



Analiza stabilności kalibracji MLC przy użyciu systemu EPID

The analysis of MLC calibration stability using EPID

Ryszard Dąbrowski, Izabela Pietrzyk

Zakład Fizyki Medycznej, Centrum Onkologii-Instytut im. M. Skłodowskiej-Curie w Warszawie, ul. W.K. Roentgena 5, 02-781 Warszawa, tel. +48 22 570 91 51
e-mail: r.dabrowski@zfm.coi.pl

Wprowadzenie

Matryca detektorów panelu służącego do wykonywania zdjęć portalowych ze względu na swą wysoką rozdzielczość stanowi doskonałe narzędzie do kalibracji układu MLC i analizy pozycji listków [1-4]. Wykorzystanie tej matrycy do tak precyzyjnych, submilimetrycznych analiz wymaga jednak kontroli jakości samego panelu. W pierwszej części pracy przedstawiono propozycje testów panelu, jakie opracowaliśmy i wykonujemy w naszym Zakładzie. W drugiej części omówiono wyniki przeprowadzonych analiz dokładności pozycjonowania oraz stabilności czasowej kalibracji układu MLC. Precyzyja i stabilność kalibracji listków kolimatora są ważne z punktu widzenia dokładności dozymetrycznej realizacji planów leczenia – zwłaszcza w przypadku wiązek IMRT/VMAT zawierających wąskie segmenty.

Materiały i metody

Opisane poniżej procedury realizowane były dla 3 akceleratorów Synergy firmy Elekta wyposażonych w kolimator wielolistkowy MLCi2 oraz w system iView GT do wykonywania zdjęć portalowych. Zautomatyzowanie procedur analizy uzyskano poprzez przygotowanie oprogramowania napisanego w języku Delphi.

Streszczenie

W pracy przedstawiono propozycje testów panelu EPID oraz omówiono zniekształcenia geometrii, jakie występują w niektórych panelach systemu iView. Przeprowadzono analizę dokładności pozycjonowania listków oraz analizę stabilności czasowej kalibracji układu MLC dla kolimatora MLCi2 akceleratora Synergy firmy Elekta.

Słowa kluczowe: EPID, kalibracja MLC

Określenie rozmiaru piksela

Wielkość pojedynczego piksela jest podstawową informacją niezbędną do przeprowadzenia jakichkolwiek analiz w oparciu o rejestrowane obrazy portalowe. Bardzo prosty i szybki w realizacji pomiar przeprowadzono, wykorzystując płytę *graticule* firmy *Aktina* montowaną w uchwycie na kolimatory elektronowe. Płyta ta zawiera precyzyjne znaczniki osi wiązki uwidaczniające się na obrazach portalowych. Zarejestrowano obraz pola 24 x 24 w obecności płyty *graticule*, a następnie analizowano profil przechodzący przez środki znaczników oddalonych ± 10 cm od osi wiązki. Znaczniki uwidaczniają się na profilach w postaci lokalnych minimum (Rys. 3). Umożliwia to wyznaczenie pozycji znaczników, która określona jest jako średnia z położenia punktów profilu, w których sygnał osiąga potęgę głębokości analizowanego minimum.

Rozmiar piksela w odległości izocentrycznej wyznaczany jest jako stosunek odległości pomiędzy znacznikami (200 mm) do odległości wyrażonej w pikselach. Pomiary rozmiaru piksela przeprowadzono w kierunku AB i GT na panelu oraz dla 4 kątów ramienia akceleratora (0°, 90°, 180° i 270°). Stosowane w dalszym tekście oznaczenia boków panelu iView GT oraz elementów układu kolimującego przedstawiono na rysunku 1. [374](#)

Abstract

The paper presents proposition of EPID panel tests and discusses geometry distortions that occur in some iView system panels. An analysis of leaves positioning accuracy and time stability of calibration for MLCi2 Elekta collimator was performed.

Key words: EPID, MLC calibration

otrzymano / received:

10.09.2018

poprawiono / corrected:

19.09.2018

zaakceptowano / accepted:

06.10.2018



Test zniekształceń geometrii

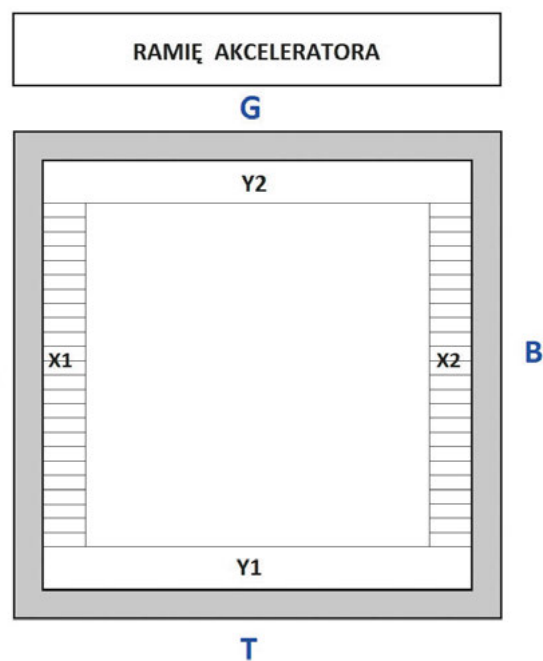
Test ma za zadanie stwierdzenie, czy matryca nie wprowadza zniekształceń geometrii, których wynikiem jest zafalszowanie wartości odległości wyznaczanych poza osiami głównymi matrycy, na których przeprowadzono kalibrację wielkości piksela.

Przeprowadzono rejestrację pola 24 x 24 dla 4 głównych kątów kolimatora. Standardowo stosowano ekspozycję 10 MU przy każdej rejestracji. Dla każdego kąta kolimatora wyznaczane są 24 profile prostopadłe do szczęk Y1, Y2 kolimatora w odstępach co 1 cm. Oczekujemy, że wszystkie te profile będą miały takie same szerokości jak profil przechodzący przez oś główną pola promieniowania.

Odstępstwa od oczekiwanej wartości szerokości profili mogą mieć dwie przyczyny, które są łatwe do odróżnienia. Po pierwsze mogą być spowodowane brakiem idealnej równoległości szczęk Y1, Y2 kolimatora. W tym przypadku po obrocie o 180° układu kolimującego szersze i węższe profile zamieniąby się miejscami na panelu. Po drugie zniekształcenia odległości może wprowadzać sam panel. Wówczas obrót kolimatora o 180° pozostawi szersze i węższe wartości profili w tych samych pozycjach na panelu.

Dokładność pozycjonowania listków kolimatora MLCi2

System IView GT został użyty do sprawdzenia, jak precyzyjne jest pozycjonowanie listków w kolimatorze wielolistkowym MLCi2 firmy Elekta. Panel EPID pozwala zarejestrować pole o maksymalnym wymiarze 24 cm x 24 cm, co uniemożliwia jednoczesną analizę wszystkich 80 listków. Dlatego przygotowano wiązkę *step and shoot* typu *picket fence* złożoną z 12 segmentów (Rys. 2), w której pierwsze 5 segmentów dedykowane jest analizie



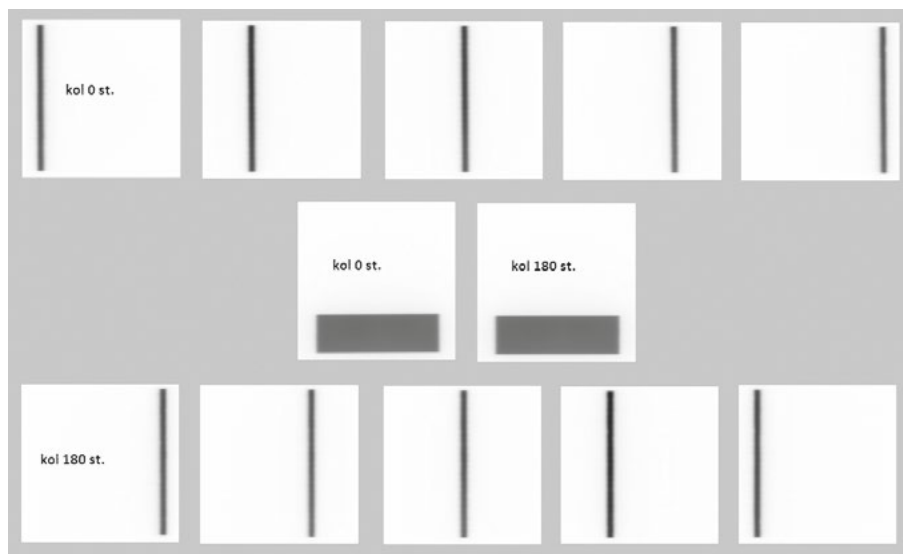
Rys. 1 Oznaczenia boków panelu IView GT stosowane w tekście oraz schemat układu kolimującego dla kąta kolimatora 0°

Źródło: Opracowanie własne.

górnej części banków MLC (od strony szczęki Y2), z kolei ostatnie 5 segmentów służy do analizy dolnej części banków (od strony szczęki Y1). Akwizycja obydwu sekwencji jest realizowana na panelu w pozycji wsuniętej (bliżej ramienia), co jest możliwe dzięki obróceniu kąta kolimatora o 180° w segmentach należących do drugiej sekwencji. Poszczególne segmenty *picket fence* to pola o szerokości 1 cm centrowane w pozycjach bocznych -10, -5, 0, 5, 10 cm. Dwa segmenty centralne to pola 6 x 20 z kolimatorem 0° i 180°, które pozwalają zlokalizować na panelu oś obrotu kolimatora, względem której wyznaczane są pozycje wszystkich list-

ków. Te dwa centralne segmenty są też używane do określenia kąta, jaki tworzą szczęki Y1 i Y2 z układem współrzędnych matrycy IView GT. Pozwala to wprowadzić w dalszej analizie poprawkę na niewielkie względne skręcenia obu układów. Każdy segment jest rejestrowany jako pojedynczy obraz.

Przygotowano program komputerowy, który w oparciu o analizę zarejestrowanych 12 segmentów opisanego wyżej pola *picket fence* wyznacza pozycje wszystkich listków w poszczególnych segmentach oraz porównuje je z pozycjami nominalnymi. Określenie pozycji listków dokonywane jest na podstawie profili



Rys. 2 Obrazy EPID zarejestrowane dla 12-segmentowej wiązki stosowanej w pracy do analizy położenia MLC

Źródło: Opracowanie własne



sygnałów EPID przechodzących przez centrum danego listka. Położenie listka ma wartość współrzędnej punktu, w którym sygnał EPID równy jest 50% wartości maksymalnej. Przygotowany program oblicza też średnie różnice potożeń rzeczywistych i oczekiwanych oraz odchylenie standardowe tych różnic. W obliczeniach uwzględniane są dwie korekty: liniowa korekta w kierunku GT na zniekształcenia odległości wprowadzane przez panel oraz korekta na względne skręcenie układów kolimatora i matrycy EPID.

Sprawdzenie poprawności działania opisanego wyżej programu przeprowadzono poprzez porównanie wyznaczonych wielkości pól oraz odległości granic pól od osi obrotu kolimatora z wynikami otrzymanymi przy wykorzystaniu oprogramowania AutoCAL firmy IBA Dosimetry, które służy inżynierom firmy Elekta do przeprowadzania procedury kalibracji MLC.

Przeprowadzono też sprawdzenie poprawności działania poprawki na skręcenie układu odniesienia kolimatora względem układu matrycy EPID. W tym celu dwukrotnie zarejestrowano pole *picket fence*, przy czym w drugiej rejestracji celowo zmniejszono kąt kolimatora o $0,5^\circ$. Porównano wyniki obu analiz raz z aktywną, drugi raz z wyłączoną opcją korekty na skręcenie.

Zbadano powtarzalność pozycjonowania listków poprzez trzykrotne powtórzenie akwizycji pola *picket fence* na każdym z akceleratorów i porównanie pozycji listków w poszczególnych segmentach w tych trzech rejestracjach.

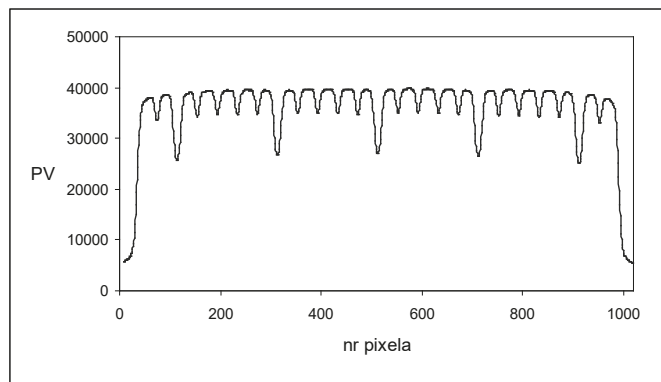
Przeprowadzono także badania stabilności czasowej kalibracji MLC, wykonując pomiary pola *picket fence* przez 10 kolejnych dni bezpośrednio po kalibracji układu dla trzech akceleratorów. Dodatkowo kontynuowano sprawdzenie stabilności raz w tygodniu, aż do czasu wykonania następnej kalibracji. Porównywano pozycje wszystkich listków w każdym segmencie pola *picket fence* z wartościami zarejestrowanymi w dniu kalibracji. Z różnic w położeniach listków w tych dwóch realizacjach obliczono średnią różnicę potożeń oraz odchylenie standardowe różnic dla lewego oraz prawego banku. Przeanalizowano również, które z listków powodują największe odchylenia w położeniu szczeliny. W tym celu wybrano z lewego oraz prawego banku dla każdego pomiaru listek, którego położenie w którejś z pozycji najbardziej odbiegało od wartości kalibrowanej.

Wyniki

Określenie rozmiaru piksela

Przykładowy profil sygnałów EPID wzdłuż osi głównej pola promieniowania zarejestrowany w obecności płyty *graticule* przedstawia rysunek 3.

Wyznaczone wielkości piksela dla 3 badanych akceleratorów i 4 kątów głównych ramienia zamieszczono w tabeli 1. We wszystkich przypadkach rozmiary piksela określone dla dwóch kierunków osi głównych są praktycznie identyczne. Obserwujemy natomiast istotne różnice pomiędzy poszczególnymi akceleratorami. Przyjęcie standardowej wartości $0,25$ mm/piksel



Rys. 3 Profil przechodzący przez oś główną pola promieniowania (kierunek AB) zarejestrowany na matrycy EPID w obecności płyty *graticule* firmy Aktina. PV (pixel value) oznacza wartość sygnału EPID zarejestrowaną w pozycji danego piksela obrazu

Źródło: Opracowanie własne.

prowadzić więc może do błędów. Kolejną ważną obserwacją dotyczy zależności wielkości piksela od kąta ramienia. W przypadku każdego akceleratora obserwujemy wzrost wielkości piksela w bocznych pozycjach ramienia akceleratora. Związane to jest z niewielkimi zmianami odległości matrycy detektorów od źródła przy obrocie ramienia. Największy wzrost wielkości piksela występuje dla kąta ramienia 180° . Dla wiązki o wielkości 24 cm prowadzi to do błędu w określonej wielkości pola bliskiego 2 mm. Analizowano powtarzalność metody. Procedurę wyznaczenia rozmiaru piksela powtórzono po upływie 2 tygodni. Maksymalna różnica, jaką stwierdzono, wyniosła $0,0001$ mm ($0,05\%$).

Tabela 1 Rozmiar piksela [mm] dla 3 akceleratorów Synergy firmy Elekta (S1, S2, S3) i dla 4 kątów ramienia. Górna wartość dotyczy skalowania w osi AB, dolna wartość to współczynnik skalowania w osi GT

	0°	90°	270°	180°
S1	0.2505 0.2506	0.2513 0.2514	0.2514 0.2514	0.2525 0.2526
S2	0.2522 0.2523	0.2530 0.2531	0.2530 0.2532	0.2540 0.2542
S3	0.2499 0.2499	0.2507 0.2508	0.2508 0.2509	0.2519 0.2519

Źródło: Opracowanie własne.

Test zniekształceń geometrii

Dla wszystkich 3 analizowanych akceleratorów przy kątach kolimatora 0° i 180° wszystkie badane profile w kierunku GT mają tę samą szerokość połówkową z dokładnością $\pm 0,1$ mm. Wynika stąd, że dla pomiarów w kierunku GT badane matryce nie wprowadzają zniekształceń odległości. Jednocześnie potwierdza to równoległość szczęk Y1 Y2 kolimatora.

Przy kątach kolimatora 90° i 270° dla dwóch akceleratorów (S1 i S3) obserwujemy jednak systematyczny spadek mierzonych odległości (profile w kierunku AB) w miarę przesuwania się na matrycy od boku T do G. Ta zmiana odległości wynosi $0,7$ mm dla akceleratora S1 i $0,8$ mm dla akceleratora S3. Trzeci akcelerator (S2) nie wprowadza zniekształceń w tym kierunku.



Poszukując przyczyny obserwowanych zniekształceń odległości, stwierdzono, że są one spowodowane brakiem idealnego wypoziomowania matrycy EPID. Po zdjęciu obudowy panelu zmierzono poziomą wzdłuż kierunku GT kąt, jaki tworzy matryca detektorów z poziomem. Dla akceleratora E1 to nachylenie matrycy ma wartość 0,7°, co jest zgodne z obserwowaną zmianą szerokości profilu wzdłuż kierunku GT.

Dokładność pozycjonowania listków kolimatora MLCi2

Dla 3 pól: 3 x 3, 10 x 10 i 24 x 24 porównano wyznaczone wielkości pól oraz położenia granic pól względem osi obrotu kolimatora z wynikami uzyskanymi przy wykorzystaniu programu AutoCal. Różnice w żadnym przypadku nie przekraczały 0,2 mm.

Przeanalizowano wynik testu korekty stosowanej w programie na skrócenie układu kolimatora względem układu matrycy EPID. Przeprowadzono dwie rejestracje pola *picket fence* bezpośrednio po kalibracji MLC, w jednej z nich wymuszając obrót kolimatora o 0,5°. Różnice położenia listków wyznaczone w tych dwóch rejestracjach opisane są wartością odchylenia standardowego 0,10 mm w sytuacji, gdy aktywna jest korekta na skręcenia i wzrasta do 0,51 mm przy korekcie nieaktywnej.

Należy podkreślić, że odchylenie standardowe 0,1 mm otrzymane przy korekcie aktywnej to typowa wartość uzyskiwana przy porównaniu kolejnych rejestracji pola *picket fence*. Obrazuje ona powtarzalność działania kolimatora MLCi2, jak również dokładność procedur wyznaczania położenia listków w programie. Oznacza to, że stosowana korekta na skręcenie MLC względem panelu EPID w poprawny sposób uwzględnia w obliczeniach ten efekt. Brak tej korekty nawet przy niewielkich rotacjach obu układów prowadzi do istotnego zafałszowania wyników analizy.

Tabela 2 prezentuje wyniki porównania rzeczywistych pozycji listków z wartościami nominalnymi dla analizowanego pola *picket fence* bezpośrednio po przeprowadzonej kalibracji układu MLC dla 3 badanych akceleratorów. Średnie różnice wyznaczonych położenia listków względem pozycji nominalnych są mniejsze niż 0,1 mm, a odchylenia standardowe tych różnic są mniejsze niż 0,2 mm. Wartości te określają łączną niepewność stosowanej procedury kalibracji i metody określania położenia listków w stosowanym programie.

Określone przez nas dokładności pozycjonowania listków porównano z wynikami zamieszczonymi w pracy Y. Li [3]. Li analizuje szerokości szczeliny wyznaczone na poziomie poszczególnych listków w polu *picket fence*. Dla kolimatora MLCi podaje wartość odchylenia standardowego tych szerokości równą 0,2 mm. Dla pola *picket fence*, jakie stosowaliśmy w naszej pracy bezpośrednio po kalibracji MLC, uzyskaliśmy dla tego samego parametru wyniki: 0,18, 0,20, 0,20 mm (dla 3 badanych akceleratorów).

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analizy powtarzalności pozycjonowania listków przy 3 następujących po sobie rejestracjach pola *picket fence* (stabilność krótkoczasowa). W tabeli umieszczono dla każdego z akceleratorów najbardziej niekorzystne

Tabela 2 Porównanie wyznaczonych pozycji listków w analizowanym polu *picket fence* z pozycjami nominalnymi. ΔX_{sr} – oznacza średnią w obrębie banku różnicę położenia wyznaczonych i nominalnych, s – odchylenie standardowe tych różnic położenia

	LEWY bank		PRAWY bank	
	ΔX_{sr} [mm]	σ [mm]	ΔX_{sr} [mm]	σ [mm]
S1	0.05	0.15	-0.07	0.10
S2	-0.02	0.14	0.00	0.14
S3	0.01	0.14	0.04	0.16

Źródło: Opracowanie własne.

wyniki z porównania tych 3 rejestracji. Stwierdzamy, że stabilność krótkoczasowa pozycjonowania listków w kolimatorze MLCi2 jest bardzo dobra. Odchylenia standardowe różnic położenia listków w kolejnych realizacjach pola *picket fence* pozostają w każdym przypadku poniżej 0,1 mm.

Tabela 3 Porównanie wyznaczonych pozycji listków w analizowanym polu *picket fence* dla 2 kolejnych rejestracji. ΔX_{sr} – oznacza średnią w obrębie banku różnicę położenia wyznaczonych w tych 2 rejestracjach, s – odchylenie standardowe tych różnic położenia

	LEWY bank		PRAWY bank	
	ΔX_{sr} [mm]	σ [mm]	ΔX_{sr} [mm]	σ [mm]
S1	-0.01	0.06	0.03	0.08
S2	0.02	0.06	0.00	0.06
S3	0.00	0.05	0.01	0.06

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4 przedstawia wyniki analizy stabilności czasowej kalibracji MLC dla 3 badanych akceleratorów osobno dla lewego i prawego banku listków. Wyniki zaprezentowano w postaci średniej różnicy położenia oraz odchylenia standardowego tych różnic wyznaczonych względem położenia zarejestrowanych w dniu kalibracji układu MLC.

Stabilność czasowa kalibracji listków przez pierwszych 10 dni prowadzonej analizy (2 tygodnie) jest bardzo dobra – wartości średniej różnicy położenia nie przekraczają 0,16 mm, a odchylenie standardowe różnic wynosi maksymalnie 0,14 mm. Średnia wartość odchylenia standardowego w tym okresie wynosi 0,08 mm (uśrednienie dla 3 akceleratorów). W kolejnych tygodniach prowadzonej analizy obserwujemy stopniowy wzrost wartości odchylenia standardowego (najbardziej wyraźny dla akceleratora S2). Wzrost ten świadczy o stopniowym, niewielkim rozkalibrowaniu układu MLC. Maksymalna wartość σ zarejestrowana w ciągu 12 tygodni prowadzonej obserwacji to 0,23 mm.

W tabeli 5 przedstawiono wartości maksymalnych odchylenia pozycji listków od położenia ustalonych w momencie kalibracji układu MLC w okresie 12 tygodni prowadzonej obserwacji. W nawiasach podano numery listków, dla których stwierdzono te największe różnice. W przypadku, w którym wartość odchylenia była identyczna dla kilku listków, o wyborze listków decydowała największa częstotliwość występowania mierzonego odchylenia. Analizę położenia listków prowadzono do momentu wykonania kolejnej kalibracji. Stwierdzono, że maksymalne odchylenie nie przekraczało 0,5 mm.



Tabela 4 Stabilność czasowa pozycjonowania listków przez 10 kolejnych dni oraz raz w tygodniu przez kolejne tygodnie do czasu następnej kalibracji. ΔX_{sr} – średnia różnica położenia, σ – odchylenie standardowe różnic wyrażone w mm

tydzień	Lewy bank						tydzień	Prawy bank					
	S1		S2		S3			S1		S2		S3	
	ΔX_{sr}	σ	ΔX_{sr}	σ	ΔX_{sr}	σ		ΔX_{sr}	σ	ΔX_{sr}	σ	ΔX_{sr}	σ
1	-0.07	0.10	0.01	0.07	0.03	0.08	1	0.01	0.1	-0.02	0.07	-0.01	0.07
1	-0.04	0.09	-0.02	0.05	0.01	0.08	1	0.04	0.09	-0.01	0.05	-0.02	0.07
1	-0.02	0.07	-0.03	0.05	0.05	0.07	1	0.04	0.08	0.00	0.06	-0.06	0.06
1	-0.05	0.06	-0.02	0.07	0.05	0.08	1	0.02	0.07	-0.01	0.06	-0.04	0.06
1	-0.06	0.07	-0.01	0.05	0.04	0.08	1	-0.03	0.08	-0.02	0.05	-0.05	0.08
2	-0.04	0.07	-0.02	0.07	0.04	0.07	2	0.0	0.08	-0.01	0.07	-0.01	0.07
2	0.00	0.07	-0.04	0.07	0.05	0.07	2	0.08	0.08	-0.02	0.06	-0.04	0.06
2	-0.02	0.09	-0.06	0.08	0.02	0.09	2	0.07	0.08	-0.04	0.08	-0.03	0.08
2	-0.01	0.09	-0.06	0.07	0.07	0.14	2	0.06	0.09	-0.04	0.07	-0.16	0.15
2	-0.01	0.08	-0.04	0.07	0.08	0.14	2	0.08	0.08	-0.03	0.06	-0.08	0.13
3	-0.05	0.06	-0.1	0.08	0.01	0.08	3	0.02	0.07	0.07	0.1	-0.02	0.07
4	-0.01	0.09	-0.08	0.12	0.05	0.07	4	0.06	0.09	0.03	0.12	-0.04	0.06
5	-0.01	0.08	-0.06	0.13	0.07	0.14	5	0.08	0.08	0.03	0.14	-0.16	0.15
6	-0.01	0.1	-0.14	0.13	0.08	0.14	6	0.04	0.1	0.14	0.12	-0.08	0.13
7	0.05	0.1	-0.03	0.13	0.05	0.14	7	0.04	0.11	0.04	0.13	-0.12	0.15
8	-0.08	0.13	-0.11	0.12	0.02	0.13	8	-0.01	0.12	0.03	0.13	-0.08	0.12
9	-0.02	0.12	0.03	0.19			9	0.02	0.12	0.09	0.19		
10	0.04	0.14	0.14	0.18			10	-0.04	0.14	-0.02	0.16		
11	-0.09	0.14	0.0	0.22			11	-0.06	0.13	0.12	0.19		
12	-0.08	0.15	0.09	0.23			12	0.01	0.14	-0.04	0.17		

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5 Maksymalne odchylenia [mm] pozycji listków podczas realizacji pola Picket Fence od położenia zdefiniowanych podczas kalibracji układu MLC. W nawiasach podano numery listków, dla których wystąpiły te maksymalne różnice (listek numer 1 znajduje się najbliżej ramienia akceleratora)

Akcelerator S1		Akcelerator S2		Akcelerator S3	
Lewy Bank	Prawy bank	Lewy Bank	Prawy bank	Lewy Bank	Prawy bank
-0.4 (36)	-0.4 (13)	-0.4 (33)	0.5 (27)	0.5 (26)	-0.5 (8)

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Przedstawiono prostą metodę wyznaczenia wielkości piksela matrycy EPID. Stwierdzono, że wielkość piksela może różnić się dla poszczególnych akceleratorów, a także może zmieniać się w zależności od kąta ramienia. Opisano też zniekształcenia geometrii, których występowanie stwierdzono w posiadanych panelach EPID i test, który pozwala te zniekształcenia oszacować. Zniekształcenia te spowodowane są odstępstwami od idealnego wypoziomowania matrycy detektorów. Oszacowanie efektu zaburzenia geometrii umożliwia wprowadzenie korekt na ten efekt podczas analiz wykonywanych przy użyciu panelu EPID.

Zbadano stabilność czasową kalibracji MLC. Stwierdzono, że powtarzalność pozycjonowania listków jest bardzo dobra (ΔX_{sr} i σ poniżej 0,1 mm). W długim okresie obserwacji (12 tygodni) zauważalny jest stopniowy wzrost odstępstw pozycji MLC od wartości ustalonych w dniu kalibracji. W związku z tym, w naszej

opinii, wskazane jest powtarzanie testu położenia MLC w akceleratorze Synergy z częstością nie mniejszą niż raz w miesiącu. Wskazaniem do przeprowadzenia kolejnej kalibracji może być wartość odchylenia standardowego różnic położenia listków względem pozycji nominalnych przekraczająca 0,2 mm.

Podziękowanie

Autorzy wyrażają serdeczne podziękowanie mgr. inż. Michałowi Kłowskiemu z firmy Elekta za wyjaśnienia procedur kalibracji MLC stosowanych w akceleratorze Synergy.

Literatura

1. S.S. Samant i in.: *Verification of multileaf collimator leaf positions using an electronic portal imaging device*, Med.Phys., 29(12), 2002, 2900.
2. P. Rowshanfarzad i in.: *EPID-based verification of the MLC performance for dynamic IMRT and VMAT*, 39(10), 2012, 6192.
3. Y. Li i in.: *A quantitative method to the analysis of MLC leaf position and speed based on EPID and EBT3 film for dynamic IMRT treatment with different types of MLC*, J.Appl.Clin.Med.Phys., 18(4), 2017, 106.
4. AutoCAL 2.0, User Manual, IBA Dosimetry.