

Warszawa, dnia 29.06.2021 r.

Dr hab. inż. Sławomir Wronka
Profesor NCBJ

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Ul. A.Soltana 7
05-400 Otwock

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY NAUKOWEJ
NARODOWEGO INSTYTUTU ONKOLOGII
im. MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE

Tytuł rozprawy: Ocena systemu dozymetrycznego IQM (Integral Quality Monitor)
do kontroli jakości realizacji technik dynamicznych stosowanych
w teleradioterapii.

Autor rozprawy: mgr Przemysław Janiak

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Naukowej oraz pismo Koordynatora ds. przewodów doktorskich Rady Naukowej Narodowego Instytutu Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie – Państwowego Instytutu Badawczego z dnia 29 kwietnia 2021r w tej sprawie.

1. Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy.

Przedstawiona rozprawa dotyczy przebadania pod kątem stosowania w dozymetrii klinicznej systemu dozymetrycznego IQM (Integral Quality Monitor) oraz zweryfikowania możliwości wykorzystania IQM do oceny planów leczenia realizowanych techniką VMAT. Wyzwaniem dla współczesnych fizyków medycznych jest stały rozwój metod i narzędzi weryfikujących poprawność radioterapii, wymuszany przez pojawiające się na rynku nowe techniki leczenia. Dotyczy to przede wszystkim technik dynamicznych, które wiążą się ze zmianą kształtu naświetlanych pól w trakcie emisji promieniowania, co może być dodatkowo połączone z jednoczesnym obrotem ramienia akceleratora (tzw. technika VMAT). Opracowane zaawansowane plany leczenia mogą być sprawdzane eksperymentalnie na akceleratorze przy pomocy dedykowanych przyrządów i systemów dozymetrycznych. Jednym z nich jest detektor IQM. Autor pracy przebadł detektor pod kątem jego wykorzystania do

kontroli realizacji planów leczenia, w tym dynamicznych, sprawdzając m.in. stabilność odpowiedzi, liniowość w funkcji dawki, zależność od mocy dawki oraz poprawność działania urządzenia dla pól statycznych i rzeczywistych planów leczenia.

Zagadnienie to zostało przez mgr Janiaka opisane w sposób wyczerpujący; przedstawiona praca ma charakter doświadczalny.

2. Analiza źródeł i stanu wiedzy.

W przedstawionej rozprawie Autor uwzględnił 68 źródeł, zawierających pozycje książkowe, publikacje w czasopismach naukowych, raporty, odnośniki do stron internetowych. Znacznym ułatwieniem dla czytelnika byłoby umieszczenie w pracy również cyfrowych identyfikatorów dokumentów (tzw. DOI).

W części wstępnej pracy mgr Janiak przybliżył czytelnikowi podstawy radioterapii, ogólną budowę akceleratora medycznego, rodzaje oddziaływań promieniowania z materią oraz rodzaje technik leczenia i ich realizacji, płynnie przechodząc do szczegółowego celu pracy. Szerzej omówione zostały następnie sposoby kontroli rozkładów dawki na potrzeby weryfikacji opisanych technik leczenia. W kolejnej części pracy przedstawiony został badany system IQM, metody jego sprawdzenia, modele matematyczne zaaplikowane do wyliczania przewidywanej odpowiedzi detektora oraz same badania i uzyskane wyniki.

Każdy obszar poruszonej w pracy tematyki znalazł swoje umocowanie w przytoczonej literaturze, uwzględniając najnowszą światową wiedzę w wymaganym zakresie.

Stwierdzam zatem, iż wybór źródeł, które stanowią tło realizowanej pracy doktorskiej jest właściwy, świadczący o dobrej wiedzy i rozeznaniu Autora w tematyce doktoratu.

3. Rozwiązanie postawionego zagadnienia

Przebadanie detektora IQM pod kątem jego zastosowania w praktyce Autor rozprawy rozpoczął od sprawdzenia stabilności pracy detektora, następnie sprawdził liniowość wskazań i zależność od mocy dawki. Wskazał na zależność czułości odpowiedzi detektora od energii wiązki promieniowania (w pracy nie były analizowane inne energie wiązek niż 6 MV). Kolejnym krokiem była weryfikacja odpowiedzi urządzenia w zależności od wielkości segmentów i porównanie osiągniętych wyników dla dwóch algorytmów – fabrycznego oraz autorskiego. Następny rozdział opisuje wyniki uzyskane dla konkretnych planów leczenia. W podsumowaniu i wnioskach zawarto również trafne kierunki dalszych badań – analizy silnie zmodyfikowanych planów leczenia oraz czułości urządzenia na błędy w realizacji planu leczenia w zależności od numeru realizowanego segmentu.

Mgr Janiak wyczerpująco uzasadnił sposób postępowania na każdym etapie badań.

Uważam zatem, że Autor przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy i rozwiązał postawione zagadnienia stosując właściwe dla przedmiotu badań metody.

4. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek autora

W swojej rozprawie mgr Janiak przedstawia wyniki badań systemu dozymetrycznego IQM, w tym porównania przewidywanej odpowiedzi detektora wyliczonej modelem

matematycznym producenta urządzenia z rzeczywistymi wynikami. Z uwagi na uzyskane rozbieżności Autor pracy proponuje własny, autorski model matematyczny, uwzględniający specyfikę stosowanego kolimatora MLC HD120. Uzyskane rezultaty potwierdzają trafność analizy i kierunku badań mgr Janiaka, zaś przedstawione przyszłe kierunki badawcze będą miały równie ważne znaczenie kliniczne – zwiększenie czułości na błędy w trakcie realizacji planu oraz poprawa zgodności planów dla różnych stopni modulacji.

Pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy, metodyki i stosowanych technik odzwierciedlonych w literaturze światowej jest aktualna.

5. Redakcja rozprawy

Rozprawa jest uporządkowana logicznie i napisana w sposób zrozumiały. Mgr Janiak jasno przekazał cel pracy, sposób przeprowadzenia badań oraz uzyskane wyniki. Trzeba jednak zauważyć, iż doktorant nie uniknął pewnych błędów redakcyjnych. Odniesienia do rysunków na str. 28, 29, 31, 58 znajdują się za miejscem umieszczenia rysunku, co wprowadza wrażenie przypadkowości i chaosu. Podpisy pod rysunkami na str. 54 i 59 znajdują się nie pod rysunkiem, ale dopiero na kolejnej stronie. Zwiększenie czcionki na osiach z pewnością poprawiłoby czytelność wykresów na Rys 4.6.2, Rys. 4.6.1.1, Rys. 4.6.1.2 oraz Rys. 4.6.1.4.

Uchybienia te nie zacierają jednak całości przekazu i nie umniejszają wartości pracy. Rozprawę oceniam pozytywnie.

6. Uwagi merytoryczne

Przedstawiona rozprawa nie posiada istotnych merytorycznie słabych stron. Cel pracy został spełniony.

Pomimo silnie doświadczalnego charakteru pracy, należy jednak zauważyć, iż Autor pewne aspekty pozostawia bez należytego i dogłębnego wyjaśnienia lub choćby komentarza.

Zastrzeżenia te przedstawiam w punktach:

- 1) Niezrozumiała jest uwaga, iż uzyskana w modelu autorskim transmisja $T_{MLC}=0.02$ oraz 0.038 to wartości **bliskie** wartości pomiarowej 0.012, w odróżnieniu od wartości 0.040 z modelu producenta (str. 46).
- 2) Model Autora nie rozwiązuje problemu sygnałów pomiarowych z pierwszego i ostatniego segmentu, których wartości różnią się znacznie od wartości obliczonych. W pracy proponuje się odrzucić te wyniki, zgodnie z sugestią producenta IQM. Cytując Autora: „nie wpływa to istotnie na ostateczną ocenę weryfikacji dozymetrycznej planu leczenia” (str. 52), jednak takie podejście w praktyce oznacza, że segmenty te nie są w ogóle oceniane, co pozostaje słabością urządzenia lub metodyki jego stosowania.
- 3) Przy badaniach stabilność detektora IQM wykonywany był pomiar bezpośrednio na wiązce akceleratora i porównywany z wynikami uzyskanymi przez komorę jonizacyjną typu Farmer. Mgr Janiak komentuje na str. 53 rozprawy uzyskane wyniki maksymalnego odchylenia standardowego dla stabilności krótkookresowej oraz stabilności długookresowej (odpowiednio 0.09% oraz 1%) w następujący sposób: “Podobne wyniki uzyskano dla pomiarów komorą jonizacyjną typu Farmer”. Może to być spowodowane podobnym błędem detektora IQM i komory jonizacyjnej Farmer lub

też odchyleniami stabilności pracy samego akceleratora, podczas gdy błąd samego urządzenia pomiarowego będzie znacznie mniejszy.

Oczywiście niezależnie od źródła pochodzenia rozbieżności wnioski Autora są trafne – „uzyskane rezultaty świadczą o wysokiej stabilności pracy detektora IQM”.

- 4) Na Rys. 4.5.1. przedstawione zostało porównanie rozkładu wartości względnej różnicy sygnału zmierzonego detektorem IQM i sygnału obliczonego za pomocą obydwu algorytmów dla 35 pól statycznych o wymiarze $4 \times 4 \text{ cm}^2$ formowanych za pomocą MLC i szczęk głównych kolimatora. Algorytm *Calc Signal IQM 2019* osiąga lepsze zgodności na zdecydowanie większej liczbie pól. Do rozważenia pozostaje obszar centralny, gdzie dla trzech pól środkowych lepsze wyniki osiągnął algorytm producenta detektora. Wartości rozbieżności są niewielkie, mieszczące się z zapasem w wymaganych tolerancjach, ale systematyczne. Może to być wskazówką dla Autora do dalszego ulepszania algorytmu.

7. Znaczenie pracy

Rozprawa ma duże znaczenie dla praktyki klinicznej Narodowego Instytutu Onkologii i nie tylko. Dzięki uzyskanym wynikom wiadomo, że detektor IQM może być bezpiecznie stosowany do weryfikacji planów leczenia, a opracowany autorski algorytm lepiej odwzorowuje rzeczywiste wyniki niż oprogramowanie fabryczne. Trafna propozycja Autora, iż algorytm ten należy zaproponować innym użytkownikom systemu IQM, wykorzystującym akcelerator *Varian* z kolimatorem HD120, w pełni świadczy o wysokim poziomie uzyskanych wyników.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z nadmiarem**
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

