



Wyznaczenie lokalnych poziomów referencyjnych dla kończyny górnej i dolnej na podstawie operacji ortopedycznych u dzieci z użyciem ramienia C

Estimation amount of local reference dose levels upper and lower limb from intra-operative use the C-arm X-ray system during orthopaedic surgical procedures among children

Mateusz Badziak¹, Katarzyna Matera¹, Piotr Grzelak¹

¹Zakład Diagnostyki Obrazowej, Instytut „Centrum Zdrowia Matki Polki” w Łodzi,
ul. Rzgowska 281/289, 93-338 Łódź, tel. +48 504 23 26 29, e-mail: badziak.m@hotmail.com

Streszczenie

Abstract

Uzasadnienie. Ważnym aspektem w ochronie radiologicznej jest zapewnienie bezpieczeństwa dzieciom w czasie operacji ortopedycznych z użyciem fluoroskopii. Ze względu na wysoką promieniowrażliwość dzieci, bardzo ważna jest kontrola dawek oraz zapewnienie im odpowiedniej ochrony radiologicznej.

Cel. Celem tej pracy było oszacowanie dawki powierzchniowej oraz czasu ekspozycji z fluoroskopii wykonywanych w czasie operacji ortopedycznych dzieci oraz wyznaczenie lokalnych referencyjnych poziomów referencyjnych na podstawie tych parametrów.

Materiał i metody. W badaniu uwzględniono 501 pacjentów (mediana 11 lat), którzy przeszli operacje ortopedyczne z użyciem fluoroskopii. Pomiaru dawek dokonano w czasie zabiegów ortopedycznych celowanych na kończyny dolne i górne z użyciem mobilnego ramienia C (Ziehm-8000) pomiędzy marcem a sierpniem 2017 roku. Dawki zebrano na podstawie wskazań miernika kompatybilnego z aparatem.

Wyniki. Średnia dawka powierzchniowa przypadająca na obszar kończyny górnej (73,65%) w badanej populacji wynosi $25,82 \pm 58,10$ cGycm², dawka dla obszaru kończyn dolnych (26,35%) jest równa $91,07 \pm 217,27$ cGycm². Lokalne poziomy referencyjne dawki w przedziałach wiekowych: 1-5, 5 \geq 10 oraz 10 \geq 15 i powyżej 15. roku życia wynoszą odpowiednio: 22,15, 24,76, 40,08, 55,04 cGycm². Poziomy referencyjne czasów naświetlania w odniesieniu do podanej kolejności przedziałów są następujące: 60,75, 82,75, 124,50, 108,00 s.

Wnioski. Wyniki pokazują, iż kończyny dolne otrzymują znacznie wyższe dawki niż kończyny górne w czasie operacji. Wynika to głównie z tego, że kończyny dolne mają większą objętość względem górnych. Otrzymane poziomy referencyjne układają się w tendencji wzrostowej zarówno dla DAP, jak i czasu ekspozycji. Wyjątkiem jest przedział wiekowy > 15 lat, gdzie DRL czasów ekspozycji jest niższy niż u młodszych dzieci.

Podsumowanie. Na podstawie pomiaru rzeczywistych dawek powierzchniowych możliwe jest zdefiniowanie lokalnych poziomów referencyjnych. Ich określenie pozwala na kontrolowanie warunków ekspozycji w czasie operacji ortopedycznych. Ma to znaczenie zarówno dla ochrony radiologicznej pacjentów, jak i dla usystematyzowania pracy operatorów fluoroskopii, którzy mogą świadomie dobierać odpowiednie dla wieku pacjenta warunki ekspozycji.

Słowa kluczowe: dawka powierzchniowa, dawka skuteczna, fluoroskopia, operacje ortopedyczne, diagnostyczne poziomy referencyjne, DRL

Background. Radiological protection of the patient during fluoroscopy procedures is an important topic due to the wide scope of its use during orthopaedic surgery. Children are especially sensitive to radiation, thus it is important to control dose and ensure them special radiological protection.

Objective. The aim of this study was to estimate DAP and exposure time from fluoroscopy during orthopaedic surgical procedures and to establish DRLs for these parameters.

Material and methods. We involved 501 paediatric patients (median age 11) who went orthopaedic surgery with targeted fluoroscopy acquisition. The ionizing radiation was assayed using Dose Area Product Meter. This was done during orthopaedic procedures of lower and upper extremities with using mobile C-arm device (Ziehm-8000) performed between March 2017 and August 2017.

Results. As the radiation dose depends on the size of the child, the children were assigned to four different age groups: 1-5, 5-10, 10-15 and > 15 years. The mean, median and third-quartile DAP and the exposure time were calculated for each group. The mean DAP for upper extremities (73.65%) was 25.82 ± 58.10 cGcm² and for lower extremities (26.35%) was 90.40 ± 216.59 cGcm². The third-quartile values were used to establish the DRLs. For this age selection the DRLs of the DAP were: 22.15, 24.76, 40.08, 55.04 cGcm² respectively. The third-quartile the time of exposure for above mentioned age selection were as follows: 60.75, 82.75, 124.50, 108.00 s.

Conclusions. The dose from fluoroscopy-guided orthopaedic surgery is higher for lower than upper extremities. It's came from the size of a lower parts, which have larger volume than the upper parts. The DRLs of DAP and exposure time are collected with upward trend to arising age. Only the children group older than 15 years have DRLs of exposure time higher than the age group between 10-15 years.

Discussion. Measurement of the dose area product in narrow group of patients allow to assessed dose reference levels. This procedure enable to control the fluoroscopy parameters during the orthopaedic surgeries. It is important both for the radiological protection of patients and to systematize the work of fluoroscopy operators, who can consciously choose age-appropriate patient exposure conditions.

Key words: dose area product, effective dose, fluoroscopy, orthopaedic surgery, DRL

otrzymano / received:

11.06.2018

poprawiono / corrected:

04.07.2018

zaakceptowano / accepted:

20.07.2018



Wprowadzenie

Operacje ortopedyczne stanowią 44,1% na tle innych typów zabiegów i są większością [1]. W czasie ich przebiegu niezbędne jest wykorzystanie fluoroskopii, aby chirurdzy zapoznali się dokładnie z miejscem przeznaczonym do operacji oraz ewentualnym usytuowaniem implantów ortopedycznych. Pomimo tego, iż fluoroskopia stanowi dokładne narzędzie obrazowe wysokiej jakości, jest także metodą wykazującą wyższe dawki niż klasyczna radiografia [2]. W przypadku grupy pediatrycznej pacjentów jest to szczególnie ważne ze względu na 3-krotnie wyższe ryzyko wystąpienia choroby nowotworowej niż w grupie dorosłych. Wynika to z 2- do 10-krotnie większej promieniowrażliwości młodych organizmów dyktowanej wysokim uwodnieniem tkanek oraz mnogością podziałów komórkowych [3].

Aktualne dokumenty odpowiadające za bezpieczne stosowanie promieniowania jonizującego wskazują na ograniczenie dawek

ze względu na wiek oraz rozmiar (masę) pacjenta. Wprowadzają również zasady ochrony indywidualnej oraz współczynniki normalizujące dawkę powierzchniową do dawki skutecznej [4]. Powyższe wytyczne służą do osiągnięcia jak najbezpieczniejszych warunków wykonywania badań z wykorzystaniem promieniowania jonizującego. Pozwalają również na odniesienie się do nich w kontekście uzyskanych wyników. Niemniej jednak w podanych raportach brakuje wykazu dokładnych parametrów ekspozycji, którymi mogliby posługiwać się operatorzy aparatów RTG. W polskich przepisach nie ma informacji odnośnie poziomów referencyjnych dla fluoroskopowych badań pediatrycznych z użyciem ramienia C [5]. Z tego względu wiele instytucji podejmuje się inspekcji dawek powierzchniowych DAP (*Dose Area Product*) i sporządzania lokalnych diagnostycznych poziomów referencyjnych DRLs (*Diagnostic Reference Levels*) dla określonych typów zabiegów [6-8].

Wyjątkową populacją badanych są dzieci, u których najczęściej operowane są kończyny górne i dolne z powodu złamań,

Tabela 1 Miary tendencji centralnej z uwzględnieniem typu i liczności badanych obszarów przy podziale na cztery grupy wiekowe pacjentów

Przedziały wiekowe, lata	Statystyka/obszar ekspozycji	Wszystkie		KG		KD	
		DAP, cGycm ²	t, s	DAP, cGycm ²	t, s	DAP, cGycm ²	t, s
1≤5	Średnia	41,64	61,21	27,87	53,78	119,69	103,27
	SD	103,76	99,91	73,23	91,44	194,47	137,92
	Mediana	4,77	20,50	4,74	22,00	16,77	10,00
	Q ₃	22,15	60,75	19,64	55,50	113,85	242,00
	Zakres	0,40-548,81	1,00-481,00	0,40-393,00	1,00-481,00	1,82-548,81	2,00-332,00
	n		60		51		9
5≤10	Średnia	25,77	69,68	20,82	70,16	48,68	67,42
	SD	65,38	100,69	60,50	105,31	81,63	77,02
	Mediana	8,06	35,50	6,92	35,00	15,87	36,00
	Q ₃	24,76	82,75	19,81	82,00	47,10	98,00
	Zakres	0,01-701,50	1,00-718,00	0,01-701,50	1,00-718,00	0,56-384,68	1,00-290,00
	n		186		153		33
10≤15	Średnia	48,16	98,25	30,71	100,66	84,44	93,24
	SD	136,36	150,49	52,32	140,28	223,97	170,87
	Mediana	12,49	38,00	7,82	38,00	24,43	38,00
	Q ₃	40,08	124,50	34,15	137,00	57,70	88,00
	Zakres	0,02-1251,48	1,00-901,00	0,02-288,13	1,00-782,00	0,62-1251,48	1,00-901,00
	n		194		131		63
≥15	Średnia	80,57	111,45	26,37	69,42	148,83	164,37
	SD	211,29	182,50	40,64	85,30	303,72	249,82
	Mediana	15,14	40,00	11,72	16,00	29,38	46,00
	Q ₃	55,04	108,00	26,91	105,25	168,62	173,50
	Zakres	0,02-1413,24	1,00-890,00	0,02-139,59	1,00-278,00	0,31-1413,24	2,00-890,00
	n		61		34		27

Źródło: Źródło własne.

Tabela 2 Bez podziału na grupy wiekowe

Statystyka/obszar ekspozycji	Wszystkie		KG		KD	
	DAP, cGycm ²	t, s	DAP, cGycm ²	t, s	DAP, cGycm ²	t, s
Średnia	43,01	84,81	25,82	78,66	91,07	102,02
SD	125,22	134,08	58,10	116,69	217,27	173,08
Mediana	10,07	34,00	7,22	31,00	21,42	38,50
Q ₃	33,42	98,00	24,72	99,00	66,07	98,00
Zakres	0,01-1413,24	1,00-901,00	0,01-701,50	1,00-782,00	0,31-1413,24	1,00-901,00
n		501		369		132

Źródło: Źródło własne.



zniekształceń lub zwicznienie i zmiażdżeń. W porównaniu z operacjami kręgosłupa lub bioder urazy te wymagają użycia dużo mniejszych dawek [9]. Należy jednak zwrócić uwagę na konieczność przeprowadzenia nie tylko właściwej operacji, ale również dodatkowych zabiegów korekcyjnych lub kontroli pooperacyjnej (np. wyjęcie implantów w postaci śrub i drutów), co zwiększa dawkę sumaryczną.

W trosce o odpowiednią ochronę radiologiczną najmłodszych w naszej pracy zostały zaprezentowane poziomy referencyjne DAP dla dzieci operowanych na bloku ortopedycznym. Dodatkowo wskazano czynniki, które warunkują najbardziej efekt zwiększenia dawki oraz działania, dzięki którym w przyszłości będzie możliwe zoptymalizowanie procedury fluoroskopii w czasie operacji ortopedycznych.

Materiał i metoda

W czasie od 23 marca do 27 sierpnia 2017 roku z użyciem fluoroskopii zanotowano 501 operacji ortopedycznych pacjentów pediatrycznych (od 1 do 17 lat, mediana 11 lat). Sumarycznie zostało przeprowadzonych 369 fluoroskopii kończyny górnej (KG) oraz 132 – kończyny dolnej (KD). Operacje przeprowadzono z użyciem mobilnego ramienia C (Ziehm 8000).

Dla każdego pacjenta dawkę powierzchniową oraz czas fluoroskopii uzyskiwano z pomiaru dawkomierza Vacu-DAP (*Vacu-TecMeßtechnik GmbH, Germany 2009*), który jest kompatybilny z ramieniem C. Dodatkowo otrzymano informacje o rodzaju naświetlanego obszaru. Wszystkie te informacje zapisywane były w księdze zabiegów. Z uwagi na małą liczebność przypadków operacji kręgosłupa, miednicy, głowy i klatki piersiowej, zostały one wykluczone z analizy statystycznej. Uwzględniono parametryczny charakter zmiennych DAP i czas ekspozycji. Biorąc pod uwagę najczęściej wykonywane operacje kończyn, utworzono lokalne poziomy referencyjne względem KD i KG, przy użyciu III kwartyla (Q_3), dla czterech przedziałów wiekowych.

Wyniki

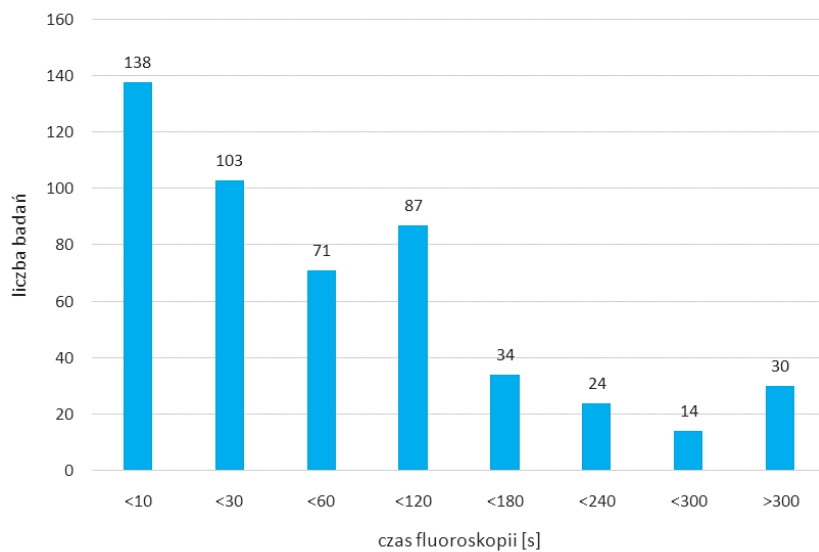
Do analizy statystycznej włączono 501 pacjentów ($n > 5$) operacji ortopedycznych kończyn dolnych i górnych. Stanowią one ilość badanych obszarów. Na podstawie danych wyznaczono wartości średnie z odchyleniem standardowym (SD) oraz medianę

zmiennej DAP i czasu ekspozycji. Wyznaczono lokalne wartości referencyjne za pomocą Q_3 dla DAP oraz czasu naświetlania. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

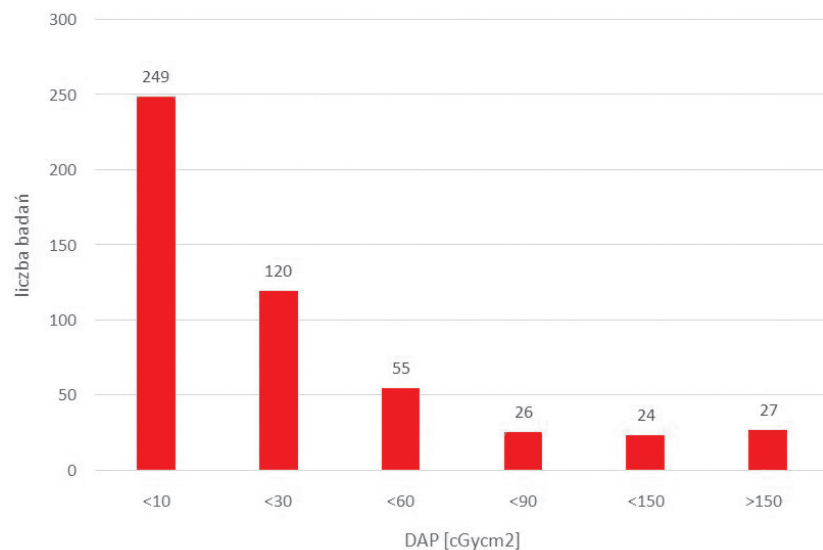
Wyznaczono również wartości średnie z odchyleniem standardowym (SD) oraz medianę zmiennej DAP i czasu ekspozycji bez podziału na grupy wiekowe. Wyniki przedstawia tabela nr 2.

Dla czasu ekspozycji oraz DAP stworzono histogramy liczebności (Rys. 1 i 2) w sztucznie założonych przez nas przedziałach czasowych i liczbowych opartych na podstawie obserwacji analizowanych danych.

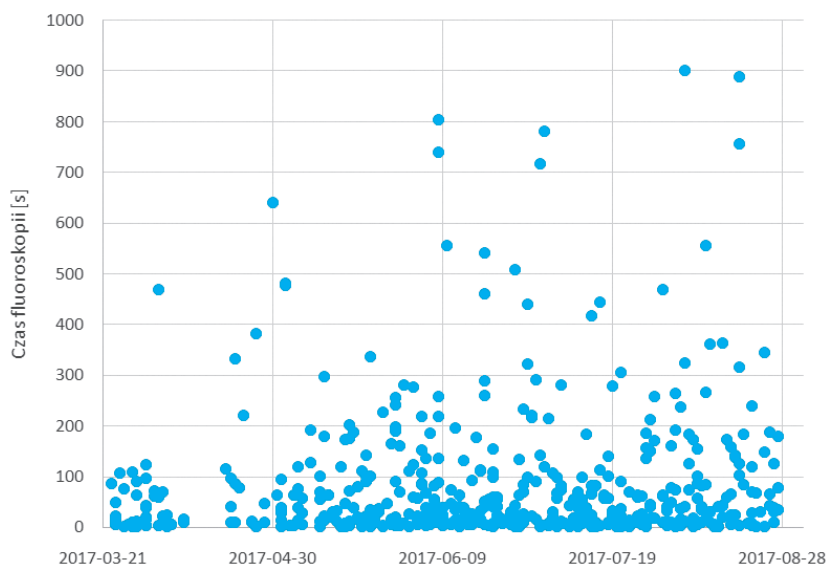
Na rysunku 3 zobrazowano rozkład wartości DAP na przestrzeni czasu. Rysunek 4 obrazuje wartości czasu fluoroskopii.



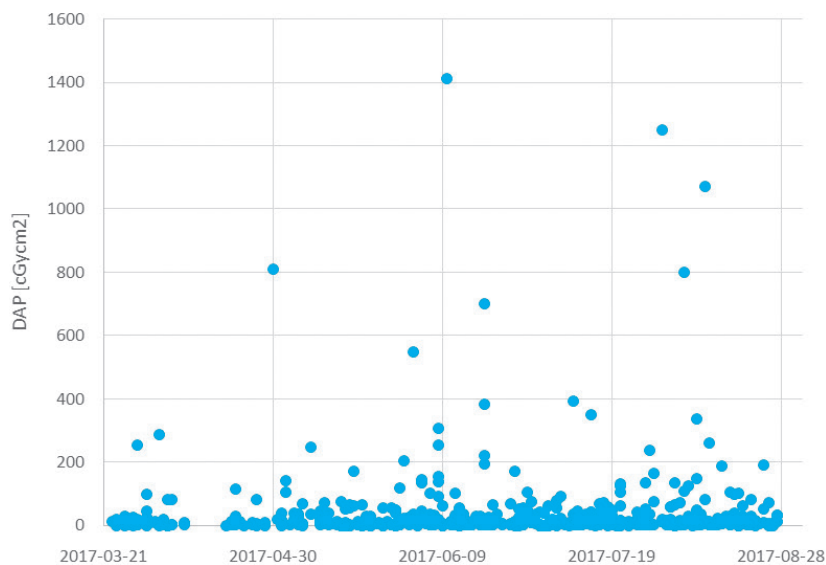
Rys. 1 Histogram czasów ekspozycji w poszczególnych przedziałach
Źródło: Źródło własne.



Rys. 2 Histogram DAP w poszczególnych przedziałach
Źródło: Źródło własne.



Rys. 3 Wykres rozrzutu czasu fluoroskopii w ramach czasowych
Źródło: Źródło własne.



Rys. 4 Wykres rozrzutu wartości DAP w ramach czasowych
Źródło: Źródło własne.

Wnioski

Na podstawie tabeli 1 wyraźnie widać, iż operacje z zakresu kończyny dolnej obciążone są większymi dawkami niż kończyny górne. Zależność ta zachodzi w każdym przedziale wiekowym. Czas fluoroskopii jest również większy dla kończyny dolnej z wyjątkiem przedziału wiekowego $10 < 15$. Największy przyrost dawek obserwujemy między II i III kwartylem, gdzie wartości DAP Q_3 są kilkukrotnie większe od Q_2 . Zależność ta występuje zarówno dla każdej grupy wiekowej, jak i dla podziału na rodzaj kończyny.

Porównując tabelę 1 z tabelą 2, można zauważyć, iż wyznaczone przez nas lokalne poziomy referencyjne DAP dla grupy wiekowej $10 < 15$ oraz $15 < 20$ są większe od wartości Q_3 wyliczonej

bez podziału na grupy wiekowe. Dla grupy $1 < 5$ oraz $5 < 10$ wartości DAP Q_3 są poniżej wartości Q_3 dla analizy bez podziału na grupy wiekowe.

Dyskusja

Fluoroscopia to obecnie bardzo przydatna własność obrazowania za pomocą promieniowania jonizującego, stosowana często jako wspomaganie przy operacjach ortopedycznych. Jednak ceną tego wspomaganie jest dawka promieniowania otrzymana przez pacjenta i nie tylko.

Dane zgromadzone w tabelach 3 i 4 przedstawiają przegląd literatury, której autorzy porównywali parametry ekspozycji fluoroskopii. Zastosowano oryginalne nazewnictwo dla wybranych wartości DAP oraz czasu ekspozycji w celu łatwiejszej identyfikacji. Tabele uzupełniono o zapisy związane ze stosowanym przez nas nazewnictwem KG i KD.

Porównując otrzymane przez nas dane (Tabela 3), można wywnioskować, że średnie wartości DAP otrzymywane przez pacjentów są kilkukrotnie mniejsze niż wartości podawane przez innych autorów. Jednak należy zwrócić uwagę, iż autorzy podawali je dla konkretnych zabiegów [10], czego w niniejszej publikacji nie dokonano.

W przypadku czasu fluoroskopii otrzymane przez nas dane (Tabela 4) są na zbliżonym poziomie w porównaniu z innymi autorami. Podobnie jak w przypadku porównania wartości DAP i wartości czasu fluoroskopii dokonywane były dla konkretnych zabiegów [10, 13], a nawet z podziałem na doświadczenie osoby wykonującej zabieg [13, 14].

W przeglądanej literaturze istotnym mankamentem wydaje się fakt używania pełnego zakresu wiekowego pacjentów. Oznacza to, że faktyczne dane, które powinny zostać odniesione do wieku pacjenta, nie są znane [1, 13, 16]. Utrudnia to ocenę narażenia radiologicznego pacjentów z punktu widzenia obowiązujących standardów.

Wiele agencji światowych i europejskich z tego względu rekomenduje pomiar wartości DAP oraz jego zapis podczas zabiegów z wykorzystaniem fluoroskopii [17-19]. Zatem prowadzenie księgi zabiegów realnie przekłada się na monitoring dawek powierzchniowych, który jest niezbędny dla określenia dawek równoważnych oraz skutecznych. Stanowią one podstawę do przewidywania efektów biologicznych promieniowania na organizm.

Wiążącą kwestią wobec ochrony radiologicznej pacjenta jest również wyznaczenie lokalnych poziomów referencyjnych przez pracowników szpitala, którzy są do tego zobligowani. Ta zachowawczość powinna być nieodzownym elementem systemu zarządzania jakością na bloku operacyjnym.



Najwłaściwszym wobec tego postępowaniem byłoby rozważenie warunków ekspozycji już na etapie zakupu aparatu. W tym celu inspektor ochrony radiologicznej oraz fizyk medyczny (jeśli jest zatrudniony) powinni uzyskać od dostawcy aparatu RTG informacje dotyczące jego pracy (pełną specyfikację techniczną oraz opcjonalną) w celu przygotowania odpowiednich procedur przed rozpoczęciem użytkowania sprzętu. Proces ten nie może odbyć się również bez zaangażowania samych użytkowników aparatu, czyli chirurgów, gdyż to od nich zależy, jaką dawkę promieniowania jonizującego otrzyma pacjent. Niestety często wprowadzenie nowego sprzętu wygląda zupełnie inaczej. Dodatkowym ograniczeniem jest wspomniany wcześniej brak wartości referencyjnych, przez co zadanie optymalizacji dawki jest obciążone dużymi błędami i wymaga sporego nakładu pracy [5]. Natomiast procedury wzorcowe z radiologii zabiegowej w zakresie ortopedycznym, chirurgicznym czy neurochirurgicznym pozostają na co dzień w rękach operatora aparatu [20].


Na przykładzie przeprowadzonych przez nas obliczeń wskazaliśmy istotę obecnego ówczesnie problemu ochrony radiologicznej w pediatricznej radiologii zabiegowej. Jest to temat wymagający ciągłych dyskusji oraz wprowadzania nowych, lepszych rozwiązań. Wiąże się to z zaangażowaniem osób właściwie wykwalifikowanych do tworzenia, sprawnego wdrażania oraz monitorowania procedur radiologicznych używanych na bloku operacyjnym. 

Tabela 3 Porównanie otrzymanych wartości DAP z innymi publikacjami

DAP	Średnia cGycm ²	Q ₃ cGycm ²	Zakres cGycm ²	n	
S. Malek et. all (2007) [10]	196//DHS fixation (KD) 356//CHS fixation (KD) 548//IMN of femur (KD) 125// IMN of tibia (KD)			389 (KD) 85 (KD) 125 (KD) 71 (KD)	
G. Kirousis et. all (2009) [11]	75 (KD)	111		25 (KD)	
Y.-S. Lee et. all (2015) [1]	270(KG i KD)			165(KG i KD)	
M. T. Crawley et. all (2000) [9]	258	374	15,4-187,2	43	
Nasza publikacja	KD i KG	43,01	33,42	0,01-1412,24	501
	KG	25,82	24,72	0,01-701,50	369
	KD	91,07	66,07	0,31-1413,24	132

Źródło: Źródło własne.

Tabela 4 Porównanie otrzymanych wartości czasu fluoroskopii z innymi publikacjami

CZAS	Średnia, s	n	
Y.-S. Lee et. all (2015) [1]	78,53 (KD i KG)	165 (KG i KD)	
G. Kirousis et. all (2009) [11]	71,4 (KD)	25 (KD)	
L.P. Müller et. all (1998) [12]	277,8 (KD)	41(KD)	
S. Madan et. all (2002) [13]	Consultant/middlegrade 33,6/76,8 – tibia (KD) (31,2/96,6) – femur (KD)	99 – tibia (KD) (95) – femur (KD)	
T.R. Blatter et. all (2004) [14]	Senior/junior 265,8 / 417	23	
M.A. Hafez et. all (2015) [15]	154,8 (KD)	47 (KD)	
S. Malek et. all (2007) [10]	42 – DHS fixation (KD) 66 – CHS fixation (KD) 90 – IMN of femur (KD) 126 – IMN of tibia (KD)	389 – DHS fixation (KD) 85 – CHS fixation (KD) 125 – IMN of femur (KD) 71 – IMN of tibia (KD)	
J.C.L. Salvia et. all (2011) [16]	61 (KG i KD)	80 (KG i KD)	
Nasza publikacja	KD i KG	84,81	501
	KG	78,66	369
	KD	102,02	132

Źródło: Źródło własne.

Literatura

- Y.-S. Lee, H.-K. Lee, J.-H. Cho, H.-G. Kim: *Analysis of radiation risk to patients from intra-operative use of the mobile X-ray system (C-arm)*, Journal of Research in Medical Sciences, The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences, 20(1), 2015, 7-12.
- G.J. Bansal: *Digital radiography. A comparison with modern conventional imaging*, Postgraduate Medical Journal, 82(969), 2006, 425-428.
- G. Vogin, N. Foray: *The law of Bergonié and Tribondeau: a nice formula for a first approximation*, Int J Radiat Biol., 89, 2012, 2-8.
- P.-L. Khong, H. Ringertz, V. Donoghue, D. Frush, M. Rehani, K. Appelgate, R. Sanchez: *Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology*, ICRP Publication 121., Ann. ICRP, 42(2), 2013.
- Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej, Dz.U. 2017 poz. 884.
- G. Bibbo, D. Balman, R. Linke: *Diagnostic reference levels for common paediatric fluoroscopic examinations performed at a dedicated paediatric Australian hospital*, Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology, 60(4), 2016, 469-474.
- D. Hart, M.C. Hillier, B.F. Wall: *National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK*, The British Journal of Radiology, 82(973), 2008, 1-12.
- D. Almeida, N. Carvalho, B. Esteves, C.M.D.S. Dos Santos Almeida, G. Paulo, J. Santos: *Frequency and dose levels of paediatric image guided fluoroscopy procedures in Portugal*, poster ECR 2015/ B-0362.
- M.T. Crawley, A.T. Rogers: *Dose-area product measurements in a range of common orthopaedic procedures and their possible use in establishing local diagnostic reference levels*, British Journal of Radiology, 73(871), 2000, 740-744.
- S. Malek, E. Davies, I.A. Malek, A. Rawal, A. Singh, R.A. Harvey: *Trauma surgery and risk of radiation injury to patients*, Eur J OrthopSurgTraumatol., 17, 2007, 23-28.
- G. Kirousis, H. Delis, P. Megas, E. Lambiris, G. Panayiotakis: *Dosimetry during intramedullary nailing of the tibia Patient and occupational exposure*, Acta Orthopaedica, 80(5), 2009, 568-572.
- L.P. Müller, J. Suffner, K. Wenda, W. Mohr, P.M. Rommens: *Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing*, Injury, 29(6), 1998, 461-468.
- S. Madan, C. Blakeway: *Radiation exposure to surgeon and patient in intramedullary nailing of the lower limb*, Injury, 33, 2002, 723-727.
- T.R. Blatter, U.A. Fill, E. Kunz, W. Panzer, A. Weckbach, D.F. Regulla: *Skill dependence of radiation exposure for the orthopaedic surgeon during interlocking nailing of long-bones haft fractures: a clinical study*, ArchOrthop Trauma Surg., 124, 2004, 659-664.
- M.A. Hafez, R.M. Smith, S.J. Matthews, G. Kalap, K.P. Sherman: *Radiation exposure to the hands of orthopaedic surgeons: are we underestimating the risk?*, ArchOrthop Trauma Surg., 125(5), 2005, 330-335.
- J.C.L. Salvia, P.R. de Moraes, T.Y. Ammar, C.R. Schwartzmann: *Fluoroscopy duration in orthopedic surgery*, Rev Bras Ortop, 46(2), 2011, 136-113.
- 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.
- CRCPD Publication #E-10-7 *Technical White Paper: Monitoring and Tracking of Fluoroscopic Dose*, 2010.
- Radiological protection in fluoroscopically guided procedures outside the imaging department*, ICRP Publication 117, Ann. ICRP 40 (6), ICRP, 2010.
- Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 10 listopada 2015 r. w sprawie ogłoszenia wykazu wzorcowych procedur radiologicznych z zakresu radiologii – diagnostyki, tom DZ. URZ. Min. Zdr. 2015, 78, 2015.