

# **Analiza czynników determinujących dawkę promieniowania jonizującego podczas wybranych protokołów badawczych metodą tomografii komputerowej**

*Analysis of factors determining ionizing radiation dose during selected computed tomography research protocols.*

**mgr Dominika Sabiniewicz**

## **Streszczenie**

Promieniowanie rentgenowskie ma dobrze poznane i udokumentowane negatywne aspekty oddziaływania na organizmy żywe. Należą do nich zarówno wczesne jak i późne skutki oddziaływania, skutki deterministyczne – przewidywalne, wprost proporcjonalne do wielkości dawki promieniowania jak i skutki stochastyczne – o charakterze losowym niezależnym od wielkości pochłoniętej dawki.

Niezmiernie istotnym aspektem oddziaływania promieniowania na organizmy żywe jest uszkodzenie komórek i tkanek, szczególnie tych o szybkim tempie podziału i wzrostu oraz ryzyko indukowania nowotworów.

Promieniowanie jonizujące jest powszechnie używane w diagnostyce i terapii od dziesięcioleci. Od czasu wprowadzenia w latach 90 –tych wielorzędowej tomografii komputerowej obserwuje się stały wzrost liczby wykonywanych badań. Pomimo rozwoju technologii i istotnej redukcji dawki promieniowania podczas pojedynczego skanowania upowszechnienie tych badań oraz wielokrotne ich powtarzanie sprawia, że stanowią one najistotniejszy wkład w dawkę kolektywną otrzymywaną przez pacjentów spośród wszystkich badań obrazowych stosowanych w medycynie. Dlatego też szczególnego znaczenia nabierają wszelkie działania zmierzające do właściwego monitorowania oraz redukcji dawki promieniowania związanej z badaniami metodą tomografii komputerowej, co stało się inspiracją do podjęcia tych badań.

Na potrzeby niniejszej pracy zajęto się oceną badań klatki piersiowej i jamy brzusznej metodą tomografii komputerowej jako najczęstszych protokołów skanowania. Celem głównym pracy była ocena dawki promieniowania podczas tych badań oraz poszukiwanie

czynników warunkujących dawkę promieniowania zarówno tych zależnych od pacjenta jak i parametrów technicznych badania. Kolejnym celem przeprowadzonej analizy było również poszukiwanie sposobów redukcji dawki promieniowania. Należy mieć na uwadze trudności wynikające z właściwego obliczenia dawek. Nie ma praktycznie możliwości obliczenia rzeczywistej dawki promieniowania otrzymanej przez pacjenta podczas pojedynczego badania. Wszelkie szacowanie dawki opiera się na obliczeniach matematycznych oraz danych uzyskiwanych z fantomów dozymetrycznych i obarczone są błędem pomiaru zależnym od przyjętej metodologii oznaczania.

W pracy dokonano analizy 401 badań metodą tomografii komputerowej. Z analizowanej grupy wyodrębniono 20 badań TK klatki piersiowej wykonanych w protokole niskodawkowym, które z racji ich odrębności poddano osobnej ocenie. Dalszej analizie poddano 381 badań wykonanych w grupie 181 kobiet i 200 mężczyzn. Wiek analizowanej grupy pacjentów wynosił od 21,52 do 92,28 lat (średnia wieku  $61,37 \pm 13,74$  lat). Oceniono 134 badania TK klatki piersiowej (68 badań kobiet i 66 badań mężczyzn) oraz 247 badań TK jamy brzusznej (113 badań kobiet i 134 badania mężczyzn). Dokonano analizy parametrów antropometrycznych badanej grupy pacjentów w tym: wzrostu, wagi, wskaźnika BMI, średnicy wymiaru przednio-tylnego i bocznego największego skanu przekroju poprzecznego pacjenta oraz obliczonej na ich podstawie średnicy rzeczywistej. Spośród parametrów badania tomograficznego oceniono: parametry prądu lampy, długość skanu zarówno topograficznego jak i właściwego, wartości CTDI<sub>vol</sub> i DLP. Wszystkie te wartości są ustawowo podawane w raporcie z każdego badania TK. W oparciu o średnicę efektywną skanu poprzecznego pacjenta obliczono SSDE. Dokonano również obliczeń dawki efektywnej (ED). Dla potrzeb badania wprowadzono nowy parametr DLP<sub>ss</sub> oraz ED<sub>ss</sub> jako parametr zależny od wymiarów pacjenta i urealnijający dawkę promieniowania otrzymaną przez pacjenta. Wszystkich tych obliczeń dokonano osobno dla badania TK klatki piersiowej i jamy brzusznej oraz osobno w grupie kobiet i mężczyzn.

Osobno oceniono długość skanu topograficznego i skanu diagnostycznego. Zarówno długość skanu topograficznego jak i diagnostycznego była większa u mężczyzn niż u kobiet, co wynika z anatomicznych różnic w budowie (statystycznie wyższy wzrost mężczyzn niż kobiet). Dla badania TK klatki piersiowej średnia długość skanu diagnostycznego uległa zwiększeniu w stosunku do skanu topograficznego o  $13,33 \pm 45,76$  mm. Procentowo skan diagnostyczny uległ skróceniu o 27,2% lub wydłużeniu o 36,86%. Oprócz zakresu zmian istotna jest jego skala. Skan diagnostyczny uległ skróceniu w 29,1% wykonanych badań i wydłużeniu aż w 69,4% badań. W badaniu TK jamy brzusznej również długość skany

topograficznego i diagnostycznego była większa u mężczyzn niż u kobiet. Średnia długość skanu diagnostycznego była mniejsza niż skanu topograficznego (średnio o  $11,45 \pm 64,2$  mm). Procentowo skan diagnostyczny uległ skróceniu o 50,58% lub wydłużeniu o 42,89%. Długość skanu diagnostycznego w stosunku do topograficznego uległa skróceniu u 53,8% i wydłużeniu u 45,7% badanych pacjentów.

Na podstawie pomiarów średnicy przednio-tylnej i bocznej największego skanu przekroju poprzecznego pacjenta obliczono średnicę rzeczywistą, która dla badania TK klatki piersiowej wynosiła średnio  $29,92 \pm 3,45$  cm. U 69,9% badanych była ona mniejsza, a u 30,1% większa niż średnica fantomu wzorcowego (32 cm) wykorzystywanego do obliczania dawki promieniowania. Dla badania TK jamy brzusznej średnia wartość średnicy rzeczywistej wynosiła  $29,44 \pm 4,32$  cm. W 73,3% badań TK jamy brzusznej była ona mniejsza, a u 26,7% od średnicy fantomu wzorcowego (32 cm).

Średnie wartości CTDIvol badania TK klatki piersiowej wynosiły dla całej badanej grupy  $7,83 \pm 2,92$  mGy oraz odpowiednio  $7,38 \pm 3,23$  mGy u kobiet i  $8,3 \pm 2,49$  mGy u mężczyzn ( $p < 0,05$ ). Dla badania TK jamy brzusznej wartości te wynosiły odpowiednio:  $11,37 \pm 3,5$  mGy dla całej badanej grupy i  $11,61 \pm 3,37$  mGy u kobiet i  $11,17 \pm 3,61$  mGy u mężczyzn. Różnice pomiędzy wartościami CTDIvol u kobiet i mężczyzn nie były statystycznie istotne. Jak wynika z analizy wartości CTDIvol TK jamy brzusznej były istotnie wyższe zarówno dla całej grupy jak i osobno dla kobiet i mężczyzn w stosunku do badania TK klatki piersiowej.

Porównanie średnich wartości średnicy efektywnej klatki piersiowej i jamy brzusznej nie wykazało istotnych statystycznie różnic zarówno w całej analizowanej grupie pacjentów jak i osobno u kobiet i mężczyzn. Wynika z tego, że wyższe wartości CTDIvol dla badania TK jamy brzusznej niż badania klatki piersiowej wynikają nie z różnicy wymiarów, ale anatomicznej różnicy w budowie tych dwóch obszarów. Jama brzuszna, w której dominują narządy mięsiste w większym stopniu absorbuje promieniowanie niż klatka piersiowa, w której dominują narządy silnie upowietrzone.

Dokonano oceny korelacji wartości CTDIvol z poszczególnymi parametrami antropometrycznymi pacjentów (średnica efektywna, BMI, masa ciała, wymiar przednio-tylny i boczny największego przekroju poprzecznego pacjenta). Najwyższą wartość korelacji uzyskano dla średnicy efektywnej, dlatego też to właśnie ją wykorzystano do odczytania wartości współczynnika konwersji ( $k$  – z raportu Amerykańskiego Stowarzyszenia Fizyków Medycznych AAPM 2011) celem wykonania dalszych obliczeń parametrów szacunkowej dawki zależnej od rozmiaru (*ang. Size Specific Dose Estimate*).

Analiza SSDE jest zalecana przez AAPM do raportowania dawki promieniowania w badaniach TK, jako bliższa wartościom dawki promieniowania otrzymanej przez danego pacjenta. Obliczone wartości SSDE były wyższe od odpowiadających im wartości CTDI<sub>vol</sub> dla badania TK klatki piersiowej o 20% (odpowiednio o 24% u kobiet i o 16% u mężczyzn). Dla badania TK jamy brzusznej wartości te były wyższe o 22% (odpowiednio o 21% u kobiet i o 23% u mężczyzn).

W pracy dokonano oceny DLP (*ang. Dose Length Product*) jako wskaźnika dawki promieniowania całego badania (uwzględniającego długość skanowanego obszaru). Wartości DLP były wyższe dla TK jamy brzusznej ( $514,88 \pm 195,24$  mGy) niż dla badania TK klatki piersiowej ( $286,51 \pm 99,82$  mGy). Prawidłowość ta była stwierdzana w całej grupie oraz osobno w grupie kobiet i mężczyzn.

W celu oceny wartości DLP otrzymanych przez pacjentów, wprowadzono nowy parametr biorący pod uwagę dawkę uwzględniającą wymiary chorego (DLP<sub>ss</sub>). Do jego obliczenia uwzględniono opisywany powyżej współczynnik konwersji (*k*). Porównanie wartości DLP<sub>ss</sub> pomiędzy badaniem TK klatki piersiowej a TK jamy brzusznej wykazało znamienne statystycznie różnice w całej analizowanej grupie oraz osobno dla kobiet i mężczyzn. Wartości DLP<sub>ss</sub> były statystycznie istotnie wyższe dla badania TK jamy brzusznej.

Parametrem określającym stopień narażenia oraz wielkość szkód wywołanych oddziaływaniem promieniowania jest Dawka Efektywna (ED – *ang. Effective Dose*). Do jej obliczenia zastosowano wartości współczynnika rekomendowane przez AAPM Report nr 96, który dla badania TK klatki piersiowej wynosił 0,014 mSv/mGycm, a dla badania TK jamy brzusznej 0,015 mSv/mGycm. Tak obliczone wartości ED wynosiły dla badania klatki piersiowej 4,01 mSv i wykazywały istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kobiet a mężczyzn (3,62 mSv vs 4,4 mSv), a dla badania TK jamy brzusznej 7,72 mSv i nie wykazywały istotnych różnic pomiędzy obiema płciami.

Dysponując pełną bazą danych badań TK wyłoniono pacjentów, u których skanowania były wykonywane wielokrotnie. W analizowanym materiale dotyczyło to 84 pacjentów, u których wykonano od 2 do 15 badań (średnio 3,35 badania/pacjenta). Wartość dawki promieniowania jaką otrzymał pacjent u którego wykonywano badania wielokrotne wyrażona jako DLP wynosiła średnio  $1368,44 \pm 990,1$  mGycm (zakres od 68-5299 mGycm). Wartość ta wzrastała wraz z ilością skanowań, ale w sposób nieproporcjonalny do ich ilości.

Wyniki pracy pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Dawki promieniowania raportowane w protokole badania jako  $CTDI_{vol}$  i DLP są u większości (70%) pacjentów zaniżone w stosunku do rzeczywistych dawek otrzymanych przez pacjenta.
2. Stosowanie parametrów korekcji dawki zależnych od rozmiarów pacjenta powoduje uzyskanie wartości dawek większych o około 20% w stosunku do raportowanych w protokole badania.
3. Parametrem najlepiej korelującym z dawką promieniowania i optymalnym do szacowania dawki zależnej od rozmiarów pacjenta (SSDE) jest średnica rzeczywista przekroju poprzecznego.
4. Wysoka korelacja innych parametrów antropometrycznych (BMI, masa ciała, wymiar LAT i AP) uzasadnia ich zamienne stosowanie do obliczania SSDE.
5. Parametrem badania TK najbardziej wpływającym na dawkę promieniowania jest długość skanu. Jest to jednocześnie parametr najprostszy do modyfikacji.
6. Dawka promieniowania podczas badania TK jamy brzusznej jest istotnie większa niż podczas badania TK klatki piersiowej.
7. Dawka promieniowania podczas badania TK klatki piersiowej mężczyzn jest większa od dawki promieniowania dla kobiet. Nie stwierdzono takiej zależności dla badania TK jamy brzusznej.
8. Parametrem pacjenta wpływającym na dawkę promieniowania jest średnica efektywna przekroju poprzecznego oraz wartość BMI. Wraz ze wzrostem tych wartości rośnie dawka promieniowania.

Słowa kluczowe: tomografia komputerowa, promieniowanie jonizujące, dawki promieniowania, diagnostyka radiologiczna

## Summary

X-rays have well known and documented adverse effects on living organisms. These include both early and late effects, deterministic effects - predictable, directly proportional to the radiation dose and stochastic effects - random in nature independent of the absorbed dose.

An extremely important aspect of radiation impact on living organisms is damage to cells and tissues, particularly those with a rapid rate of division and growth, and the risk of inducing cancer.

Ionizing radiation has been widely used in diagnostics and therapy for decades. Since the introduction of multislice computed tomography in the 1990s, a steady increase in the number of examinations has been observed. Despite the development of technology and significant reduction of radiation dose during a single scan, the widespread use of these examinations and their multiple repetitions make them the most significant contribution to the collective dose received by patients among all imaging examinations used in medicine. Therefore, all activities aiming at proper monitoring and reduction of radiation dose associated with CT examinations are of particular importance, which inspired us to undertake this study.

For the purpose of this study, the evaluation of chest and abdominal CT examinations as the most common scanning protocols was addressed. The main objective of this study was to evaluate the radiation dose during these examinations and to search for factors determining the radiation dose, both those dependent on the patient and technical parameters of the examination. Another aim of the analysis was also to look for ways to reduce the radiation dose. One should keep in mind the difficulties arising from the proper calculation of doses. It is practically impossible to calculate the actual radiation dose received by a patient during a single examination. All dose estimates are based on mathematical calculations and data obtained from dosimetric phantoms and are subject to measurement error depending on the adopted methodology of determination.

In this study, 401 computed tomography examinations were analyzed. From the analyzed group 20 low-dose CT examinations of the chest were extracted, which due to their uniqueness were evaluated separately. Further analysis was performed on 381 examinations performed in a group of 181 women and 200 men. The age of the analyzed group of patients ranged from 21.52 to 92.28 years (mean age  $61.37 \pm 13.74$  years). 134 chest CT examinations were evaluated (68 female and 66 male examinations) and 247 abdominal CT examinations (113 female and 134 male examinations). The anthropometric parameters of the studied group of patients including height, weight, BMI, diameter of the anteroposterior and lateral dimensions of the largest cross-sectional scan of the patient and the actual diameter calculated on their basis were analyzed. Of the CT scan parameters, the following were evaluated: tube current parameters, scan length both topographic and specific, CTDI<sub>vol</sub> and DLP values. All these values are statutorily reported in the report of each CT examination. Based on the effective diameter of the patient's transverse scan, SSDE was calculated. Effective dose (ED) calculations were also performed. A new parameter DLP<sub>ss</sub> was introduced for the study and ED<sub>ss</sub> was introduced as a parameter depending on the patient dimensions and making the radiation dose received by the patient more realistic. All these calculations were performed separately for chest and abdominal CT scans and separately in the male and female groups.

The length of the topographic scan and the diagnostic scan were evaluated separately. Both topographic and diagnostic scan lengths were greater in men than in women due to anatomical

differences in stature (statistically, men were taller than women). For the chest CT scan, the mean length of the diagnostic scan increased over the topographic scan by  $13.33 \pm 45.76$  mm. As a percentage, the diagnostic scan was shortened by 27.2% or lengthened by 36.86%. In addition to the extent of the lesion, the scale of the lesion is important. The diagnostic scan was shortened in 29.1% of the examinations and lengthened in 69.4% of the examinations. In abdominal CT, also the length of topographic and diagnostic scans was greater in men than in women. The mean length of the diagnostic scan was less than that of the topographic scan (mean by  $11.45 \pm 64.2$  mm). As a percentage, the diagnostic scan was shortened by 50.58% or lengthened by 42.89%. The length of the diagnostic scan relative to the topographic scan was shortened in 53.8% and lengthened in 45.7% of the patients studied.

From the measurements of the anteroposterior and lateral diameters of the largest cross-sectional scan of the patient, the actual diameter was calculated, which averaged  $29.92 \pm 3.45$  cm for the chest CT scan. In 69.9% of subjects, it was smaller and in 30.1% it was larger than the diameter of the reference phantom (32 cm) used to calculate the radiation dose. For abdominal CT examination, the mean value of the actual diameter was  $29.44 \pm 4.32$  cm. It was smaller in 73.3% of abdominal CT examinations and in 26.7% it was smaller than the diameter of the reference phantom (32 cm).

The mean CTDI<sub>vol</sub> values of chest CT examination were  $7.83 \pm 2.92$  mGy for the whole study group and  $7.38 \pm 3.23$  mGy in women and  $8.3 \pm 2.49$  mGy in men, respectively ( $p < 0.05$ ). For abdominal CT scan, these values were respectively:  $11.37 \pm 3.5$  mGy for the whole study group and  $11.61 \pm 3.37$  mGy in women and  $11.17 \pm 3.61$  mGy in men. The differences between CTDI<sub>vol</sub> values in women and men were not statistically significant. As can be seen from the analysis, CTDI<sub>vol</sub> values of abdominal CT were significantly higher both for the whole group and separately for women and men compared with chest CT.

Comparison of the mean values of thoracic and abdominal effective diameters showed no statistically significant differences both for the whole analyzed group of patients and separately for women and men. This suggests that the higher CTDI<sub>vol</sub> values for the abdominal CT scan than for the thoracic scan are due not to the difference in dimensions but to the anatomical difference in the structure of these two areas. The abdomen, which is dominated by parenchymal organs, absorbs radiation to a greater extent than the chest, which is dominated by highly aerated organs.

The correlation of CTDI<sub>vol</sub> values with individual anthropometric parameters of the patients (effective diameter, BMI, body weight, anterior-posterior and lateral dimensions of the patient's largest cross-sectional area) was evaluated. The highest correlation value was obtained for the effective diameter; therefore, it was used to read the conversion factor value (k - from the American Association of Medical Physicists AAPM 2011 report) for further calculations of Size Specific Dose Estimate parameters.

SSDE analysis is recommended by the AAPM for reporting radiation dose in CT examinations, as it is closer to the radiation dose values received by a given patient. The calculated SSDE values were 20% higher than the corresponding CTDI<sub>vol</sub> values for the chest CT scan (24% higher in women and 16% higher in men, respectively). For abdominal CT, the values were 22% higher (21% higher in women and 23% higher in men, respectively).

In this study, DLP (Dose Length Product) was evaluated as the radiation dose index of the whole examination (taking into account the length of the scanned area). DLP values were higher

for abdominal CT ( $514.88 \pm 195.24$  mGy) than for chest CT ( $286.51 \pm 99.82$  mGy). This regularity was found in the whole group and in the male and female groups separately.

In order to evaluate the DLP values obtained by the patients, a new parameter was introduced taking into account the dose considering the patient's dimensions (DLPss). For its calculation, the conversion factor (k) described above was taken into account. Comparison of DLPss values between chest and abdominal CT examinations showed statistically significant differences in the whole analyzed group and separately for women and men. DLPss values were statistically significantly higher for abdominal CT examination.

Effective Dose (ED) is a parameter determining the level of exposure and radiation damage. For its calculation the coefficient recommended by AAPM Report No. 96 was used, which for chest CT was 0.014 mSv/mGycm, and for abdominal CT - 0.015 mSv/mGycm. The ED values calculated in this way were 4.01 mSv for the chest scan and showed statistically significant differences between the male and female groups (3.62 mSv vs. 4.4 mSv), and 7.72 mSv for the abdominal CT scan and showed no significant differences between the two genders.

With a complete database of CT examinations, patients in whom scans were performed repeatedly were selected. In the analyzed material, this concerned 84 patients who underwent from 2 to 15 examinations (mean 3.35 examinations/patient). The radiation dose received by patients with multiple scans expressed as DLP was  $1368.44 \pm 990.1$  mGycm on average (range 68-5299 mGycm). This value increased with the number of scans, but in a manner disproportionate to their number.

The results of the study led to the following conclusions:

1. radiation doses reported in the study protocol as CTDIvol and DLP are underestimated in the majority (70%) of patients in relation to the actual doses received by the patient.
2. The use of size-dependent dose correction parameters results in dose values approximately 20% higher than those reported in the study protocol.
3. The parameter best correlating with radiation dose and optimal for estimating SSDE is true cross-sectional diameter.
4. High correlation of other anthropometric parameters (BMI, body mass, LAT and AP dimension) justifies their interchangeable use for SSDE calculation.
5. the parameter of CT examination most affecting the radiation dose is scan length. It is also the easiest parameter to modify.
6. Radiation dose during abdominal CT is significantly higher than during thoracic CT.
7. radiation dose during chest CT examination of men is higher than for women. No such relationship was found for abdominal CT.
8. patient parameter influencing radiation dose is effective cross-sectional diameter and BMI value. As these values increase, the radiation dose increases.

Key words: computed tomography, ionizing radiation, radiation doses, radiological diagnostics