

Joanna Domienik  
Marek Zmysłony

## OCENA DAWEK OTRZYMYWANYCH PRZEZ PACJENTÓW PODDANYCH BADANIOM TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ

DOSES TO ADULT PATIENTS FROM COMPUTED TOMOGRAPHY EXAMINATIONS

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland  
Zakład Ochrony Radiologicznej / Radiation Protection Department

### STRESZCZENIE

**Wstęp:** Obserwowany znaczący wzrost liczby badań z wykorzystaniem tomografii komputerowej (TK) oraz fakt, że dawki rejestrowane w tkankach w trakcie badań TK są jednymi z najwyższych pokazują, iż optymalizacja procedur diagnostycznych w TK jest problemem szczególnie istotnym z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Niniejszy temat stanowi pierwszy etap w procesie optymalizacji, jakim jest ocena zakresu dawek efektywnych i dawek rejestrowanych przez czułe na promieniowanie organy ciała. **Materiał i metody:** Pomiary przeprowadzono w pracowni TK w jednym z wiodących łódzkich szpitali. Oszacowano dawki efektywne oraz zmierzono dawki na soczewki oczu, tarczycę i gonady dla najczęściej wykonywanych badań, tj. głowy, klatki piersiowej i brzucha. **Wyniki:** Najwyższe dawki efektywne oszacowano dla brzucha (9,7–75,6 mSv), a najniższe dla zatok (0,6–1,1 mSv). W badaniach głowy i karku zakresy dawek wynosiły odpowiednio 0,9–3,1 mSv i 4,6–11,8 mSv, natomiast w badaniach klatki piersiowej – 3,7–27,2 mSv. Najwyższe dawki na organy w badaniach głowy rejestrowane były na soczewce oka (10,6–25,5 mGy), a w badaniach klatki piersiowej i brzucha – na tarczycy (8,7–41,8 mGy) i gonadach (1,5–36,5 mGy). **Wnioski:** Otrzymane dawki różnią się znacznie nawet w badaniach tego samego typu. Choć dawki efektywne są niekiedy relatywnie niskie (2 mSv w badaniach głowy), to dawki na soczewki oczu mogą być już znaczące (26 mGy), zwłaszcza w badaniach wielokrotnie powtarzanych i w przypadku pacjentów pediatrycznych. Med. Pr. 2012;63(6):629–635

**Słowa kluczowe:** tomografia komputerowa, dawki efektywne, dawki na organy, soczewki oczu

### ABSTRACT

**Background:** The observed increasing number of computed tomography (CT) examinations and the fact that the doses absorbed in tissues from CT are among the highest in diagnostic radiology show that special attention has to be paid to the optimization of patient protection. The first step in that direction is the assessment of doses delivered to the patients, therefore, this issue was the aim of the presented study. **Materials and methods:** The study was conducted in one of the major hospitals in Lodz on one CT scanner. The effective doses and the organ doses to eye lens, thyroid and gonads were assessed for the most common examinations of head, chest and abdomen in adult patients. **Results:** The highest effective doses were received from abdomen (9.7–75.6 mSv) and the lowest from sinuses (0.6–1.1 mSv) examinations. For the head, neck and chest examinations the doses ranged from 0.9 to 3.1 mSv from 4.6 to 11.8 mSv and from 3.7 to 27.2 mSv, respectively. As regards organ doses the highest (10.6–25.5 mGy) doses to the eye lens were received from CT head examination, to thyroid (8.7–41.8 mGy) from chest and to gonads (1.5–36.5 mGy) from abdomen examinations. **Conclusions:** The doses vary significantly even for the same type of examination. Although in some examinations the average effective dose is relatively low, e.g. about 2 mSv (for the head) the absorbed dose to the eye lens can be higher (26 mGy), which might be relevant in repeated or pediatric examinations. Med Pr 2012;63(6):629–635

**Key words:** computed tomography, effective doses, organ doses, eye lens

Adres autorów: Zakład Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera,  
ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: jdom@imp.lodz.pl  
Nadesłano: 25 października 2012, zatwierdzono: 13 listopada 2012

### WSTĘP

Od wprowadzenia pod koniec lat 90. wielorządowej tomografii komputerowej (TK) jako jednej z metod diagnostyki obrazowej obserwuje się znaczący wzrost liczby badań z wykorzystaniem tej techniki. Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection – ICRP) w publika-

cji nr 87 (1) podkreśla, że dawki pochłonięte w tkankach w trakcie badań TK są jednymi z najwyższych dawek rejestrowanych w radiologii diagnostycznej (wynoszą 10–100 mGy). Ze względu na konieczność niekiedy wielokrotnego powtarzania badania TK powyższe dawki mogą bardzo często zbliżać się do takich poziomów lub przekraczać takie poziomy, przy których obserwuje się zwiększoną częstotliwość występowania nowotwo-

rów w populacji ludzkiej. Według danych Komitetu Naukowego ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR) z roku 2000 badania TK, stanowiące od 5–10% wszystkich badań rentgenodiagnostycznych, mają znaczący (bo wynoszący nawet do 50%) udział w dawce kolektywnej (2). Dla porównania podobny procent badań (ok. 4%) stanowią prześwietlenia brzucha, których udział w dawce kolektywnej jest relatywnie mały i wynosi 2%.

Wraz z rozwojem techniki TK rośnie również obszar jej zastosowania. Należą do niego nowoczesne procedury zarówno diagnostyczne, jak i interwencyjne. Pośrednio powoduje to wzrost liczby wykonywanych badań, a w konsekwencji wzrost dawki kolektywnej. To ostatnie zjawisko spowodowane jest nie tylko zastąpieniem konwencjonalnego badania radiograficznego przez badanie z udziałem tomografu, ale również zróżnicowaniem w technice wykonywania samego badania TK. Obserwowane różnice dotyczą różnych objętości skanowania, liczby warstw, wykonywania powtórnych badań itd.

Różnice z powodu zastosowanej techniki są bardziej znaczące w tomografii komputerowej niż w konwencjonalnej radiografii z uwagi na wyższe dawki wyjściowe stosowane w TK. W trakcie pojedynczego badania TK wykonuje się kilka prześwietleń wokół osi rotacji lampy rtg. równoległej do długiej osi pacjenta. Dodatkowo dawki dla organów niebędących bezpośrednim celem diagnostycznym – takich jak soczewki oczu, tarczyca czy gonady – są również wyższe.

Obecnie szczególną uwagę poświęca się narażeniu soczewek oka, ponieważ najnowsze wyniki badań epidemiologicznych i badania przeprowadzone na zwierzętach (3,4) sugerują, że wartości progowe dawki powodujące wystąpienie skutków deterministycznych (np. zmętnienia soczewki, które z czasem może prowadzić do zaćmy) są lub mogą być niższe, niż do tej pory zakładano. Zgodnie z najnowszymi rekomendacjami ICRP (5) dawka progowa dla soczewek oczu wynosi obecnie 0,5 Gy (do tej pory 5 Gy w ekspozycji przewlekłej i 0,5–2,0 Gy w ekspozycji jednokrotnej) (6). Z tego powodu ICRP w szczególności zaleca optymalizację ochrony radiologicznej we wszystkich typach i kategoriach ekspozycji, gdzie przypadkowej ekspozycji podlegają również soczewki oczu. Zalecenie to w szczególności powinno być realizowane w pracowniach tomografii komputerowej, gdzie otrzymywane dawki są relatywnie wysokie, a badania częstokroć powtarzane nawet do 6 razy w przypadku badań u dorosłych (7) lub średnio 2–3 razy w przypadku badań u dzieci (8,9).

Celem niniejszej pracy była analiza zakresu dawek efektywnych otrzymywanych przez pacjentów dorosłych poddanych najczęściej wykonywanym badaniom tomografii komputerowej oraz dawek otrzymywanych przez najbardziej czule na promieniowanie X organy, niebędące bezpośrednim celem diagnostycznym (takie jak soczewki oczu, tarczyca i gonady). Jest to pierwszy, niezbędny etap w optymalizacji ochrony radiologicznej pacjentów poddanych badaniom TK.

## MATERIAŁ I METODY

Istnieje kilka wielkości zdefiniowanych w celu określenia dawki w tomografii komputerowej. Podstawową wielkością jest tomograficzny indeks dawki – CTDI (computed tomography dose index). Stanowi on dawkę sumaryczną, obliczoną w kierunku osi równoległej do osi rotacji lampy rtg. w trakcie jednego aksjalnego obrotu lampy. Dawka ta mierzona jest przy pomocy 10-centymetrowej komory ołówkowej, umieszczonej w standardowych fantomach TK (cylindrycznym fantomie głowy lub tułowia wykonanych z pleksiglasu (polymetyl metacrylate) – PMMA) odpowiednio o średnicach: 16 cm i 32 cm). Drugą wielkością stosowaną powszechnie w tomografii komputerowej jest ważony tomograficzny indeks dawki ( $CTDI_w$ ), który stanowi odpowiednią sumę ważoną współczynników CTDI, wyrażoną wzorem:

$$CTDI_w = 2/3 CTDI_{100'periph} + 1/3 CTDI_{100'centre} \quad [1]$$

gdzie:

$CTDI_w$  – ważony tomograficzny indeks dawki,

$CTDI_{100'periph}$  oraz  $CTDI_{100'centre}$  – odpowiednio średnia dawka zmierzona na głębokości 10 cm w 4 odpowiednich punktach na brzegach fantomu TK oraz dawka zmierzona na głębokości 10 cm w środku fantomu TK.

Ważony tomograficzny indeks dawki ( $CTDI_w$ ), stosowany również do oceny wydajności tomografu komputerowego, stanowi ocenę średniej dawki w pojedynczej warstwie fantomu TK (10). Żeby ocenić dawkę w całym badaniu, które zazwyczaj uwzględnia większą liczbę wykonanych skanów, należy wziąć pod uwagę przestrzenie między poszczególnymi warstwami (skanami) lub obszary, w których warstwy się częściowo pokrywają. W tym celu wprowadzono objętościowy tomograficzny indeks dawki ( $CTDI_{vol}$ ) wyrażany w postaci iloczynu  $CTDI_w$  oraz odwrotności tzw. pitchu (iloraz przesuwu stołu w trakcie pełnego obrotu lampy rtg.

oraz grubości pojedynczej warstwy). Dawkę z całego badania reprezentuje tzw. DLP (Dose Length Product – dawka dla całego badania wykonanego na fantomie głowy albo ciała przy zastosowaniu protokołu dla standardowego pacjenta), który zdefiniowany jest jako iloczyn  $CTDI_{vol}$  (w mGy) i długości skanu (w cm).

Pomiary przeprowadzone zostały w jednym z łódzkich szpitali, w którym do badań diagnostycznych wykorzystuje się 16-rzędowy tomograf komputerowy Toshiba Aquilion. Dawki w postaci  $CTDI_{vol}$  oraz DLP, a także parametry badania – takie jak kV, całkowite mAs, czas pojedynczego obrotu oraz grubość warstwy – szczytywane były z konsoli w trakcie najczęściej wykonywanych badań, m.in. badania głowy, klatki piersiowej i brzucha. W sumie powyższe dane zebrano w trakcie 163 badań TK. W celu potwierdzenia wskazań dozymetrycznych tomografu komputerowego przeprowadzono pomiary  $CTDI_w$  i porównano je ze wskazaniami wyświetlacza na konsoli sterowniczej po uprzednim przeliczeniu ich na  $CTDI_{vol}$ . Różnica między wartościami wyświetlanymi na konsoli sterowniczej a zmierzonymi przy pomocy standardowych fantomów TK i jonizacyjnej komory ołówkowej wynosiła nie więcej niż 7%.

Dawki efektywne otrzymywane przez pacjentów w trakcie poszczególnych badań obliczone zostały na podstawie wartości DLP po jej przemnożeniu przez odpowiedni współczynnik przeliczeniowy  $E_{DLP}$ , który odzwierciedla dawkę efektywną znormalizowaną do DLP zmierzoną w standardowym fantomie TK. Współczynniki zastosowane w powyższej pracy zostały wyznaczone metodą Monte Carlo i wolne są od wpływu rodzaju skanera TK oraz parametrów badania (11). W zależności od typu badania (badanego anatomicznie

go obszaru ciała) zastosowano następujące współczynniki  $E_{DLP}$  (11):

- 0,0021 mSv (mGy $\cdot$ cm)<sup>-1</sup> dla badania głowy,
- 0,0059 mSv (mGy $\cdot$ cm)<sup>-1</sup> dla badania szyi,
- 0,0014 mSv (mGy $\cdot$ cm)<sup>-1</sup> dla badania klatki piersiowej,
- 0,0015 mSv (mGy $\cdot$ cm)<sup>-1</sup> dla badania brzucha.

Dawki dla poszczególnych organów (soczewki oczu, tarczyca i gonady) ocenione zostały na podstawie pomiarów przeprowadzonych w trakcie badań wykonywanych w warunkach klinicznych. Do pomiarów wykorzystane zostały wysokoczułe dozymetry TL typu MCP-N, które za każdym razem umieszczane były w badanej okolicy na powłokach skórnych pacjenta. W pojedynczym badaniu stosowano 4 dozymetry TL. Przed wykonaniem pomiarów w warunkach klinicznych dozymetry zostały wykalibrowane na fantomie wodnym z wykorzystaniem spektrum wiązki rentgenowskiej RQR-120 kV, najbardziej zbliżonej do spektrum wiązek stosowanych w tomografii komputerowej.

## WYNIKI

W tabeli 1. przedstawiono liczbę badań TK wykonanych w roku 2010 w pracowni tomografii komputerowej, w której przeprowadzano pomiary w ramach niniejszego badania, wraz z najczęstszymi wskazaniami do ich wykonania. Według prezentowanych danych do najczęściej wykonywanych rutynowych badań TK należą badania głowy, kręgosłupa, klatki piersiowej i brzucha. Zwraca uwagę duża liczba badań angio TK, co świadczy o szybkim wdrażaniu nowych technik diagnostycznych.

**Tabela 1.** Badania TK wykonane w roku 2010 oraz najczęstsze wskazania do ich wykonania  
**Table 1.** Common CT examinations performed in 2010 and their specific clinical indications

Obszar anatomiczny Body region	Badania Examinations [n]	Wskazania Clinical indications
Głowa bez kontrastu / Head without contrast	427	bóle głowy i zawroty, omdlenia, diagnostyka guzów / head ache and vertigo, syncopes, detection of malignancy
Głowa przed kontrastem lub po kontraście / Head pre/post contrast	681	
Zatoki bez kontrastu / Sinuses without contrast	351	diagnostyka guzów / detection of tumors
Zatoki przed kontrastem lub po kontraście / Sinuses pre/post contrast	6	
Szyja przed kontrastem lub po kontraście / Neck pre/post contrast	16	–
Klatka piersiowa bez kontrastu / Chest without contrast	40	diagnostyka raka piersi, raka płuc, gruźlica, zator tętnicy płucnej / detection of breast cancer, lung cancer, tuberculosis, pulmonary thrombosis
Klatka piersiowa przed kontrastem lub po kontraście / Chest pre/post contrast	369	

**Tabela 1.** Badania TK wykonane w roku 2010 oraz najczęstsze wskazania do ich wykonania – cd.  
**Table 1.** Common CT examinations performed in 2010 and their specific clinical indications – cont.

Obszar anatomiczny Body region	Badania Examinations [n]	Wskazania Clinical indications
Brzuch bez kontrastu / Abdomen without contrast	28	diagnostyka guza wątroby, trzustki, torbiel trzustki, przerzuty do wątroby / detection of liver tumor, pancreatic cyst, pancreatic cancer, liver metastases
Brzuch przed kontrastem lub po kontraście / Abdomen pre/post contrast	218	
Odcinek szyjny kręgosłupa / Cervical spine	183	–
Odcinek lędźwiowo-krzyżowy kręgosłupa / Lumbar spine	799	–
Angio TK / Angio CT	859	zwężenie tętnic, kontrola po implantacji stentów / / angiostenosis or follow up after implantation of the stent

W tabeli 2. zaprezentowane zostały rozkłady dawek  $CTDI_{vol}$  oraz DLP dla wybranych badań wymienionych w tabeli 1. Wyniki pokazują znaczące różnice w dawkach nawet w badaniach tego samego typu (w przypadku badania brzucha różnice w  $CTDI_{vol}$  i DLP wynoszą nawet do 76% i 87% odpowiednich wartości średnich). Tylko w przypadku badania głowy i zatok różnice te są relatywnie małe i wynoszą: dla badania głowy – 29% wartości średniej  $CTDI_{vol}$  i 27% wartości średniej DLP, a dla badania zatok – 12% wartości średniej  $CTDI_{vol}$  i 0% wartości średniej DLP. Ponieważ powyższe dane pochodzą z jednej pracowni TK, różnice przypisać należy różnym wymiarom ciała pacjenta oraz technice wykonania badania (długość skanu ustawionego przez technika).

Na rycinie 1. przedstawiono rozkłady dawek efektywnych dla badań głowy, zatok, szyi, klatki piersiowej i brzucha. W ogólności najwyższe dawki otrzymywali

pacjenci, u których wykonywano badanie brzucha (najwyższa dawka w tym przypadku wyniosła 75,6 mSv dla badania wielofazowego brzucha), podczas gdy najniższe dawki otrzymywane były w trakcie badania zatok.

Średnie dawki efektywne w badaniach TK wynoszą: dla brzucha – 27 mSv, klatki piersiowej – 13,1 mSv, szyi – 6,7 mSv, głowy – 1,8 mSv i zatok – 0,7 mSv. Należy dodać, że badania brzucha, klatki piersiowej i badania głowy ujęte w analizie to głównie badania, w których uwzględniono dodatkową fazę na podanie kontrastu lub jak w przypadku badań brzucha nawet kilka faz (tzw. badanie wielofazowe). Jeśli odrzucimy badania wielofazowe w grupie badań brzucha, dla których dawka efektywna jest wyraźnie wyższa z uwagi na dodatkowe fazy związane z podaniem kontrastu, to wartość średnia dawki otrzymywanej w tym badaniu wyniesie 20,7 mSv.

Dla porównania dawka otrzymywana w trakcie rentgenowskiego badania klatki piersiowej, które w nie-

**Tabela 2.** Rozkłady dawek  $CTDI_{vol}$  oraz DLP dla różnych badań TK  
**Table 2.** The distributions of  $CTDI_{vol}$  and DLP for common CT examinations

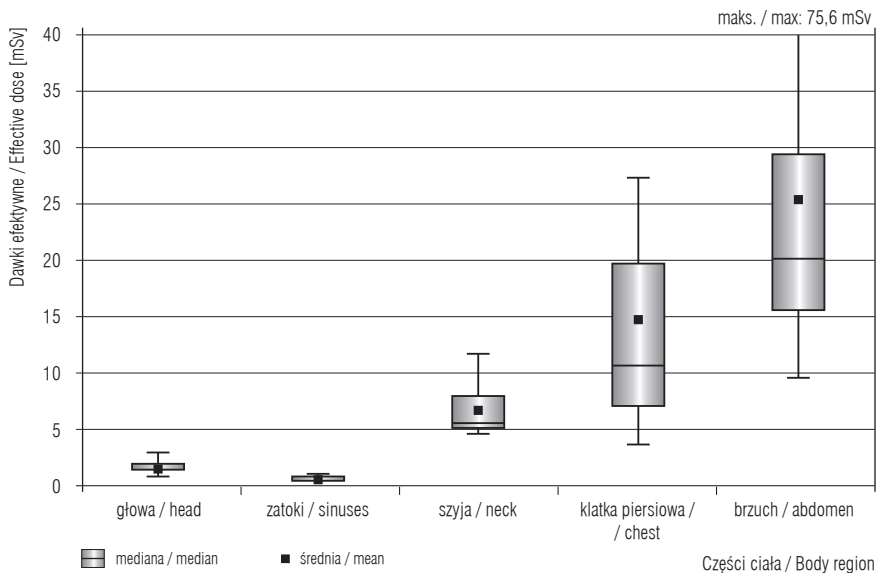
Obszar anatomiczny Body region	$CTDI_{vol}$					DLP				
	M	%CV	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	M	%CV	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
Głowa / Head	76	27	72	77	91	842	29	778	876	917
Zatoki / Sinuses	31	0	31	31	31	348	12	328	346	358
Szyja / Neck	86	69	48	61	103	1 133	36	876	937	1 337
Klatka piersiowa / Chest	61	75	28	53	73	937	55	514	769	1 395
Brzuch / Abdomen	96	87	40	76	163	1 562	76	1 035	1 125	1 737
Kręgosłup / Lumbar spine	58	29	48	61	64	1 353	39	867	1 326	1 776

$CTDI_{vol}$  – objętościowy tomograficzny indeks dawki / volume CT dose index.

DLP – dawka dla całego badania wykonanego na fantomie głowy albo ciała przy zastosowaniu protokołu dla standardowego pacjenta / Dose Length Product.

M – średnia / mean; %CV – współczynnik zmienności / variation coefficient.

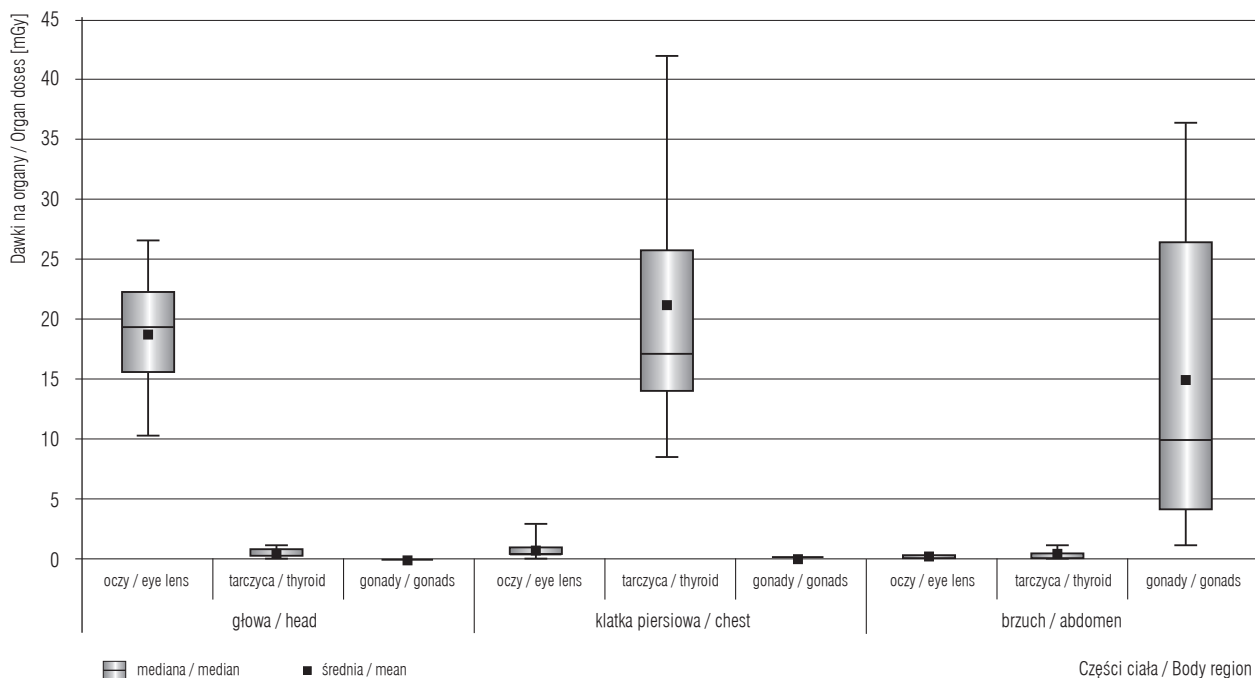
Q<sub>1</sub> – kwartył pierwszy / 1st quartile; Q<sub>2</sub> – kwartył drugi / 2nd quartile; Q<sub>3</sub> – kwartył trzeci / 3rd quartile.



Ryc. 1. Rozkłady dawek efektywnych otrzymywanych przez pacjentów dorosłych w trakcie badań TK  
 Fig. 1. Box plots presenting the effective doses in various CT examinations

których sytuacjach może zastąpić badanie TK, wynosi ok. 0,05 mSv (12), kiedy badanie wykonywane jest w dwóch projekcjach – przedniej i bocznej (PA+LAT), lub 0,02 mSv, kiedy badanie wykonywane jest tylko w projekcji przedniej (PA) (13) (która jest wtedy o co najmniej 260 razy mniejsza niż w TK).

Na rycinie 2. przedstawione zostały dawki otrzymywane przez organy niebędące bezpośrednim celem diagnostycznym badania. Dawki te silnie zależą od rodzaju badania (tj. anatomicznego obszaru badania). Najwyższe dawki na soczewki oczu zmierzone były w trakcie badań głowy i zmieniały się w przedziale 10,6–25,5 mGy



Ryc. 2. Rozkłady dawek na soczewki oczu, tarczycę i gonady w trakcie najczęściej wykonywanych badań TK  
 Fig. 2. Box plots presenting organ doses for head, chest and abdomen CT examinations

z wartością średnią wynoszącą 18,8 mGy. W pozostałych badaniach – tj. badaniu klatki piersiowej i brzucha – średnie dawki na soczewki oczu były znacznie niższe i wynosiły odpowiednio: 1,2 mGy i 0,4 mGy. Najwyższą dawkę w przypadku badania klatki piersiowej, z organów uwzględnionych w pomiarach, otrzymała tarczycza z wartością średnią dawki wynoszącą 21,1 mGy (zakres: 8,7–41,8 mGy), natomiast w przypadku badania brzucha najwyższa wartość dawki zmierzona została na gonadach – wartość średnia dawki wynosiła 15,2 mGy (zakres: 1,5–36,5 mGy).

## OMÓWIENIE

Otrzymane w niniejszym badaniu wartości średnich dawek efektywnych są porównywalne z wynikami opublikowanymi w specjalnym raporcie, który podsumowuje dane literaturowe na temat dawek efektywnych w TK (13). Wyjątek stanowi badanie brzucha, dla którego dawka efektywna otrzymana w niniejszej pracy wynosi 27 mSv (w cytowanym raporcie zakres średnich dawek dla tego badania wynosi 3,5–25 mSv). Jeśli wykluczyć badania wielofazowe, które niektórzy autorzy analizują oddzielnie (14), otrzymana w pracy średnia dawka efektywna dla badania brzucha (20,7 mSv) mieści się w zakresie dawek podanych w raporcie. W przypadku badania głowy i klatki piersiowej zakres dawek obecnych w literaturze według raportu (13) wynosi odpowiednio: 0,9–4,0 mSv i 4,0–18,0 mSv, podczas gdy w niniejszej pracy średnia dawka efektywna wyniosła 1,8 mSv dla badania głowy i 13,1 mSv dla badania klatki piersiowej.

Wyniki dotyczące dawek otrzymywanych przez organy niebędące bezpośrednim celem diagnostycznym, uzyskane w ramach niniejszej pracy dla badania klatki piersiowej, zostały porównane z wynikami badań Nishizawa i wsp. (15). Autorzy jako średnie dawki podali 23,4 mGy dla tarczycy i 0,42 mGy dla soczewek oczu, podczas gdy na gonady wyniosły one 0,12 mGy dla mężczyzn i 0,13 mGy dla kobiet. W badaniach własnych autorów niniejszej publikacji zmierzone dawki wynosiły 21,1 mGy dla tarczycy, 1,2 mGy dla soczewek oczu i 0,09 mGy dla gonad bez podziału na płeć. Różnice w wynikach dla soczewek oczu i gonad mogą być spowodowane tym, że Nishizawa i wsp. wykonywali pomiary na fantomie dla jednej określonej długości skanu, podczas gdy badania z udziałem pacjentów wymagały różnych ustawień długości skanowanego obszaru w zależności od wymiarów ciała pacjenta.

Choć zmierzone w pracy dawki na soczewkę oka w przypadku badań głowy znajdują się w dolnej granicy

dawek podawanych w najbardziej aktualnych badaniach naukowych (20–80 mGy) (8,9,13,16), należy pamiętać, że dawka skumulowana w przypadku wielokrotnie powtarzanych badań może być już wysoka. Może mieć to istotne znaczenie dla zdrowia, w szczególności w przypadku pacjentów pediatrycznych.

## WNIOSKI

W ramach niniejszej pracy zebrano dane dotyczące liczby najczęściej wykonywanych badań tomografii komputerowej u dorosłych pacjentów oraz najczęstszych wskazań klinicznych do jej wykonania. Otrzymane wartości dawek efektywnych i dawek otrzymanych przez przypadkowe organy (niebędące bezpośrednim celem diagnostycznym badania) nawet dla tego samego typu badania świadczą o tym, że dawki w bardzo dużym stopniu zależą od wymiarów ciała pacjenta i techniki skanowania. Oszacowane dawki dla organów są relatywnie wysokie, jeśli porównać je z innymi badaniami rentgenodiagnostycznymi. Mogą one być efektywnie zmniejszone przez zastosowanie odpowiednich osłon na wrażliwe na promieniowanie organy, jeśli ich użycie jest możliwe.

Jeśli weźmie się pod uwagę wyniki dotyczące dawek na soczewki oczu w przypadku badań głowy u pacjentów dorosłych, niezbędne wydaje się przeprowadzenie podobnych pomiarów u pacjentów pediatrycznych. Takie pomiary w połączeniu z badaniami epidemiologicznymi zakreślonymi na szeroką skalę pozwoliłyby ocenić ryzyko wystąpienia zaćmy u dzieci, które poddały się wielokrotnym badaniom głowy.

## PIŚMIENNICTWO

1. International Commission on Radiological Protection: Management patients dose in computer tomography. ICRP Publication 87. Pergamon Press, Oxford 1991
2. UNSCEAR: Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. UN Sales Publication E.00.IX.3. United Nations, New York 2000
3. Ainsbury E.A., Bouffler S.D., Dorr W., Graw J., Muirhead C.R., Edwards A.A. i wsp.: Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat. Res.* 2009;172(1):1–9
4. Shore R.E., Neriishi K., Nakashima E.: Epidemiological Studies of Cataract Risk at Low to Moderate Radiation Doses: (Not) Seeing is Believing. *Radiat. Res.* 2010;174(6):889–894

5. International Commission on Radiological Protection: ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. *Annals of the ICRP* 2012;41(1–2)
6. International Commission on Radiological Protection 1990: Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press, Oxford 1991
7. Sodickson A., Bayens P.F., Andriole K.P., Prevedello L.M., Nawfel R.D., Hanson R. i wsp.: Recurrent CT, cumulative radiation exposure and radiation-associated cancer risks from CT in adults. *Radiology* 2009;251:175–184
8. Bernier M.O., Rehel J.L., Brisse H.J., Wu-Zhou X., Caer-Lorho S., Jacob S. i wsp.: Radiation exposure from CT in early childhood: a French large-scale multicentre study. *Br. J. Radiol.* 2012;85:53–60
9. Michel M., Jacob S., Roger G., Pelosse B., Laurier D., Le Pointe H.D. i wsp.: Eye lens radiation exposure and repeated head CT scans: A problem to keep in mind. *Eur. J. Radiol.* 2012;81(8):1896–900
10. European Commission: European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg 2000
11. Bongartz G., Golding S.J., Jurik A.G., Leonardi M., van Persijn van Meerten E., Rodríguez R. i wsp.: European Guidelines for Multislice Computed Tomography [cytowany 25 października 2012]. Adres: [http://www.msct.eu/CT\\_Quality\\_Criteria.htm](http://www.msct.eu/CT_Quality_Criteria.htm)
12. Båth M., Svalkvist A., von Wrangel A., Rismyhr-Olsson H., Cederblad A.: Effective dose to patient from chest examination with tomosynthesis. *Radiat. Prot. Dosimetry* 2010;139(1–3):153–158
13. Mettler F.A. Jr, Huda W., Yoshizumi T.T., Mahesh M.: Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine. *Radiology* 2008;248(1):254–263
14. Smith-Bindman R., Lipson J., Marcus R., Kim K.P., Mahesh M., Gould R. i wsp.: Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch. Intern. Med.* 2009;169(22):2078–2086
15. Nishizawa K., Shin-Ichiro M., Ohno M., Yanagawa N., Yoshida T., Akahane K. i wsp.: Patient dose estimation for Multi-Detector-Row CT examinations. *Radiat. Prot. Dosimetry* 2008;128:98–105
16. Tracy A. Jaffe T.A., Jenny K., Hoang J.K., Terry T., Yoshizumi T.T. i wsp.: Radiation dose for routine clinical adult brain CT: Variability on different scanners at one institution. *Am. J. Roentgenol.* 2010;195(2):433–438