DOI: 10.21641/los.2022.19.1.229

Dostępne online www.journals.wco.pl/los

Zeszyty Naukowe WCO, Letters in Oncology Science 2022;19(1):79-86

Letters in Oncology Science
ISSN 2543-6724
ZESZYTY NAUKOWE WIELKOPOLSKIEGO CENTRUM ONKOLOGII

Artykuł oryginalny / Original article

Porównanie metod weryfikacji wielkości i przesunięcia izocentrum akceleratora medycznego

Comparison of the isocenter verification methods and calculating imaging offset of medical linear accelerators.

Olga Bąk[1], Katarzyna Świątek[1], Marta Paluszyńska[1]

[1] *Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań, Polska*

Streszczenie

Prezentowana praca miała na celu porównanie dwóch metod weryfikacji wielkości izocentrum akceleratora medycznego oraz wyznaczenia przesunięcia obrazowanego izocentrum względem jego zakładanej pozycji. Do weryfikacji wykorzystano dwie metody – aplikacje Machine Performence Check z fantomem IsoCal oraz program Artiscan z fantomem PTW Isoball. Każda z analizowanych metod stanowi alternatywny sposób w stosunku do czasochłonnej i kosztownej weryfikacji izocentrum na filmach dozymetrycznych – radiochromowych, wymagających wywołania oraz gafchromowych.

Weryfikacji dokonywano przez dziesięć dni, a uzyskane dane zestawiono dla obu metod. Przy pomocy testów statystycznych wyznaczono zgodność dla wyników uzyskanych przy pomocy tych dwóch metod. Dane zaprezentowano na wykresach funkcji trendu.

Wykonane pomiary posłużyły do analizy, której wynikiem był brak jednoznacznych przeciwwskazań, że metody te nie są równoważne. Sposób wykonywania obu testów oraz możliwości uzyskiwania różnych analizowanych parametrów są ważne przy wyborze, który test należy wykonać. Ponadto, zgodnie z raportem AAPM TG 142, który zakłada weryfikacja izocentrum zarówno dla gantry, jak i dla kolimatora i stołu, test MPC jest niewystarczającym pomiarem.

Abstrakt

The aim of the presented work was to compare two methods of verification of the medical accelerator's isocenter and determine the imaging offset. Two methods were used for verification - Machine Performence Check (MPC) application with the IsoCal phantom and the Artiscan software with the PTW Isoball Phantom. Each of the analyzed methods provides an alternative way to the time-consuming and costly verification of the isocenter on radiochromic or gafchromic dosimetry films.

Adres do korespondencji
Jagoda Zychowicz
Zakład Radioterapii I,
Wielkopolskie Centrum Onkologii, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań, Polska
Telefon. +48 67 222 51 36
e-mail: olga.bak@wco.pl

Measurements were performed for ten days and the obtained data were compared for both methods. Using statistical tests, concordance was determined for the results obtained by the two methods. The data were presented in trend function graphs.

Analysis of the results shows that it is not possible to unequivocally state that the methods are not equivalent. In addition, the AAPM TG 142 report assumes that MPC is not a sufficient test for checking medical linear accelerator's isocentre.

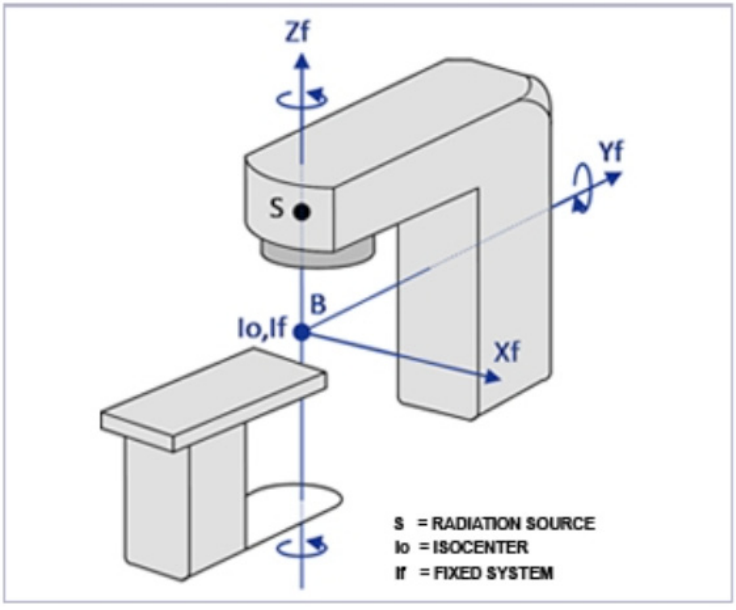
Słowa kluczowe: MPC, PTW Isoball, izocentrum, IsoCal, Artiscan
Keywords: MPC, PTW Isoball Phantom, isocentre, IsoCal, Artiscan

Wstęp

Nowotwory złośliwe stanowią narastający problem polskiego społeczeństwa. Na koniec drugiej dekady XXI wieku w Polsce odnotowano 1,17 mln zachorowań na nowotwory, z czego około 171,2 tys. w samym 2019 roku [1]. Za jedną z trzech najważniejszych, obok chemioterapii i chirurgii, metod leczenia nowotworów uznaje się radioterapię [2]. Osiągnięcie zamierzonego efektu w postaci miejscowego wyleczenia nowotworu bez zwiększania ryzyka powikłań popromiennych zależy od wielu czynników zarówno na etapie przygotowania, jak i realizacji radioterapii, takich jak dokładność wyznaczenia objętości tarczowej, pozycjonowania pacjenta czy rozmiar i położenie izocentrum promieniowania względem izocentrum obrazowania, czy izocentrum mechanicznego.

Jednym z najważniejszych testów kontroli jakości w procesie zapewnienia wysokiej precyzji dostarczenia promieniowania jonizującego do guza nowotworowego oraz minimalizacji błędów systematycznych jest sprawdzenie izocentrum promieniowania.

Izocentrum promieniowania definiuje się jako kulę w przestrzeni, w której przecinają się ze sobą wiązki promieniowania podczas obrotu ramienia, kolimatora lub kolumny stołu akceleratora. Ze względu na oddziaływanie grawitacji na części mechaniczne wewnątrz głowicy akceleratora czy ograniczoną precyzję ruchu kolimatora i kolumny stołu wiązki promieniowania przecinają się geometrycznie w niewielkiej objętości (Ryc. 1.). Zwykle środek masy tej objętości nazywa się izocentrum promieniowania. Niekoniecznie pokrywa się ono z izocentrum mechanicznym.



Rycina 1. Schemat przedstawiający uproszczoną geometrię akceleratora liniowego z zaznaczonymi osiami obrotu ramienia, kolimatora i kolumny stołu wyznaczającymi izocentrum mechaniczne oraz sferą (Io), w której zawarte jest izocentrum promieniowania. Źródło: oprogramowanie Artiscan.

W związku z tym program zapewnienia kontroli jakości obejmuje m.in. sprawdzenie średnicy kuli zawierającej izocentrum promieniowania oraz izocentrum wskazywane przez centratory laserowe. Często oznacza to sprawdzenie zgodności pomiędzy izocentrum promieniowania i izocentrum mechanicznym, do którego dopasowane jest izocentrum wyznaczone przez centratory laserowe. Monitorowanie położenia izocentrum promieniowania nabiera szczególnego znaczenia przy stosowaniu technik wysoce konformalnych takich jak radioterapia stereotaktyczna.

Obecnie najczęściej stosowanym testem do określenia rozmiaru sfery zawierającej w sobie izocentrum promieniowania jest test Winstona-Lutza stosowany już od 1988 roku. Początkowo ze względu na niedostępność detektorów do przeprowadzenia testu używane były filmy radiograficzne. Wiązało się to z wykorzystaniem filmów oraz odczynników chemicznych w procesie wywoływania i utrwalanie filmu. Używany wówczas rodzaj detektora nie pozwalał na wprowadzenie modyfikacji w uzyskanym obrazie, chociażby w poziomie kontrastu, w celu ułatwienia analizy uzyskanego obrazu. Analiza uzyskanego wzoru napromienionego na filmie polegała na jakościowej ocenie wizualnej, charakteryzującej się dużą subiektywnością zależną od osoby wykonującej test, co wpływało na niepewność wyniku wynoszącą od 0,3 mm do 0,4 mm [3].

Obecne wytyczne dotyczące kontroli jakości akceleratorów liniowych przedstawione przez Amerykańskie Towarzystwo Fizyków w Medycynie w raporcie AAPM TG 142 dopuszczają wartość odchylenia między położeniem izocentrum promieniowania a izocentrum mechanicznym na poziomie ±2 mm dla technik niestereotaktycznych oraz ±1 mm dla technik stereotaktycznych [4]. Stosunkowo duża niepewność wyników otrzymywanych w teście izocentrum promieniowania przeprowadzonym z wykorzystaniem filmów radiograficznych w odniesieniu do zadanego kryterium może być niewystarczająca w przypadku utrzymania odpowiedniego poziomu jakości pracy akceleratora używanego na potrzeby radioterapii stereotaktycznej.

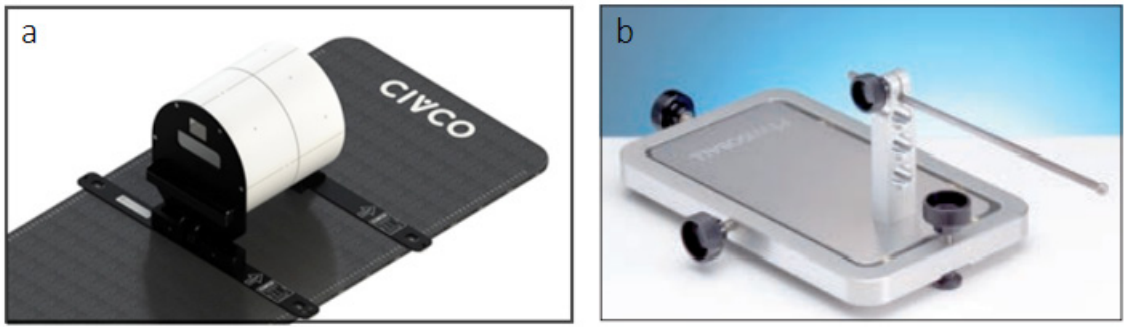
Rozwój techniczny akceleratorów liniowych i wyposażenie ich w urządzenia do obrazowania, w tym EPID (ang. Electronic Portal Imaging Device), umożliwił wykorzystanie tych urządzeń do przeprowadzenia weryfikacji położenia izocentrum promieniowania. Spowodowało to skrócenie czasu potrzebnego na przeprowadzenie testu, możliwość uzyskania obrazów cyfrowych wysokiej rozdzielczości do dalszej obróbki w celu analizy ilościowej oceny wyniku testu.

Cel

Celem pracy było porównanie metod wyznaczania izocentrum za pomocą dwóch fantomów – IsoCal firmy Varian, przeznaczonego do wykonywana codziennej procedury autotestów MPC (ang. Machine Performance Check) akceleratora liniowego oraz PTW Isobal, dedykowanego do przeprowadzenia testu izocentrum promieniowania.

Materiały i metody

W badaniu wykorzystane zostały dwa rodzaje fantomów: IsoCal firmy Varian (Ryc. 2a.), przeznaczonego do wykonywana codziennej procedury autotestów MPC (ang. Machine Performance Check) akceleratora liniowego oraz PTW Isobal T42037 (Ryc. 2b.), dedykowanego do przeprowadzenia testu izocentrum promieniowania [5,6].



Rycina 2. Fantomy wykorzystane do weryfikacji położenia izocentrum promieniowania: a) Varian IsoCal, b) PTW Isoball.

Weryfikacje położenia izocentrum wykonywano codzienne przez 10 dni, na akceleratorze liniowym TrueBeam Varian (Varian Medical System, Palo Alto, USA) wyposażonym w kolimator wielolistkowy MLC HD (Multileaf Collimator) składający się z 120 listków (40 par listków o szerokości 2,5 mm i 20 par listków o szerokości 5 mm) ułożonych w dwa zespoły oraz kasetę portalową aS1200 EPID o wielkości matrycy 1024 x 1024 pikseli.

Fantom IsoCal wraz z aplikacją MPC stanowi w pełni zintegrowane narzędzie do codziennej kontroli stałości wiązki i parametrów geometrycznych pracy akcelerator medycznego. Do oceny parametrów geometrycznych wykorzystywana jest seria obrazów fantomu IsoCal, umieszczonego w dedykowanym uchwycie zamontowanym na blacie stołu terapeutycznego w ustalonej pozycji, wykonanych przy użyciu promieniowania kilowoltowego i megawoltowego o energii 6MV. Dzięki możliwości zapisania położenia referencyjnego stołu terapeutycznego, w którym znaczniki znajdujące się na fantomie ułożonym na stole w dedykowanym uchwycie są zgodne ze światłami z centratorów laserowych, zapewniona jest wysoka odtwarzalność ustawienia fantomu.

Akwizycja obrazów oraz ich analiza odbywa się automatyczne bez możliwości ingerencji użytkownika, co przekłada się na powtarzalność uzyskanych wyników. Analizie podlega m.in. rozmiar izocentrum promieniowania oraz przesunięcie izocentrum promieniowania względem środka detektora kV i MV [3].

Izocentrum promieniowania definiowane jest jako punkt przecięcia osi centralnej wiązki promieniowania podczas pełnego obrotu ramienia gantry. Wiąże się to z akwizycją obrazu pod ośmioma, reprezentatywnymi dla pełnego obrotu, kątami gantry: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° i 315°. Przy czym oś centralna jest określana przez środek obrotu układu kolimującego o najwyższym priorytecie, czyli w tym przypadku kolimatora MLC. Parametry wyznaczane są na podstawie położenia osi wiązki centralnej i oczekiwanych pozycji 16 kulek wolframowych pełniących rolę znaczników w fantomie. Dla obrazowania kV oraz MV przesunięcie izocentrum odpowiada maksymalnej odległości środka obrazu od projekcji izocentrum terapeutycznego [7].

W drugiej metodzie weryfikacji izocentrum promieniowania wykorzystano obrazy pochodzące z akwizycji fantomu PTW Isoball, którego dokładność wynosi 0,01 mm. Fantom został umieszczony na stole terapeutycznym tak, aby środek metalowej kulki znajdował się w izocentrum wyznaczonym przez centratory laserowe znajdujące się w pomieszczeniu terapeutycznym. Położenie kulki ustalono w kierunku poprzecznym, podłużnym i strzałkowym za pomocą układu regulacyjnego. Wykonano 11 akwizycji obrazu kulki w fantomie dla różnych konfiguracji położenia ramienia, kolimatora i kolumny stołu (Tab. 1.) niezależnie dla systemu obrazowania kilowoltowego i megawoltowego. W przypadku systemu obrazowania megawoltowego wykorzystano wiązkę promieniowania o energii 6 MV i liczbę jednostek monitorowych na akwizycję równą 100 MU.

Do analizy otrzymanych obrazów użyte zostało oprogramowanie Artiscan (Aquilab) [5].

Tabela 1. Sekwencja obrazów użytych do wyznaczenia izocentrum promieniowania z określeniem położenia ramienia, kolimatora i kolumny stołu.

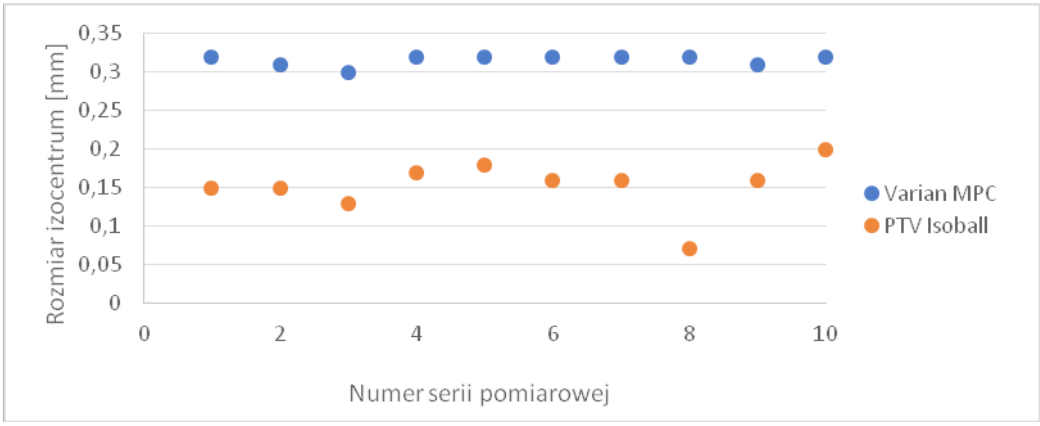
	Pozycja kolimatora[°]	**Pozycja gantry[°]**	**Pozycja stołu terapeutycznego[°]**
Obraz 1	0	0	0
Obraz 2	90	0	0
Obraz 3	0	0	0
Obraz 4	270	0	0
Obraz 5	0	0	0
Obraz 6	0	0	90
Obraz 7	0	0	270
Obraz 8	0	0	0
Obraz 9	0	90	0
Obraz 10	0	180	0
Obraz 11	0	270	0

Wyniki i dyskusja

- **Rozmiar izocentrum promieniowania**

Mediana wartości rozmiaru izocentrum promieniowania w przeprowadzonym autoteście MPC wynosi 0,32 mm. Wyniki uzyskane w teście zawierają się w zakresie 0,30-0,32 mm. Mediana wielkości izocentrum promieniowania uzyskana w teście Winstona–Lutza z wykorzystaniem fantomu PTW Isoball T42037 wynosi 0,16 mm. W teście tym widoczne jest większe zróżnicowanie wyników od 0,07 mm do 0,2 mm (Ryc. 3.)

Analizę statystyczną uzyskanych wyników wielkości izocentrum promieniowania uzyskanych dwiema metodami pomiaru wykonano w oprogramowaniu Origin [OriginPro 2020]. Przeprowadzono analizę zgodności rozkładu otrzymanych zmiennych z rozkładem normalnym za pomocą testu Shapiro-Wilka. Stosunkowo duża moc tego testu ułatwia udowodnienie braku normalności rozkładu i zaleca się jego stosowanie do mniejszych próbek. Żaden z rozkładów zmiennych nie pochodzi z rozkładu normalnego. Pomiary badanego parametru były zależne. W celu porównania zgodności wyników rozmiaru izocentrum otrzymanych w dwóch metodach testu przeprowadzono test Wilcoxona z przyjętym poziomem istotności statystycznej równej α =0,05. Porównanie wartości p=0,00195 statystyki testowej Wilcoxona z poziomem istotności α, dowodzi że istnieje statystycznie istotna różnica w wynikach otrzymanych w dwóch metodach testu sprawdzenia izocentrum promieniowania.



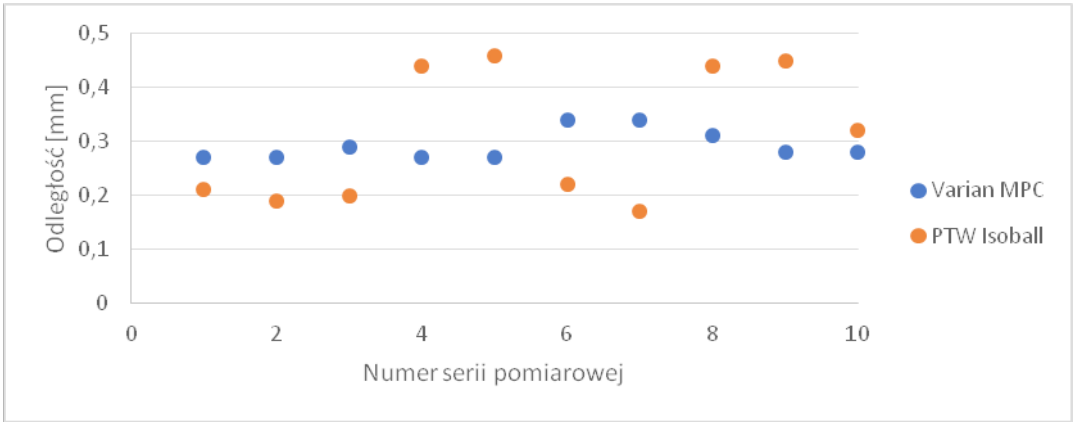
Rycina 3. Rozmiar izocentrum promieniowania uzyskana za pomocą testu MPC i Wintona-Lutza.

- **Zgodność kV**

Przesunięcie centralnych pikseli kV od rzutowanego izocentrum promieniowania charakteryzuje się mniejszą zmiennością dla procedury testowej z wykorzystaniem MPC w stosunku do metody opartej na wykorzystaniu fantomu Isoball. Minimalne i maksymalne przesunięcie wynosi 0,27 mm i 0,34 mm oraz 0,17 mm i 0,46 mm odpowiednio dla metod MPC oraz z wykorzystaniem fantomu Isoball. Mediana wartości rozmiaru izocentrum promieniowania wynosi zaś odpowiednio 0,28 mm dla MPC oraz 0,27 mm dla fantomu Isoball z obliczeniem w oprogramowaniu Artiscan (Ryc. 4.).

Analizę statystyczną uzyskanych wyników wielkości izocentrum promieniowania uzyskanych dwiema metodami pomiaru wykonano w oprogramowaniu Origin [OriginPro 2020]. Przeprowadzono analizę zgodności rozkładu otrzymanych zmiennych z rozkładem normalnym za pomocą testu Shapiro-Wilka. Stosunkowo duża moc tego testu ułatwia udowodnienie braku normalności rozkładu i zaleca się jego stosowanie do mniejszych próbek. Żaden z rozkładów zmiennych nie pochodzi z rozkładu normalnego. Pomiary badanego parametru były zależne. W celu porównania zgodności wyników przesunięcia środka detektora kilowoltowego względem rzutowanego izocentrum promieniowania otrzymanych w dwóch metodach testu przeprowadzono test Wilcoxona z przyjętym poziomem istotności statystycznej równej α =0,05. Porównanie wartości p=0,67383 statystyki testowej Wilcoxona z poziomem istotności α, dowodzi że

nie istnieje statystycznie istotna różnica w wynikach otrzymanych w dwóch metodach testu sprawdzenia izocentrum promieniowania.

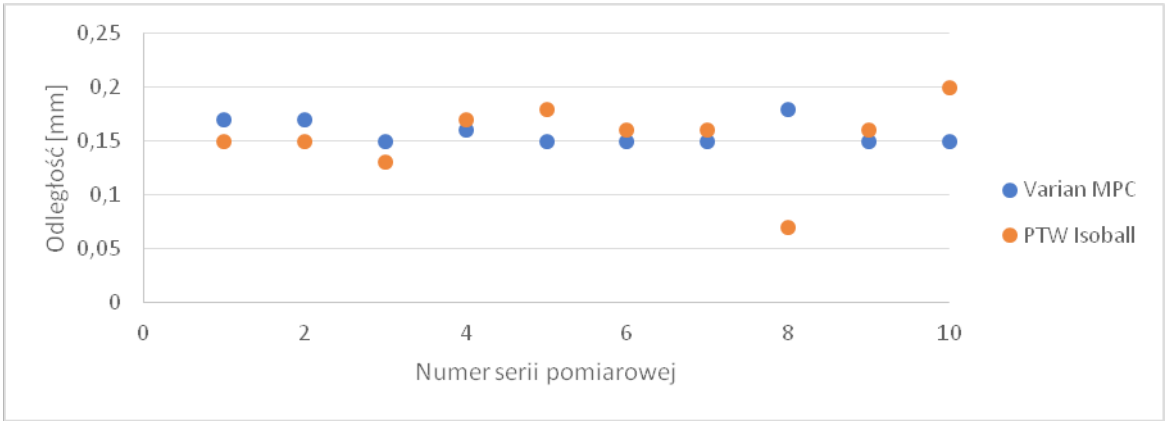


Rycina 4. Przesunięcie środka detektora kilowoltowego względem projekcji izocentrum terapeutycznego dla MPC i testu Winstona-Lutza.

- **Zgodność MV**

Przesunięcie centralnych pikseli MV od rzutowanego izocentrum promieniowania charakteryzuje się mniejszą zmiennością dla procedury testowej z wykorzystaniem MPC w stosunku do metody opartej na wykorzystaniu fantomu Isoball. Minimalne i maksymalne przesunięcie wynosi 0,15 i 0,18 mm oraz 0,07 i 0,20 mm odpowiednio dla metod MPC oraz z wykorzystaniem fantomu Isoball. Mediana wartości rozmiaru izocentrum promieniowania wynosi zaś odpowiednio 0,16 mm dla MPC oraz 0,16 mm dla fantomu Isoball z obliczeniem w oprogramowaniu Artiscan (Ryc. 45.).

Analizę statystyczną uzyskanych wyników wielkości izocentrum promieniowania uzyskanych dwiema metodami pomiaru wykonano w oprogramowaniu Origin [OriginPro 2020]. Przeprowadzono analizę zgodności rozkładu otrzymanych zmiennych z rozkładem normalnym za pomocą testu Shapiro-Wilka. Stosunkowo duża moc tego testu ułatwia udowodnienie braku normalności rozkładu i zaleca się jego stosowanie do mniejszych próbek. Żaden z rozkładów zmiennych nie pochodzi z rozkładu normalnego. Pomiary badanego parametru były zależne. W celu porównania zgodności wyników przesunięcia środka detektora megawoltowego względem rzutowanego izocentrum promieniowania otrzymanych w dwóch metodach testu przeprowadzono test Wilcoxona z przyjętym poziomem istotności statystycznej równej $\alpha = 0{,}05$. Porównanie wartości $p = 1{,}0$ statystyki testowej Wilcoxona z poziomem istotności α, dowodzi że istnieje statystycznie ważna różnica w wynikach otrzymanych w dwóch metodach testu sprawdzenia izocentrum promieniowania.



Rycina 5. Przesunięcie środka detektora megawoltowego względem projekcji izocentrum terapeutycznego dla MPC i testu Winstona-Lutza.

Dyskusja

Weryfikacja izocentrum z dużą dokładnością przestrzenną jest szczególnie ważna w przypadku realizacji radioterapii stereotaktycznej. Obie metody weryfikacji rozmiaru izocentrum promieniowania z wykorzystaniem detektora EPID – autotest MPC jak i test Winstona-Lutza z użyciem fantomu Isoball, pozwalają na szybkie i automatyczne przeprowadzenie testu. Ponadto pozyskane obrazy cyfrowe pozwalają na obiektywną ocenę ilościową testu.

Wykorzystanie metod weryfikacji opartych na automatycznym teście MPC proponowanym przez producenta akceleratora medycznego lub obliczeniach w dedykowanym oprogramowaniu ograniczają konfigurację położenia ramienia, kolimatora i kolumny stołu, dla których wykonywana jest akwizycja obrazów fantomu.

Wykonanie testu Winstona-Lutza z wykorzystaniem fantomu PTW Isoball wymaga precyzyjnego ustawienia fantomu względem izocentrum wyznaczonego przez centratory laserowe w celu ograniczenia błędów w obliczeniach rozmiaru izocentrum w odróżnieniu od metody z zastosowaniem fantomu IsoCal i aplikacji MPC. W której algorytm określa izocentrum terapeutyczne i oblicza odległość między izocentrum a środkiem fantomu IsoCal, eliminując w ten sposób błąd ustawienia fantomu [8]. Jedynym warunkiem jest poprawne ułożenie fantomu w statywie zamocowanym zgodnie z instrukcją producenta w odpowiedniej pozycji na stole terapeutycznym.

Przewagą testu wykonywanego za pomocą fantomu Isoball jest możliwość weryfikacji rozmiaru izocentrum dla poszczególnych składowych obejmujących ramię akceleratora, kolimator i kolumnę stołu. W odróżnieniu od autotestu MPC, gdzie rozmiar izocentrum określany jest tylko dla składowej ramienia akceleratora.

Analiza Wilcoxona otrzymanych danych wykazała brak zgodności wyników rozmiaru izocentrum otrzymanego dwiema różnymi metodami przy jednoczesnej dużej zgodności wyników przesunięć środka detektora kilowoltowego i megawoltowego względem rzutowanego izocentrum promieniowania.

Bez względu na rodzaj użytego fantomu i wykorzystanej metody wszystkie uzyskane wyniki rozmiaru izocentrum mieściły się w dopuszczalnej wartości tolerancji równej 2,00 mm (dla technik niestereotaktycznych) jak i 1,00 mm dla technik stereotaktycznych.

Wnioski

Test Winstona-Lutza ze względu na możliwość określenia rozmiaru izocentrum z podziałem na składowe pochodzące od ramienia akceleratora, kolimatora i kolumny stołu powinien być stosowany do weryfikacji izocentrum promieniowania w specjalistycznej kontroli parametrów pracy akceleratora medycznego. Z kolei autotest MPC ze względu na swoją wysoką powtarzalność i niezależność otrzymanych wyników od użytkownika z powodzeniem może być stosowany do rutynowej kontroli codziennej rozmiaru izocentrum na akceleratorze medycznym.

Bibliografia

[1] Raport. Radioterapia w Polsce w świetle zmian systemowych – analiza i rekomendacje 2021.https://docplayer.pl/209607317-Warszawa-2021-raport-radioterapia-w-polsce-w-swietle-zmian-systemowych-analiza-i-rekomendacje.html, dostęp 13.10.2022 r.
[2] Raport roczny. Nowotwory złośliwe w Polsce w 2019 roku. Narodowy Instytut Onkologii, http://onkologia.org.pl/wp-content/uploads/Nowotwory_2019.pdf, dostęp 13.10.2022 r.
[3] Rowshanfarzad P, Sabet, M, O'Connor, D.J. and Greer. Isocenter verification for linac-based stereotactic radiation therapy: review of principles and techniques. Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2011;11.15;12(4):3645
[4] Report No. 142 - Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators; 2009
[5] Bayer Ch. An independent verification of linac isocenter, Georgia Institute of Technology; 2019.
[6] Szweda H, Graczyk K, Radomiak D, Matuszewski K, Pawałowski B. Comparison of three different phantoms used for Winston-Lutz test with Artiscan software. Reports of Practical Oncology and Radiotherapy. 2020;25:351-354.

[7] Varian Medical Systems. Machine performance check reference guide V2.7. Varian Associates Inc. Oncology Systems, Palo Alto, CA, USA; 2019.
[8] Jitendra N. Evaluation and validation of the machine performance check application for TrueBeam 2.5 Linac. Indian Journal of Science and Technology; 2020.13:1470-1475.