

Prof. dr hab. n. med. Jacek Kusa
Katedra i Klinika Kardiologii Dziecięcej
Wydział Nauk Medycznych w Katowicach
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Katowice, dn. 30.05.2022

Recenzja pracy doktorskiej mgr Dominiki Sabiniewicz pt: *„Analiza czynników determinujących dawkę promieniowania jonizującego podczas wybranych protokołów badawczych metodą tomografii komputerowej”*.

Przesłana do recenzji rozprawa doktorska porusza bardzo istotny problem ochrony radiologicznej podczas medycznych badań diagnostycznych. Promieniowanie rentgenowskie znalazło szerokie zastosowanie zarówno w badaniach obrazowych jak i w monitorowaniu procedur terapeutycznych. Zastosowanie promieniowania X istotnie zmieniło współczesną medycynę. Mając na uwadze korzyści płynące z wykorzystania promieniowania X w medycynie nie można jednak zapomnieć o negatywnych skutkach oddziaływania tego promieniowania na organizmy żywe. We wstępie do swojej pracy Doktorantka szczegółowo opisała negatywne skutki oddziaływania promieniowania zarówno wczesne jak i późne oraz deterministyczne i stochastyczne.

Za temat swojej pracy doktorantka wybrała badania metodą tomografii komputerowej obecnie jedne z częściej wykonywanych obrazowych badań radiologicznych. W dalszej części wstępu doktorantka szczegółowo opisuje zasady działania tomografii komputerowej i poszczególne fazy badania. Najistotniejszą częścią wstępu są rozdziały opisujące parametry określające dawkę promieniowania oraz trudności w szacowaniu dawki promieniowania. Jak słusznie opisuje doktorantka realne obliczenie dawki promieniowania jest technicznie niemożliwe, a jej szacowanie odbywa się w oparciu o wyliczenia i wzory matematyczne. Ta

Dzickanat Wydziału Nauk o Zdrowiu

Wpł. dnia 07.06.2022 r.

Nr-DNZ/

część jest wysoce specjalistyczna i rozbudowana, ale jak rozumiem wynika to ze specyfiki podjętych badań i jest kluczowe dla wyboru optymalnej metody szacowania dawki promieniowania. W kolejnej części wstępu szczegółowo omówione są metody redukcji dawki promieniowania podczas badań metodą tomografii komputerowej.

Celem pracy była analiza dawki promieniowania podczas badań tomograficznych jamy brzusznej i klatki piersiowej wykonanych w pracowni tomografii komputerowej Zakładu Radiologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego w latach 2019 do 2020 z wykorzystaniem skanera firmy Siemens SOMATOM Definition Flash. Szczegółowe cele pracy zostały sformułowane w sposób logiczny i poprawny.

Metodyka pracy jest poprawna i opisana w sposób jasny i zrozumiały. Analizowany materiał (401 badań metodą Tomografii Komputerowej) jest wystarczający do uzyskania wiarygodnych statystycznie wyników. Pozytywnym aspektem analizowanego materiału jest porównywalna grupa badań wykonanych u kobiet i mężczyzn. Uważam za słuszne wyodrębnienie badań niskodawkowych i ich osobną analizę, co wynika ze specyfiki tych badań i ich odrębnego charakteru.

Szkoda, że analizowaną grupę stanowili jedynie pacjenci dorośli (średnia wieku $61,37 \pm 13,74$ lat) i nie uwzględniono w niej pacjentów w wieku pediatrycznym. Jako lekarz pediatra na co dzień wykonujący zabiegi z zakresu kardiologii interwencyjnej z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego jestem ciekaw, ile wynoszą dawki promieniowania podczas badań wykonywanych u dzieci. Namawiam do kontynuowania badań w tej grupie wiekowej. W wynikach swojej pracy doktorantka dokonała podziału analizowanych badań na badania TK klatki piersiowej i jamy brzusznej oraz ze względu na płeć i parametry antropometryczne (wzrost, masa ciała i BMI) pacjentów).

Bardzo ciekawe jest porównanie długości skanu topograficznego, który stanowi wstęp do badania z długością skanu właściwego (diagnostycznego). Doktorantka dociekliwie poszukuje czynników determinujących te wartości, gdyż słusznie to właśnie w długości skanów upatruje główne możliwości redukcji dawki promieniowania. Precyzyjny dobór długości skanu w zależności od celu badania i regionu zainteresowania może istotnie obniżyć dawkę promieniowania. Interesujące byłoby porównanie długości skanów z wskazaniami klinicznymi do wykonania badania, ale jak sama stwierdziła ocena taka wykracza poza zakres jej kompetencji zawodowych.

W dalszej części wyników swojej pracy doktorantka prezentuje dane dotyczące średnicy badanego obszaru. Promieniowanie rentgenowskie przenika przez całą średnicę badanego obszaru i ulega w nim osłabieniu, a tkanki absorbują to promieniowanie. W związku z tym średnica skanowanego obszaru wydaje się kolejnym po długości skanu parametrem determinującym dawkę promieniowania. Niestety średnica badanego obszaru wynikająca z rozmiarów pacjenta jest parametrem niemodyfikowanym, na który osoby wykonujące badanie nie mają wpływu. Jak szczegółowo opisano we wstępie pracy średnica efektywna jest parametrem uwzględnianym do oceny dawki promieniowania. Średnica efektywna obliczana jest dla fantomu wzorcowego (32 cm). Jak przedstawiono w wynikach pracy średnica efektywna dla badania TK klatki piersiowej w całej analizowanej grupie wynosiła średnio: $29,92 \pm 3,45$ cm (22,2-38,94 cm). Dla kobiet odpowiednio: $28,74 \pm 3,43$ cm (22,2-38,94 cm), dla mężczyzn $31,13 \pm 3,05$ cm (24,9-36,81 cm). Pomimo, że średnie wymiary niewiele odbiegały od średnicy fantomu wzorcowego to jednak odsetek pacjentów, u których wymiary różniły się od średnicy fantomu wzorcowego używanego do obliczania dawki promieniowania był istotny. W 69,9% badań TK klatki piersiowej średnica efektywna była mniejsza niż 32 cm, a u 30,1% badanych była ona większa od tej wartości. Dla badania TK jamy brzusznej wartości te wynosiły odpowiednio: 73,3% badań średnica efektywna była mniejsza niż 32 cm, a u 26,7% badanych była większa od tej wartości. Porównując te wartości uzyskano informację, że wśród pacjentów poddanych badaniom TK klatki piersiowej wartość średnicy rzeczywistej klatki piersiowej była poniżej wartości 32 cm u 69,9% badanych, a dla TK jamy brzusznej u 73,3% badanych. Natomiast średnica rzeczywista klatki piersiowej większa od 32 cm obserwowana była u 30,1% pacjentów poddanych badaniom TK klatki piersiowej i 26,7% chorych, u których skanowano jamę brzuszną. Oznacza to, że u takiego odsetka pacjentów wartości te były źle oszacowane. Dla pacjentów o najmniejszej średnicy rzeczywistej u których wykonana badanie TK klatki piersiowej doszło do zaniżenia wartości $CTDI_{vol}$ o 30,63%. Jednocześnie, dla pacjenta z najwyższą średnicą rzeczywistą wartość $CTDI_{vol}$ jest zawyżona aż o 21,68%. Równie istotna jak zakres zaniżenia lub zawyżenia wartości $CTDI_{vol}$ jest ilość badań, których ten problem dotyczy. W badaniu TK klatki piersiowej aż u 69,9% pacjentów średnica efektywna była mniejsza niż 32 cm (średnica fantomu wzorcowego), a dla badania jamy brzusznej odsetek ten sięgał aż 73,3%.

W grupie pacjentów u których wykonano badanie TK jamy brzusznej dla pacjenta

o najmniejszej średnicy rzeczywistej oznacza to zaniżenie wartości $CTDI_{vol}$ o 33,94%. Jednocześnie, dla pacjenta z najwyższą średnicą rzeczywistą wartość $CTDI_{vol}$ jest zawyżona aż o 28,5%. W związku z tym, pacjent o najmniejszej średnicy efektywnej otrzymał w rzeczywistości o 33,94% większą dawkę $CTDI_{vol}$ niż ta raportowana w protokole badania. W badaniu TK klatki piersiowej aż u 69,9%, pacjentów średnica efektywna była mniejsza niż 32 cm (średnica fantomu wzorcowego), a dla badania jamy brzusznej odsetek ten sięgał aż 73,3%. Oznacza to, że aż u tylu pacjentów wartość pomiaru dawki promieniowania była niedoszacowana.

Przeprowadzona analiza porównawcza innych parametrów antropometrycznych ze średnicą efektywną wykazała ich wysoką korelację i potencjalną możliwość wykorzystania do obliczania dawek promieniowania uwzględniających rozmiary pacjenta. Zastąpienie średnicy efektywnej (której jak pisze autorka obliczenie jest pracochłonne i obciążone błędem pomiarów) łatwo obliczalną wartością BMI który to parametr wykazywał najwyższą korelację z średnicą efektywną byłoby znacznym uproszczeniem przeprowadzanych obliczeń.

Zależność pomiarów dawki promieniowania od rozmiarów pacjenta w pełni uzasadnia stosowanie parametrów dawki uwzględniających rozmiary pacjenta. Takim parametrem jest SSDE (*ang. Size-Specific Dose Estimate*), który można tłumaczyć jako zależne od rozmiaru szacowanie dawki pacjenta. SSDE jest iloczynem $CTDI_{vol}$ oraz współczynnika konwersji k wyliczanego w oparciu o któryś z parametrów antropometrycznych. Wiele badań oceniało walidację, optymalizację i upraszczanie metod wyznaczania SSDE. Wykazano w nich najwyższą przydatność średnicy efektywnej do obliczania wartości współczynnika konwersji i te właśnie parametr Doktorantka zastosowała w swojej pracy. Jednak w dyskusji rzetelnie przedstawiła alternatywne metody obliczania dawki efektywnej, ich zalety i wady oraz problemy techniczne napotykanne podczas ich stosowania.

Aktualnie $CTDI_{vol}$ i DLP są powszechnie używanymi i prawnie zatwierdzonymi parametrami oceny dawki promieniowania podczas badania tomograficznego. Muszą być one raportowane w każdym protokole badania, dlatego też są łatwo dostępne. Jednak oba te parametry posiadają istotne mankamenty.

$CTDI_{vol}$ odzwierciedla dawkę tylko dla pojedynczego skanu, a nie całego badania i jest dawką nie dla konkretnego pacjenta, a dla tzw. fantomu wzorcowego. Wszelkie odchylenia wymiarów przekroju pacjenta od parametrów fantomu wzorcowego przekładają się na odchylenia

raportowanej wartości $CTDI_{vol}$.

Drugi z parametrów- DLP- ocenia dawkę dla całego badania. Z matematycznego punktu widzenia jest on iloczynem $CTDI_{vol}$ i długości skanu. Jednak tak samo jak $CTDI_{vol}$ którego jest pochodną nie uwzględnia on rzeczywistych, indywidualnych rozmiarów pacjenta.

Analiza prezentowanego materiału wykazała istotne statystycznie różnice dawki promieniowania podczas badań TK klatki piersiowej i jamy brzusznej wyrażonych jako $CTDI_{vol}$. Większe dawki promieniowania podczas badania TK jamy brzusznej wynikały z innej budowy anatomicznej badanych obszarów. Jama brzuszna jako obszar o większej zawartości narządów mięsistych w większym stopniu niż klatka piersiowa absorbuje promienie rentgenowskie w porównaniu z klatką piersiową, która zawiera większą ilość narządów powietrznych (płuca i drogi oddechowe) mniej absorbujących promieniowanie.

Również dawka promieniowania wyrażona jako DLP była wyższa dla badania TK jamy brzusznej niż TK klatki piersiowej (w całej badanej grupie jak i osobno w grupie kobiet i mężczyzn) co wynika z przytoczonych wcześniej różnic w budowie anatomicznej obu obszarów jak i różnic w długości skanowanych obszarów (długość skanu jamy brzusznej była większa od długości skanu klatki piersiowej (400,33 mm. vs 474,28 mm.)) Jednocześnie wykazano statystycznie istotnie wyższe wartości DLP dla badania TK klatki piersiowej u mężczyzn niż u kobiet. Zależności takiej nie stwierdzono dla badania TK jamy brzusznej.

Autorka na potrzeby niniejszej pracy wprowadziła nowy parametr całkowitej dawki promieniowania otrzymanej przez jednostkowego pacjenta uwzględniający zarówno długość skanowania jak i wymiary przekroju poprzecznego (DLP_{ss}). Taką samą korektę o współczynnik zależny od wymiarów przekroju poprzecznego pacjenta zastosowała Autorka dla dawki efektywnej (ED) wprowadzając parametr ED_{ss} . Wartości DLP_{ss} były wyższe niż raportowane w protokole badania wartości DLP. Zgodnie z przeprowadzonymi wyliczeniami, wartości dawki efektywnej zależnej od rozmiarów pacjenta (ED_{ss}) były wyższe w porównaniu do dawki efektywnej (ED): dla badania TK klatki piersiowej o 20% (odpowiednio u kobiet o 24% i u mężczyzn o 16%), a dla badania TK jamy brzusznej różnice te wynosiły 22% (21% u kobiet i 23% u mężczyzn). Jak słusznie zauważa autorka powszechne stosowanie parametrów korekcji dawki zależnych od rozmiarów pacjenta urealniałyby rzeczywistą dawkę promieniowania otrzymaną podczas badania.

Ciekawym aspektem pracy jest analiza badań wykonywanych wielokrotnie u tych

samych pacjentów. Badania te służą najczęściej do monitorowania wyników leczenia już rozpoznanych zmian. Dokonana przez Doktorantkę analiza badań wielokrotnych wykazała skalę tego zjawiska. Liczba badań wielokrotnych wynosiła od 2 do 15 u jednego pacjenta. Jak w dyskusji opisuje autorka dane dotyczą tylko jednej pracowni badań TK, co sprawia, że skala wykonywanych badań wielokrotnych może być jeszcze większa co niesie za sobą kumulację otrzymanej dawki promieniowania. Wartość dawki promieniowania jaką otrzymywali chorzy, u których wykonano badania wielokrotne (wyrażone jako DLP) wyniosły średnio $1368,44 \pm 990,1$ mGycm. (od 68 do 5299 mGycm). Kumulacyjna dawka promieniowania jaką otrzymuje pacjent zbliża się do wartości w których występują już ewidentne oddziaływania niekorzystne promieniowania rentgenowskiego. Doktorantka postuluje w swojej pracy ograniczenie ilości wykonywanych badań wielokrotnych, zastępowanie ich innymi badaniami bez wykorzystania promieniowania rentgenowskiego (np. USG, MRI) lub ograniczenie obszaru tych badań do obszaru zainteresowania zdefiniowanego w poprzednich badaniach.

Pracę kończy bardzo ciekawa dyskusja, w której zacytowano aż 223 pozycje poprawnie dobranego piśmiennictwa. Dyskusja pokazuje, że problem szacowania, monitorowania i redukcji dawki promieniowania jest istotny i dotyczy wielu krajów o różnym poziomie opieki medycznej. Autorka w dyskusji analizuje otrzymane wyniki i porównuje je z wynikami innych publikacji dotyczących tego zagadnienia. Dyskusję kończy 8 poprawnie sformułowanych wniosków, które korespondują z wytyczonymi celami pracy.

Praca napisana jest poprawnym językiem, nie dopatryłem się w niej istotnych błędów. Wzbogaceniem pracy ułatwiającym zrozumienie analizowanych parametrów jest trzynaście rycin oraz 23 tabele w których autorka zbiorczo prezentuje wyniki pracy.

Praca stanowi cenne źródło rzetelnej informacji dla lekarzy wykonujących zabiegi diagnostyczne i terapeutyczne z wykorzystaniem promieniowania X na temat zasad pomiarów dawki promieniowania i możliwości jego redukcji.

Uważam, że wskazane byłoby kontynuowanie badań dotyczących monitorowania dawki promieniowania i metod jego redukcji podczas innych niż tomografia komputerowa badań diagnostycznych i procedur terapeutycznych, gdzie potencjalne możliwości redukcji dawki wydają się jeszcze większe. Z mojego doświadczenia wynika, że zwłaszcza podczas zabiegów terapeutycznych zakres modyfikowalnych czynników determinujących dawkę wydaje się znacznie większy niż podczas analizowanych przez autorkę badań metodą TK

(czas skopii rentgenowskiej vs czas archiwizacji danych (angiografia), częstotliwość nagrań (ilość klatek na sekundę, odległość lampy Rtg od pacjenta, projekcje, modyfikacja dawki promieniowania podczas wybranych (wymagających mniejszej szczegółowości) etapów badania itp. Mając na uwadze wysoką wiedzę autorki i doświadczenie w tym zagadnieniu gorąco namawiam do kontynuowania prac naukowych w tym kierunku.

Podsumowując: praca jest rzetelnym przedstawieniem analizowanego problemu – metod oceny i potencjalnej redukcji dawki promieniowanie rentgenowskiego podczas wybranych dwóch protokołów badania metodą tomografii komputerowej (TK klatki piersiowej i jamy brzusznej). Praca świadczy o wysokich umiejętnościach autorki oraz zdolności do samodzielnego stawiania celów pracy naukowej, opracowania materiału i metodyki pracy oraz przygotowania wyników i ich analizy. Praca mgr Dominiki Sabiniewicz pt: „Analiza czynników determinujących dawkę promieniowania jonizującego podczas wybranych protokołów badawczych metodą tomografii komputerowej” spełnia wszelkie kryteria prawne stawiane pracom na stopień doktora nauk o zdrowiu (art. 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki- Dz.U. 2003.65.595. z póź. zm) W związku z tym wnoszę do Rady Dyscypliny Nauk o Zdrowiu Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego o dopuszczenie mgr Dominiki Sabiniewicz do dalszych etapów przewodu doktorskiego, jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie tej Rozprawy.

Katowice, dn. 30/05/2022

Joanna Kers