1 / series No. 1	5	13
próba nr 2 / series No. 2	6	9
Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej / University Clinical Hospital Military Memorial Medical Academy – Central Veterans' Hospital		
próba nr 1 / series No. 1	12	4
próba nr 2 / series No. 2	14	4
Ogółem / Total	39	56

Próba nr 1 i nr 2 – dwie grupy pacjentów poddawanych kolejno procedurom osteosyntezy w danym szpitalu / Series No. 1 and No. 2 – two groups of patients undergoing osteosynthesis procedures successively in the particular hospital.

Tabela 3. Średnia ranga ważona obliczona dla analizowanych szpitali, w których przeprowadzane są zabiegi ortopedyczne pod kontrolą fluoroskopii**Table 3.** Weighted mean rank calculated for the analyzed hospitals where the orthopedic procedures under fluoroscopic control are performed

Szpital Hospital	Zabiegi Procedures [n]		
	śródszpikowa osteosynteza intramedullary osteosynthesis ($R_1 = 2$)	inne rodzaje osteosyntezy other types of osteosynthesis ($R_2 = 1$)	średnia ranga ważona* weighted mean rank*
Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi / / Dr Karol Jonscher Municipal Medical Centre	2	26	30
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi / / Mikołaj Kopernik Regional Specialistic Hospital	11	22	44
Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej / University Clinical Hospital Military Memorial Medical Academy – Central Veterans' Hospital	26	8	60

* $N_1 R_1 + N_2 R_2$, gdzie: N_1 – liczba zabiegów osteosyntezy śródszpikowej o randze $R_1 = 2$, N_2 – liczba zabiegów osteosyntezy innego rodzaju o randze $R_2 = 1$, / where: N_1 – number of intramedullary osteosyntheses with rank $R_1 = 2$, N_2 – number of other types of osteosynthesis with rank $R_2 = 1$.

Poziom trudności w przeprowadzeniu zabiegu

Podział monitorowanych zabiegów ortopedycznych według rodzaju zespołów przedstawiono w tabeli 2.

Dane przedstawione w tabeli 2. ilustrują różnice w metodyce zabiegów przeprowadzonych w poszczególnych szpitalach. Chociaż wszystkie zabiegi dotyczą kości kończyn, to jedynie część z nich – i to różna w poszczególnych szpitalach – jest wykonywana metodą zespolenia śródszpikowego, podczas gdy w pozostałych zabiegach stosowane są inne, zewnętrzne metody zespolenia. Aby uwzględnić to zróżnicowanie często-

ści stosowania obu rodzajów metod w poszczególnych szpitalach, wprowadzono rangi R_1 i R_2 . Zespolenie śródszpikowe uznano za metodę trudniejszą i przypisano jej rangę $R_1 = 2$, natomiast innym sposobom zespolenia nadano rangę $R_2 = 1$.

Wykorzystując dane o liczbie zabiegów wykonanych obu rodzajami metod, obliczono wartość średniej rangi ważonej dla każdego ze szpitali. W obliczeniach uwzględniono liczbę zabiegów w obu seriach pomiarów wykonanych w każdym ze szpitali. Dane do obliczenia i jego wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Średnia ważona ranga jest parametrem, który pozwala uwzględnić różnice w specyfice zabiegów wykonywanych w każdym ze szpitali, a konkretnie – uwypuklić znaczenie zabiegów o większym stopniu trudności.

Analiza zgromadzonych wyników wykazała, że średnia ważona ranga jest istotnie skorelowana ze średnią wartością dawek równoważnych (w przeliczeniu na 1 zabieg) zarejestrowanych na skórze dłoni (dawkomierz pierścieniowy Hp(3)) – zwłaszcza w odniesieniu do lekarza operatora (współczynnik Pearsona $R^2 = 0,94$). Słabszą korelację zaobserwowano w przypadku lekarza asystującego (współczynnik Pearsona $R^2 = 0,6$). Opisane relacje ilustrują ryciny 2. i 3. Różnica ta jest prawdopodobnie naturalną konsekwencją podziału ról podczas zabiegu. To operator wykonuje zabieg i im jest on trudniejszy, tym dłużej operator musi przemieszczać dłonie w obszarze większego natężenia promieniowania. Lekarz asystujący wykonuje czynności pomocnicze i to w zakresie określonym przez operatora.

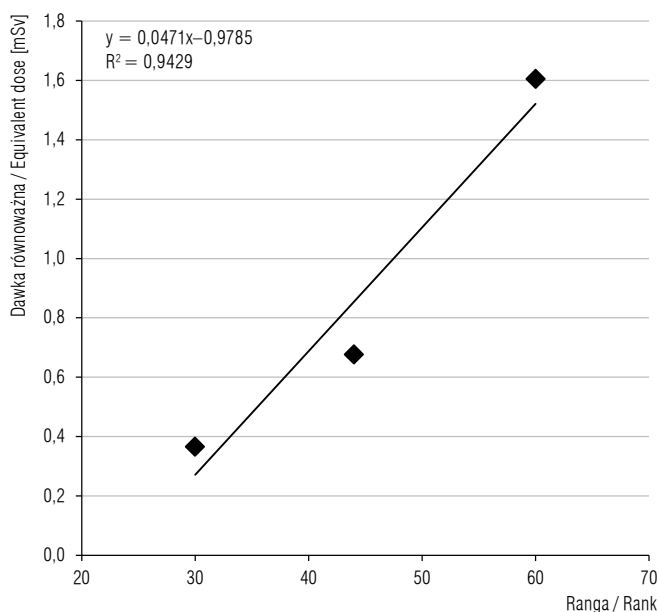
Całkowicie odmienna jest sytuacja pielęgniarki operacyjnej: zależność – dawka równoważna dla skóry dłoni – średnia ważona ranga w tym przypadku nie

występuje (współczynnik Pearsona $R^2 < 0,1$). Ilustruje to rycina 4.

Brak omawianej zależności w odniesieniu do pielęgniarki wynika prawdopodobnie z tego, że pielęgniarka jest narażona głównie na promieniowanie rozproszone o natężeniu mniejszym niż w przypadku lekarzy (z uwagi na oddalenie od lampy). Ponadto liczba i czas trwania czynności wykonywanych przez pielęgniarkę nie zmienia się znacząco wraz ze wzrostem poziomu trudności zabiegu. Należy ponadto podkreślić, że żadna inna wielkość spośród mierzonych w ramach niniejszych badań nie wykazuje zależności od wartości średniej ważonej rangi. Dotyczy to zarówno dawek równoważnych dla oczu i szyi (współczynnik Pearsona $R^2 < 0,5$), jak i iloczynu wartości kermy w powietrzu i pola powierzchni pierwotnej wiązki promieniowania (Kerma Air Product – KAP) (współczynnik Pearsona $R^2 = 0,11$). Powyższe stwierdzenia są słuszne w odniesieniu do zabiegów ortopedycznych.

Zawodowe doświadczenie operatora

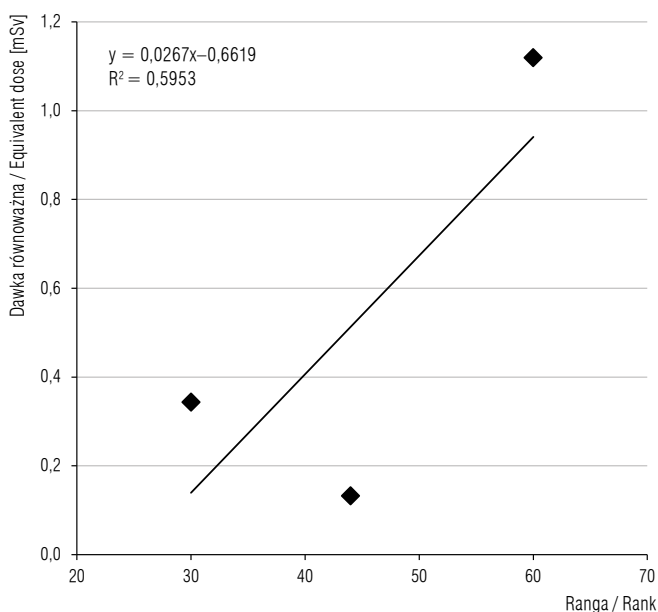
W każdym ze szpitali zabiegi były wykonywane przez różnych operatorów. Zapewne poziom manualnej



R^2 – współczynnik korelacji Pearsona / Pearson's' correlation coefficient.

Ryc. 2. Zależność dawki równoważnej dla skóry dłoni lekarza operatora, narażonego na promieniowanie jonizujące podczas zabiegu ortopedycznego przeprowadzanego pod kontrolą fluoroskopii, od średniej ważonej rangi dla 3 analizowanych szpitali

Fig. 2. Equivalent dose for hand skin of operator from exposure to ionizing radiation during orthopedic procedures under fluoroscopic control as a function of weighted rank for the 3 analyzed hospitals

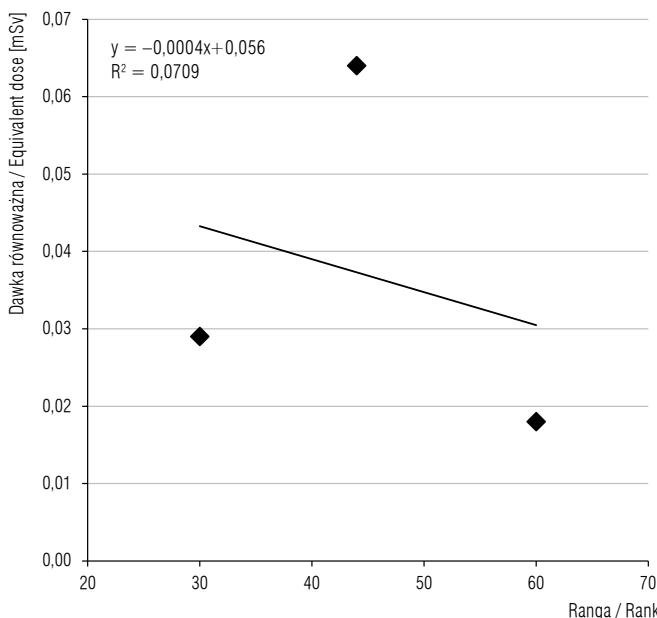


R^2 – współczynnik korelacji Pearsona / Pearson's' correlation coefficient.

Ryc. 3. Zależność dawki równoważnej dla skóry dłoni lekarza asystującego, narażonego na promieniowanie jonizujące podczas zabiegu ortopedycznego przeprowadzanego pod kontrolą fluoroskopii, od średniej ważonej rangi dla 3 analizowanych szpitali

Fig. 3. Equivalent dose for hand skin of assisting physician from exposure to ionizing radiation during orthopedic procedures under fluoroscopic control as a function of weighted rank for the 3 analyzed hospitals

sprawności różnych osób był zróżnicowany, lecz nie jest to czynnik dający się obiektywnie zmierzyć. Wobec znacznej liczby monitorowanych zabiegów wykonywanych przez różnych lekarzy znaczenie wspomnianych różnic wydaje się nie mieć widocznego wpływu na wartości zarejestrowanych dawek.



R² – współczynnik korelacji Pearsona / Pearson's' correlation coefficient.

Ryc. 4. Zależność dawki równoważnej dla skóry dłoni pielęgniarki instrumentującej, narażonej na promieniowanie jonizujące podczas zabiegu ortopedycznego przeprowadzanego pod kontrolą fluoroskopii, od średniej ważonej rangi dla 3 analizowanych szpitali

Fig. 4. Equivalent dose for hand skin of scrub nurse from exposure to ionizing radiation during orthopedic procedures under fluoroscopic control as a function of weighted rank for the 3 analyzed hospitals

Rozmiar pomieszczenia

Wszystkie analizowane zabiegi były wykonywane w salach operacyjnych o standardowych rozmiarach i o standardowym wyposażeniu. Pod tym względem monitorowane szpitale się nie różnią.

OMÓWIENIE

Dopełnieniem analizy zgromadzonych wyników jest sprawdzenie, czy istnieje zależność między zarejestrowanymi wartościami dawek dla operatora – jako najbardziej narażonego członka zespołu zabiegowego – a wartością iloczynu wartości kermy w powietrzu i pola powierzchni pierwotnej wiązki promieniowania (KAP) (jako wielkości określającej ilość promieniowania wyemitowanego w czasie zabiegu). Niezbędne dane przedstawiono w tabeli 4. (średnie dawki na 1 zabieg) i tabeli 5. (średnia wartość KAP).

Na podstawie ww. danych sporządzono wykresy obrazujące wartości dawek równoważnych (dla poszczególnych części ciała) w zależności od średnich wartości KAP (w poszczególnych szpitalach) dla lekarza operatora. Przedstawia je rycina 5.

Na powyższych wykresach widać, że dawka dla rąk operatora jest słabo skorelowana z wartością KAP (współczynnik Pearsona R² = 0,29). Najprawdopodobniej jest to naturalną konsekwencją tego, że operator wykonuje podczas zabiegu wiele ruchów w różnej odległości od wiązki pierwotnej. Widoczna jest istotna korelacja dawek równoważnych dla oczu i szyi od KAP (odpowiednio współczynnik Pearsona R² ≈ 0,8 i R² = 0,86).

Tabela 4. Średnie wartości dawek promieniowania otrzymywanych podczas zabiegów ortopedycznych przeprowadzanych pod kontrolą fluoroskopii przez operatora w analizowanych szpitalach

Table 4. Mean doses of radiation received by operator during orthopedic procedures under fluoroscopic control performed in the analyzed hospitals

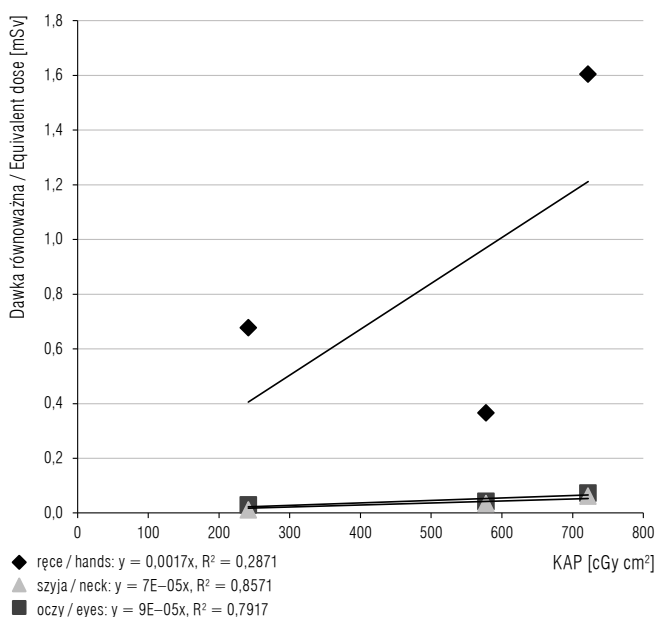
Szpital Hospital	Dawka w przeliczeniu na 1 zabieg Dose per 1 procedure [mSv]			
	efektywna effective	równoważna equivalent		
		oczy eyes	szyja neck	skóra dłoni hand skin
Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi / / Dr Karol Jonscher Municipal Medical Centre	0,019	0,042	0,034	0,366
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi / / Mikołaj Kopernik Regional Specialistic Hospital	≈0,003	0,029	0,011	0,677
Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej / University Clinical Hospital Military Memorial Medical Academy – Central Veterans' Hospital	0,023	0,073	0,061	1,604

Tabela 5. Średnie wartości KAP dla zabiegów ortopedycznych przeprowadzanych pod kontrolą fluoroskopii w analizowanych szpitalach
Table 5. Average kerma-area product (KAP) values for the orthopedic procedures under fluoroscopic control performed in the analyzed hospitals

Szpital Hospital	KAP [cGy cm ²]	
	M±SD	min.–maks. min.–max
Miejskie Centrum Medyczne im. dr. Karola Jonschera w Łodzi / / Dr Karol Jonscher Municipal Medical Centre	586,6±396,5	156,4–2 106,6
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. M. Kopernika w Łodzi / / Mikołaj Kopernik Regional Specialistic Hospital	246,9±199,2*	36,4–728,0*
Uniwersytecki Szpital Kliniczny im. Wojskowej Akademii Medycznej / University Clinical Hospital Military Memorial Medical Academy – Central Veterans Hospital	722,0±826,0	30,0–4 194,1

KAP – iloczyn kermy w powietrzu i pola powierzchni wiązki pierwotnej / the product of air kerma and area of primary beam.

* Wartości KAP wyliczone na podstawie wyświetlanej wartości kermy w powietrzu / KAP values were calculated on the basis of displayed air kerma (AK).



R^2 – współczynnik korelacji Pearsona / Pearson's' correlation coefficient.

Ryc. 5. Zależność wartości dawek równoważnych dla poszczególnych części ciała lekarza operatora, narażonego na promieniowanie jonizujące podczas zabiegu ortopedycznego przeprowadzanego pod kontrolą fluoroskopii, od średnich wartości iloczynu kermy w powietrzu i pola powierzchni wiązki pierwotnej (KAP) w 3 analizowanych szpitalach

Fig. 5. Equivalent doses for particular body parts of operator from exposure to ionizing radiation during orthopedic procedures under fluoroscopic control as a function of mean air kerma-area product (KAP) values in the 3 analyzed hospitals

WNIOSKI

Z przedstawionej analizy wyników pomiarów dozymetrycznych wynika, że:

1. W ortopedycznych procedurach IR największy wpływ na poziom narażenia personelu ma rodzaj wykonywanego zabiegu, a dokładniej – poziom jego trudności.

2. Kolejny ważny czynnik to optymalizacja warunków pracy aparatu rtg.:

- a) w monitorowanych zabiegach nie była wykorzystywana fluoroskopia impulsowa,
- b) podczas zabiegów ortopedycznych lampa rtg. podczas emisji promieniowania jest ustawiana w taki sposób, że górne części ciała operatora i stojącego obok lekarza asystującego znajdują się w pobliżu wiązki pierwotnej; dlatego zarówno wartości dawki dla oczu, jak i dawki zmierzonej na szyi uzależnione są od zarejestrowanej wartości KAP. Dawki rejestrowane na szyi i dla oczu operatora są zbliżone, co jest konsekwencją nieużywania okularów ochronnych.

Możliwość zaobserwowania powyższej prawidłowości dzięki wykonaniu pomiarów równoważnika dawki dla soczewek oczu dowodzi rzeczywistej potrzeby wykonywania takich pomiarów.

Najbardziej obciążonym radiacyjnie członkiem zespołu zabiegowego jest lekarz operator, dlatego dla operatora przeprowadzono oszacowanie rocznej dawki równoważnej dla soczewek oczu. Jeśli przyjąć, że ten sam operator wykona 200 zabiegów w ciągu roku (tzn. w przybliżeniu 6 w tygodniu), to zgodnie z wynikami przedstawionymi w niniejszej pracy wartość rocznej dawki równoważnej wynosi 6–15 mSv. W zestawieniu z zalecaną przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection – ICRP) [6] oraz dyrektywę Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej (European Atomic Energy Community – Euratom) [7] wartością graniczną wynoszącą 20 mSv (dla soczewek oczu) oznacza to możliwość zbliżenia się do wartości gra-

- nicznej przy niewielkim zwiększeniu zaangażowania operatora.
3. Dawka mierzona pod fartuchem ochronnym – na powierzchni klatki piersiowej – daje jedynie niezbędną informację o dawce efektywnej, ale nie pozwala ocenić, czy zachowanie zespołu jest poprawne z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Oczywiście nie oznacza to, że pomiar jest zbędny: wartość oszacowanej na jego podstawie dawki efektywnej jest kryterium zachowania bezpieczeństwa radiacyjnego pracownika. Potwierdza to jedynie wymóg prawny używania 2 dawkomierzy indywidualnych przez personel wykonujący procedury z zakresu radiologii zabiegowej.
 3. Vano E., Gonzales L., Guibelalde E., Fernandez J.M., Ten J.I.: Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *Br. J. Radiol.* 1998;71:954–960, <https://doi.org/10.1259/bjr.71.849.10195011>
 4. Vano E., Gonzalez L., Fernandez J.M., Alfonso F., Macaya C.: Occupational radiation doses in interventional cardiology: A 15-year follow-up. *Br. J. Radiol.* 2006;79:383–388, <https://doi.org/10.1259/bjr/26829723>
 5. Staniszevska M.A., Jankowski J.: Narażenie personelu podczas zabiegów radiologii interwencyjnej. *Med. Pr.* 2000;51(6):563–571
 6. Bouffler S., Ainsbury E., Gilvin P., Harrison J.: Radiation-induced cataracts: The Health Protection Agency's response to the ICRP statement on tissue reactions and recommendation on the dose limit for the eye lens. *J. Radiol. Prot.* 2012;32(4):479–488
 7. Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom. *DzU UE* z 2014 r., L 13
1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej. *DzU* z 2011 r. nr 51, poz. 265
2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 21 sierpnia 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków pracy z urządzeniami radiologicznymi. *DzU* z 2006 r. nr 180, poz. 1325

PIŚMIENNICTWO