

Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr. Bartosza Kiełtyki zatytułowanej
Weryfikacja zaplanowanej dawki promieniowania jonizującego na granicy ośrodków tkanka-
endoproteza stawu biodrowego podczas radioterapii

Niniejsza recenzja jest drugą z kolei recenzją omawianej rozprawy doktorskiej pana mgr. Bartosza Kiełtyki. Powodem przygotowania nowej recenzji była konieczność poprawienia części pracy dotyczącej metodyki pomiarów dawki z wykorzystaniem detektorów termoluminescencyjnych (TL) i oceny niepewności tych pomiarów. Poniżej powtórzę najważniejsze punkty tej recenzji, z uwzględnieniem zmienionych fragmentów pracy, dotyczących pomiarów dawki detektorami TL.

- 1) Praca doktorska pana mgr. Bartosza Kiełtyki dotyczy ważnego problemu weryfikacji dawki na granicy ośrodków dla coraz częściej stosowanych protez stawu biodrowego. Lepsza znajomość tej dawki da możliwość podejmowania bardziej świadomych decyzji terapeutycznych, szczególnie w nietypowych przypadkach. Praca powstała pod kierunkiem pana prof. Jana Stanka z Uniwersytetu Jagiellońskiego i pana dr Kamila Kisielewicz z Narodowego Instytutu Onkologii. Dużą wartością pracy jest użycie zarówno metod obliczeniowych, jak i też ich eksperymentalna weryfikacja.
- 2) Rozprawa ma klasyczny układ i zawiera wszelkie elementy, na które zwyczajowo podzielona jest rozprawa doktorska tzn. cel pracy, wprowadzenie, część teoretyczną, materiał i metody, wyniki, dyskusję oraz wnioski. Pracę kończą słownik pojęć i skrótów oraz bibliografia. Część teoretyczna pracy jest dość obszerna i obejmuje rozdziały od 3 do 7. Część teoretyczna jest napisana przejrzysto, poprawna polszczyzną, na ogół z wykorzystaniem właściwej terminologii a nieliczne uchybienia redakcyjne i terminologiczne zebrane są na końcu recenzji. Część teoretyczna obejmuje zagadnienia dotyczące oddziaływania promieniowania z materią, wielkości stosowane w dozymetrii, skutki radiobiologiczne, procedury radioterapii i dozymetrię promieniowania jonizującego, obejmujący pomiar komorami jonizującymi i detektorami TL. Autor zdecydował się na oddzielenie rozdziałów dotyczących wielkości dozymetrycznych i dozymetrii promieniowania jonizującego. Również część informacji o rozkładach głębokościowych dawek znajduje się w rozdziale dotyczącym radioterapii.
- 3) Realizacja celu pracy składała się z trzech zasadniczych etapów: (i) przygotowania fantomu stawu biodrowego z detektorami TL, (ii) wykonania obliczeń dawki w miejscu umieszczenia detektorów przy zastosowaniu Anizotropowego Algorytmu Analitycznego, wbudowanego do systemu planowania leczenia Eclipse i (iii) przeprowadzenie pomiaru dawki na granicy ośrodków w stawie biodrowym przy wykorzystaniu detektorów termoluminescencyjnych MTS-N
- (i) Słowa uznania należą się Autorowi pracy za zaprojektowanie i wykonanie fantomu panewki stawu biodrowego. Odrzucił on możliwość użycia naturalnej ludzkiej kości miedniczej pochodzącej z badań archeologicznych, ze względu na jej demineralizację. Przy budowie sztucznej panewki stawu biodrowego, sporu wysiłku zostało poświęcone zarówno doborowi materiału o odpowiednim składzie atomowym zbliżonym do tkanki, ale przede wszystkim zachowaniu kształtu panewki i odpowiedniej geometrii pomiaru. Zaprojektowano także statyw, utrzymujący i stabilizujący kość miedniczą. Dzięki licznym elementom regulacyjnym

można statyw ten wykorzystać w eksperymentach przy dowolnych kształtach i rodzajach kości. Na powierzchni panewki stawu biodrowego przygotowanych zostało 65 gniazd na detektory termoluminescencyjne (TL) MTS-N o średnicy 4.5 mm i grubości 0.9 mm. Ostatecznie, poprzez złożenie kilku elementów takich jak fantom wodny, statyw, sztuczna kość oraz endoproteza, przygotowano zaawansowany układ, umożliwiający dobrą symulację rzeczywistych warunków napromieniania np. nowotworu prostaty. Skany tomografii komputerowej, potrzebne do wyznaczenia rozkładu 3D współczynnika osłabienia, wykonano przy pomocy skanera SOMAON Definition AS firmy Siemens. Skan został wykonany z załadowanymi detektorami TL, aby uwzględnić ich obecność w pochłanianiu wiązki z akceleratora. Ponieważ endoproteza stawu biodrowego wykonana jest z elementów metalowych, przy analizie zastosowano odpowiedni algorytm redukcji artefaktów powstających od takich elementów.

- (ii) Obliczenia dawki w miejscu umieszczenia detektorów TL przeprowadzono z wykorzystaniem Anizotropowego Algorytmu Analitycznego. Algorytm ten jest algorytmem semi-analitycznym, w którym model źródła wiązki fotonów podzielony jest na zbiór wąskich wiązek ołówkowych, których oddziaływanie rozważa się niezależnie. Obliczenia dawki prowadzi się poprzez spłot funkcji określających fluencję fotonów oraz funkcji opisujących absorpcję składowych wiązek monoenergetycznych. Technicznie, obliczenia dawki było prowadzone w systemie planowania leczenia Eclipse, obrysowując miejsca umieszczenia detektorów, a odchylenie standardowe wartości dawki obliczano jako odchylenie dawki obliczonej dla wszystkich wokseli wchodzących w skład obrysowanego detektora. Jak zasygnalizowano w dyskusji wyników, przy planowaniu leczenia z uwzględnieniem
- (iii) Właściwym pomiarem wykonanym w pracy jest pomiar dawki z wykorzystaniem detektorów termoluminescencyjnych. Procedura pomiaru zastosowana w pracy była w znacznej prawidłowa. Detektory TL MTS-N zostały preselekcjonowane (na wagę) celem ujednolicenia czułości. Detektory zostały ponumerowane i przygotowane do pomiarów poprzez anilację w temperaturze 400 C (2h) i 100 C (1h), zgodnie z rekomendacją podaną w literaturze. Następnie kalibrację przeprowadzono w fantomie PMMA, odrębnie dla obu stosowanych wiązek 6MV i 18 MV. Odczyt przeprowadzono w czytniku TL Lexysmart, umożliwiającym automatyczne odczytanie grupy 40 detektorów umieszczonych w specjalnym pojemniku. Całą procedurę powtórzono 8 razy dla wiązek 6 MV i 6 razy dla wiązek 18 MV.

W pracy założono (powołując się na literaturę), że zależność sygnału TL od dawki jest liniowa do dawki ok. 5 Gy. Na potwierdzenie tej tezy przedstawiono m.in. przykładową krzywą kalibracji dla dawek 0.5, 1.0 i 2.0 Gy (Rys.43). Rzeczywiście, w tym obszarze dawek założenie to jest poprawne, choć nadliniowość odpowiedzi dawkowej zależy od zakresu temperatur wygrzewania detektora. Całkowitą niepewność pomiaru dawki oceniono na 4.2%, co jest w praktyce pomiarowej możliwe do osiągnięcia.

W dyskusji Autor przeanalizował otrzymane wyniki, biorąc pod uwagę zarówno parametry pierwotnych wiązek fotonowych, jak też ich zanieczyszczenie wtórnymi elektronami generowanymi w głowicy akceleratora. Ciekawym byłoby eksperymentalne potwierdzenie rozkładu dawki obliczonej w referencji [4] (Rys. 44) choć wymagałoby to dedykowanego eksperymentu. Autor podnosi w dyskusji zalety obliczeń Monte Carlo, co dodatkowo umożliwiłoby wzięcie pod uwagę wpływu kilkudziesięciu detektorów TL umieszczonych na powierzchni fantomu.

Uwagi redakcyjne i terminologiczne

Oprócz uwag redakcyjnych, przedstawionych w poprzedniej recenzji i nie powtarzanych tutaj, chciałbym zasygnalizować następujące uchybienia redakcyjne:

Bardzo często Autor nie decyduje się oddzielić pauzą wartości parametru od jednostki, ale czasami to robi np. na str. 16 jest spacja między 100 keV ale nie ma przy 1,25MV. Generalnie prawidłowym podejściem jest zastosowanie spacji.

Str 17 spowodje -> spowoduje

Str 24 „.... sposób pochłaniania dawki” -> mówimy raczej o pochłanianiu energii

Str. 25 „Różne wartości LET mają swój skutek w wartości RBE” -> Różne wartości LET mają wpływ na wartości RBE

Str. 58 Maria Skłodowska-Curie badała termoluminescencję fluorytów, czyli minerałów zawierających fluorek wapnia, ale nie czystego chemicznie CaF_2 . Zjawiska TL występują głównie w obecności domieszek.

Str. 58 indykują -> indukują

Str 58 w takcie -> w trakcie

Str. 60 krzywa wyświecana -> krzywa wyświecania

Str 60 wykazują one liniowa -> wykazują one liniową

Str 7, 62 – fotony nie mają energii 6 MV czy 18 MV tylko elektrony są przyspieszane w polu o potencjale 6 MV (18 MV) i produkują promieniowanie hamowania.

Te uwagi redakcyjne nie wpływają na bardzo pozytywną ocenę ostatecznej wersji pracy.

Podsumowanie

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska podejmuje ważny temat wyznaczania dawek w radioterapii fotonowej na granicach implantów i protez, które podczas radioterapii znalazły się w polu promieniowania. Jednym z powodów podjęcia pracy jest mała wiarygodność skanów tomografii komputerowej w obecności implantów, co przekłada się na niepewność wyznaczenia dawki w systemie planowania leczenia. Dla zbadania tego efektu Autor zbudował zaawansowany fantom kości miednicy, przeprowadził pomiary dawek na granicy ośrodków z wykorzystaniem detektorów TL i porównał je do wyników obliczeń z algorytmem zaimplementowanym do systemu planowania leczenia. Szczególnie istotne było pokazanie, że dla wiązki z akceleratora o potencjale przyspieszającym 18 MV, TPS zaniża średnio dawkę rzeczywistą o ok. 10%, co nie jest sprzeczne z wynikami prac innych autorów. Wysoko oceniam wartość przedstawionej rozprawy doktorskiej i uważam wnoszą ona trwały wkład w rozwój fizyki medycznej. Autor w pełni zrealizował cele postawione w pracy a wymienione w recenzji uwagi nie naruszają zasadniczych wyników pracy. Uważam, że recenzowana rozprawa spełnia wszelkie wymagania formalne i zwyczajowe stawiane dysertacjom na stopień doktora nauk fizycznych, w szczególności kryteria stawiane kandydatom w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882). Dlatego wnioskuję o dopuszczenie pana magistra Bartosza Kiełtykę do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

prof. dr hab. Paweł Olko
Kraków, 5 października 2021 roku

