



Zastosowanie aplikacji Machine Performance Check (MPC) w codziennych testach kontroli jakości akceleratora TrueBeam wraz z analizą parametru zmiany wydajności

Use of Machine Performance Check (MPC) in daily TrueBeam accelerator quality assurance and analysis of the output change parameter

Magdalena Charmacińska, Olga Bąk, Marta Paluszyńska, Patrycja Borowska, Bartosz Pawatowski

Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań, tel. +48 67 222 51 36, e-mail: magdalena.charmacinska@wco.pl

Streszczenie

Wprowadzenie. Nieodłącznym elementem procesu radioterapii jest kontrola jakości pracy akceleratorów medycznych celem zapewnienia wysokiej jakości leczenia. Dzielne pomiary akceleratorów medycznych wykonywane są zawsze przed rozpoczęciem pracy klinicznej aparatu. W przypadku akceleratora TrueBeam (Varian) przy wykorzystaniu systemu Machine Performance Check (MPC) możliwe jest zrealizowanie zautomatyzowanego pomiaru stabilności wydajności wiązek, zgodności geometrycznych, a także analiza uzyskanych wyników.

Cel. Celem pracy było przedstawienie zastosowania fantomu IsoCal oraz systemu MPC w codziennych testach kontroli jakości akceleratora TrueBeam (Varian) oraz analiza parametru zmiany wydajności (output change) na trzech akceleratorach TrueBeam w oparciu o porównanie z wynikami uzyskanymi dwoma niezależnymi metodami pomiarowymi – komorą jonizacyjną typu Farmer (PTW) oraz urządzeniem QuickCheck (PTW).

Materiał i metoda. Badanie oparte jest na danych zbieranych przez cztery miesiące. Wykonywano codziennie pomiary przy użyciu systemu MPC, urządzenia QuickCheck (PTW) oraz komory jonizacyjnej typu Farmer (PTW) na trzech akceleratorach TrueBeam (Varian) znajdujących się w trzech różnych ośrodkach radioterapii. Wyniki przeanalizowano osobno dla każdego z trzech akceleratorów. Dla akceleratora 1 porównano wartości output change (MPC) oraz wydajność zmierzoną komorą jonizacyjną typu Farmer dla wiązek fotonowych o efektywnym potencjale przyspieszającym: 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF, 10 MV FFF. Dla

akceleratora 2 porównano wartości output change (MPC) z wartościami CAX (QuickCheck) dla wiązek fotonowych 6 MV oraz 15 MV. Dla akceleratora 3 porównano wartości output change (MPC), CAX (QuickCheck) oraz wydajność zmierzoną komorą jonizacyjną typu Farmer dla wiązek fotonowych: 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF, 10 MV FFF.

Wyniki. Zgodność wyników uzyskanych z codziennych pomiarów zbadano testem korelacji liniowej Pearsona. Wyniki uzyskane w badaniach ukazują, że różnice pomiędzy analizowanymi wynikami znajdują się w przedziale akceptacji oraz nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy żadnym z urządzeń pomiarowych. Na podstawie wizualnej oceny wykresów liniowych prezentujących zmianę wydajności w czasie można zauważyć podobną tendencję uzyskanych wyników.

Wnioski. Wyznaczone testem Pearsona wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy wartościami wydajności akceleratorów medycznych, uzyskanymi na podstawie wykonanych pomiarów, dowodzą o silnej korelacji pomiędzy wszystkimi metodami pomiarowymi na trzech analizowanych akceleratorach TrueBeam. Można zatem stwierdzić, iż dla analizowanego parametru stałości wydajności wiązki na trzech omawianych akceleratorach TrueBeam możliwe jest rozważenie zastąpienia pomiarów wykonywanych komorą jonizacyjną typu Farmer i za pomocą urządzenia QuickCheck, pomiarem output change w aplikacji MPC.

Słowa kluczowe: Machine Performance Check (MPC), TrueBeam, stabilność wydajności, codzienna kontrola jakości

otrzymano / received:

15.03.2021

poprawiono / corrected:

30.03.2021

zaakceptowano / accepted:

12.04.2021



Abstract

Introduction. An integral part of the radiotherapy process is quality assurance of medical accelerators to ensure high-quality treatment. Daily measurements of medical accelerators are always performed before the linacs begins its routine treatment. In the case of the TrueBeam accelerator (Varian) using the Machine Performance Check (MPC) it is possible to perform full verification and analysis of beam and geometric performance of the TrueBeam linac.

Aim. The aim of the study was to present the use of the IsoCal phantom and the MPC system in daily quality control tests of the TrueBeam accelerator (Varian) and the analysis of the Output Change parameter on three TrueBeam accelerators based on a comparison with the results obtained by two independent measurement methods – Farmer ionization chamber (PTW) and the QuickCheck (PTW) device.

Material and Method. The study is based on data collected over four months. Daily measurements were made using the MPC system, QuickCheck (PTW), and Farmer Ionization Chamber (PTW) on three TrueBeam accelerators (Varian) located at three different radiotherapy centers. The results were analyzed separately for each of the three accelerators. For accelerator 1, the output change (MPC) values and the output stability measured by the Farmer ionization chamber for four photon beam energies: 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF, 10 MV FFF were compared. For

accelerator 2, the output change (MPC) values were compared with the CAX (QuickCheck) values for the 6 MV and 15 MV photon beams. For the accelerator 3, the output change (MPC), CAX (QuickCheck) values and the output stability measured by the Farmer ionization chamber for 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF, 10 MV FFF photon beam energies were compared.

Results. The compliance of the results obtained from daily measurements was tested with the Pearson correlation coefficient. The results obtained in the study show that the differences between the analyzed results are within the acceptance range and no significant difference was found between any of the measuring devices. Based on the visual assessment of the line charts showing the change in output stability over time, can be observed a similar trend results.

Conclusion. The obtained high values of the Pearson correlation coefficients between the performance values of medical accelerators prove a strong correlation between all measurement methods on the three analyzed TrueBeam accelerators. It can therefore be concluded that for the analyzed parameter of beam constancy on the three analyzed TrueBeam accelerators, it is possible to consider replacing the measurements made with the Farmer ionization chamber and using the QuickCheck device, with the measurement of Output change in the MPC application.

Key words: Machine Performance Check (MPC), TrueBeam, output stability, daily quality assurance

Wprowadzenie

Nieodłącznym elementem procesu radioterapii jest kontrola jakości akceleratorów medycznych, której celem jest stałe zapewnienie wysokiej jakości leczenia. Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej określa wymagane do przeprowadzania testy eksploatacyjne aparatów radioterapeutycznych z podziałem na testy codzienne, tygodniowe, kwartalne, półroczne i roczne [1]. Wyniki uzyskiwane podczas testów powinny mieścić się w przedziale norm zawartych w rozporządzeniu. Dodatkowo wykonywane są również testy rekomendowane przez producentów aparatów medycznych.

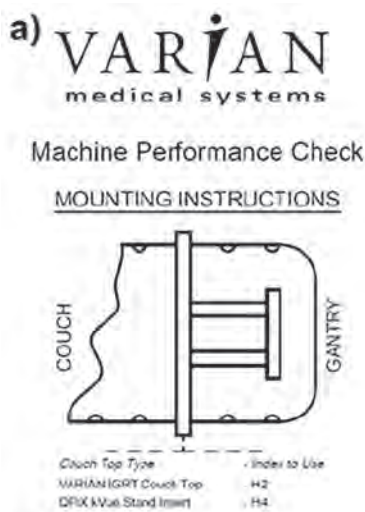
Codziennie pomiary akceleratorów medycznych wykonuje się zawsze przed rozpoczęciem pracy klinicznej aparatu. Do testów zalicza się pomiar stabilności wydajności aparatu terapeutycznego za pomocą komory jonizacyjnej umieszczonej w fantomie stałym lub wodnym, a także za pomocą dedykowanych urządzeń, np. QuickCheck (PTW) [2]. Dodatkowo wykonywana jest podstawowa weryfikacja zgodności geometrycznej aparatu, systemu obrazowania oraz stołu (w przypadku akceleratora TrueBeam wyposażonego w stół Varian PerfectPitch 6-DoF Couch, także weryfikacja ugięć stołu) [3].

W przypadku akceleratora TrueBeam (Varian), dzięki wykorzystaniu kasety portalowej EPID, dedykowanego fantomu IsoCal oraz aplikacji Machine Performance Check (MPC) możliwe jest zintegrowane przeprowadzenie pomiaru stabilności wydajności i zgodności geometrycznych oraz automatyczna analiza uzyskanych wyników [3].

Celem pracy było przedstawienie zastosowania systemu MPC w codziennych testach kontroli jakości akceleratora TrueBeam (Varian) oraz analiza parametru zmiany wydajności (output change) na trzech akceleratorach TrueBeam w oparciu o porównanie z wynikami uzyskanymi dwoma niezależnymi metodami pomiarowymi – komorą jonizacyjną typu Farmer (PTW) oraz urządzeniem QuickCheck (PTW).

Materiał i metoda

System Machine Performance Check (MPC) pozwala na przeprowadzenie w pełni automatycznej sekwencji, która wykorzystuje system obrazowania kV, MV oraz fantom IsoCal, o kształcie pustej w środku tuby o średnicy 23 cm. Na całej długości fantomu rozmieszczonych jest 16 czteromilimetrowych znaczników wykonanych z węgla wolframu [4]. Do testów MPC fantom zostaje umieszczony na dedykowanej podstawie w określonej orientacji i pozycji na stole terapeutycznym (Ryc. 1).

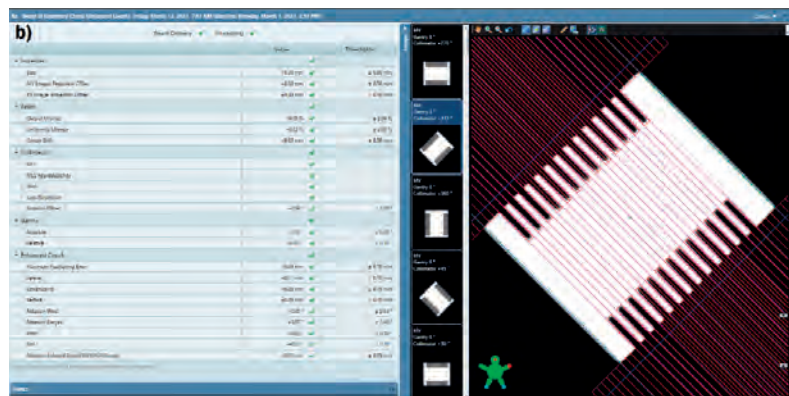
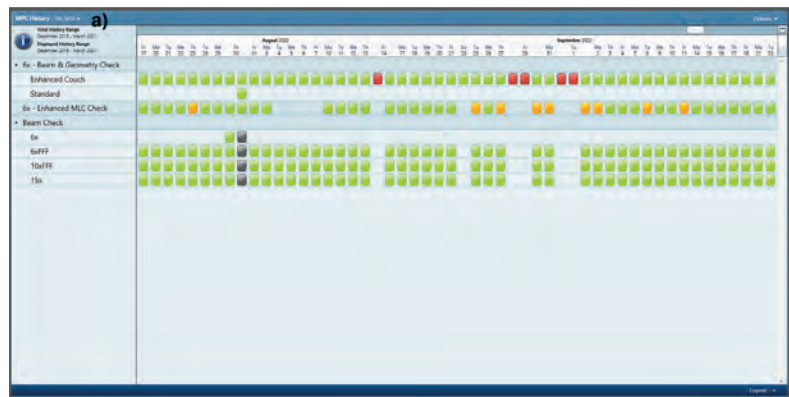


Ryc. 1a) Instrukcja orientacji fantomu oraz pozycja uchwytu na stole terapeutycznym; **b)** prawidłowe ustawienie fantomu IsoCal i dedykowanej podstawki na stole terapeutycznym

Źródło: a) Machine Performance Check 2.7 Reference Guide, Varian, 2018; b) Archiwum własne.

Przed pierwszym użyciem należy ustawić izocentrum fantomu z wykorzystaniem laserów, co zostaje zapisane jako pozycja referencyjna stołu. Przy każdym kolejnym użyciu stół automatycznie ustawi się zgodnie z zapisanymi wartościami. Po otwarciu aplikacji MPC system automatycznie wykonuje serie obrazów MV i kV, przejeżdżając na odpowiednie kąty kolimatora, gantry oraz stołu. Zarówno detektor megawoltowy, jak i kilowoltowy znajdują się w odległości 150 cm od źródła promieniowania [5]. Uzyskane obrazy są automatycznie oceniane w aplikacji. Wyniki testów na potrzeby szybkiej oceny dla poszczególnych energii oraz dni przedstawione są w formie 3 kolorów: zielony – wartości prawidłowe, żółty – wartości akceptowalne, ale co najmniej jeden z testowanych parametrów przekroczył pierwszy limit tolerancji, czerwony – wartości nieprawidłowe – poza granicami tolerancji (Ryc. 2a) [3]. Wyniki mogą również być analizowane w aplikacji offline.

Wyróżnia się 4 główne grupy testów obejmujące: stałość wydajności, geometrię, rozszerzone testy MLC oraz testy stołu podstawowe lub rozszerzone. W poniższym badaniu wykorzystano aplikację MPC w wersji 2.24, w której podczas testów (wliczając testy rozszerzone dla MLC i stołu) wykonywana jest seria 79 obrazów, w tym 26 ekspozycji kilowoltowych oraz 53 obrazy megawoltowe. W zależności od rodzaju testu ekspozycja wykonywana jest z wykorzystaniem kasety portalowej lub z fantomem IsoCal. Testy stałości wydajności wykonywane są dla wszystkich dostępnych wiązek fotonowych na akceleratorze TrueBeam: 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF oraz 10 MV FFF, natomiast pozostałe testy realizowane są tylko dla wiązki 6 MV.



Ryc. 2a) Wyniki testów na potrzeby szybkiej oceny dla poszczególnych energii oraz dni; **b)** ocena offline wyników

Źródło: Opracowanie własne.

Stołość wydajności

W testach obejmujących stałość wydajności można wyszczególnić trzy analizowane parametry: zmiana wydajności (output change), zmiana jednorodności (Uniformity Change) oraz względne przesunięcie osi wiązki (Center Shift) [3]. Testy



wykonywane są dla wszystkich energii fotonowych dostępnych na akceleratorze.

Parametr określający zmianę wydajności ukazuje procentową zmianę wartości odpowiedzi detektora umieszczonego w centralnym punkcie kasety portalowej EPID [3]. Pomiar nie zastępuje pomiaru dozymetrycznego, nie określa wartości wydajności. Stabilność pomiarów może zmienić się po regulacji wiązki promieniowania. Poprzez zmianę jednorodności określa się całkowitą procentową zmianę odpowiedzi detektora w centralnym punkcie kasety portalowej [3, 6]. Obliczona zostaje różnica pomiędzy wartościami pikseli z najniższą i najwyższą różnicą od wartości średniej. Pomiar może wskazać zmiany degradacyjne w targacie, filtrze spłaszczającym oraz problemy z systemem sterowania wiązką [3, 7]. Parametr względnego przesunięcia osi wiązki opisuje względne przesunięcia izocentrum pola definiowanego przez szczęki [3]. Izocentrum pola ustalane jest poprzez wykrywanie krawędzi szczęk znajdujących się na uzyskanym obrazie megawoltowym z użyciem kasety portalowej (Ryc. 3a) [3, 4]. Określa sumaryczną wartość przesunięcia układu sterowania oraz kolimacji wiązki oraz systemu obrazowania megawoltowego [3, 4].

Geometria

Kontrola geometrii aparatu pozwala na ocenę dokładności pozycjonowania osi mechanicznych akceleratora TrueBeam. Wyróżnia się testy sprawdzające izocentrum, kolimator (w tym MLC) oraz stół.

a) Izocentrum

Weryfikacja zgodności izocentrum jest jednym z kluczowych elementów testów kontroli jakości akceleratora. W aplikacji MPC do sprawdzenia izocentrum wykorzystywany jest fantom IsoCal, który podczas pomiaru znajduje się w osi wiązki. Zgodność izocentrum definiowana jest jako punkt przecięcia centralnej osi wiązki podczas obrotu gantry [3]. W MPC centralna oś wiązki definiowana jest jako środek obrotu MLC dla pięciu kątów kolimatora: 270°, 315°, 0°, 45°, 90° (Ryc. 3b). Izocentrum leczenia sprawdzane jest na podstawie wykonanej ekspozycji z ośmiu kątów gantry: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° (Ryc. 3c, 3d). Sprawdzenie zgodności określane jest na podstawie przewidywanej oraz rzeczywistej pozycji szesnastu wolframowych znaczników znajdujących się na fantomie IsoCal [3].

Podczas pomiarów zgodności izocentrum ocenie podlega rozmiar oraz przesunięcie projekcji obrazowania kilowoltowego (kV) (KV Imager Projection Offset) oraz megawoltowego (MV) (MV Imager Projection Offset). Za pomocą fantomu IsoCal oprogramowanie wyznacza wielkość izocentrum leczenia (treatment isocenter). Wielkość izocentrum leczenia wyznaczana jest jako maksymalna odległość pomiędzy osią centralną wiązki wyznaczoną dla kątów głowy: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° a izocentrum teoretycznym [3]. Centralna oś wiązki wyznaczona jest za pomocą MLC. Ocenie podlega przesunięcie izocentrum

leczenia względem środków kaset systemów obrazujących. Parametr Imager Projection Offset MV oraz kV określa maksymalną odległość izocentrum leczenia od środka kasety portalowej, która korygowana jest za pomocą procedury IsoCal Calibration [3].

b) Kolimacja wiązki

Aby określić dokładność pozycjonowania, wykonywana jest ekspozycja z pól statycznych przy pozycji gantry 0°. Pozycja układu kolimującego wiązkę jest wyznaczana na podstawie uzyskanych obrazów jako punkt posiadający najwyższy gradient profilu, który jest prostopadły do krawędzi kolimatora [3, 5]. Wiązka może być skolimowana przez MLC lub szczęki kolimatora.

Dokładność pozycjonowania każdego z listków MLC sprawdzana jest poprzez ekspozycję dla pola statycznego przy ułożeniu co drugiego listka we wzór przypominający grzebień (Ryc. 3e). Sprawdzany jest dystans pomiędzy zakończeniem listka a linią środkową MLC, definiowaną jako linię przechodzącą przez środek obrotu MLC, która jest prostopadła do krawędzi listków [3, 4]. Oceniane jest średnie i maksymalne przesunięcie listków MLC dla banku A oraz banku B. Przesunięcia oceniane są dla określonych par listków, które definiują maksymalny wymiar pola uzyskany w odległości 150 cm [4]. Dla kolimatora 120 Millennium MLC oceniane jest 40 par środkowych listków (11-50), dla kolimatora HD 120 Millennium High-Definition MLC uwzględnia się listki 2-59 [3].

Dla akceleratorów posiadających 120-listkowy kolimator High Definition MLC zalecane jest wykonywanie rozszerzonych testów dla MLC (Enhanced MLC). W porównaniu z podstawowymi testami kontroli geometrii, obrazy uzyskiwane są przy wysokości kasety portalowej SID = 100 cm oraz przy kącie kolimatora 301° umożliwiającym ocenę pozycji wszystkich listków, niezależnie od typu MLC i detektora (Ryc. 3f) [3]. Dokładność pozycjonowania jest określana za pomocą ekspozycji z pola statycznego, przy ułożeniu listków przypominającym wzór grzebienia, podobnie jak w podstawowych testach geometrii kolimatora.

W serii testów geometrycznych sprawdzany jest również parametr przesunięcia poszczególnych szczęk kolimatora – X1, X2, Y1, Y2 (Jaws Offset). Pomiar wykonywany jest przy użyciu obrazu uzyskanego z ekspozycji pola otwartego o wymiarach 18 x 18 cm i SID = 150 cm [3, 8]. Przesunięcie szczęk definiowane jest jako odległość pomiędzy krawędzią szczęki a linią środkową MLC (Ryc. 3a) [3, 4].

Ostatnim wykonywanym testem sprawdzającym kolimację wiązki jest niezgodność obrotu kąta kolimatora (Rotation Offset). Niezgodność określana jest jako maksymalne odchylenie wartości nominalnej względem rzeczywistego kąta obrotu kolimatora wyznaczonego przez krawędzie listków MLC [3, 9].

c) Gantry

Testy sprawdzające gantry obejmują wartość absolutną i względną niezgodności obrotu kąta gantry. Absolutną dokładność pozycjonowania definiuje się jako zbieżność pionowej osi



stołu z centralną osią wiązki w pozycji gantry 0° [5]. W przypadku ruchu wzdłuż osi pionowej stołu MPC ocenia wszelkie przesunięcia fantomu w osi poprzecznej lub podłużnej względem wiązki i izocentrum jako wartość absolutną niezgodności [3, 5].

Wartość względną niezgodności obrotu kąta gantry opisuje się jako maksymalne odchylenie pomiędzy aktualnym kątem gantry, wyznaczonym za pomocą uzyskanych obrazów megawoltowych z wykorzystaniem fantomu IsoCal, a nominalnym kątem gantry [3, 4]. Wartości są porównane dla ośmiu kątów gantry: 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° .

d) Stół

MPC mierzy dokładność pozycjonowania różnych osi stołu w odniesieniu do pozycji referencyjnej (ustalonej jako stały układ współrzędnych przy użyciu obrazów MV i kV z wykorzystaniem fantomu IsoCal). Test polega na przesunięciu stołu we wszystkich dostępnych osiach na różne pozycje i określane są rzeczywiste odległości osi stołu [3]. Standardowa procedura pomiarów wartości przewiduje przesunięcia stołu w ruchu pionowym (vertical) o: $+15$ cm, w ruchu podłużnym (longitudinal) o: -5 cm, w ruchu poprzecznym (lateral) o: $+5$ cm, rotacją (rotation) o 10° oraz dla stołu 6DoF (Varian PerfectPitch 6-DoF Couch) wartości nachylenia podłużnego (pitch) o: $+3^\circ$ oraz poprzecznego (roll) o: -3° [4].

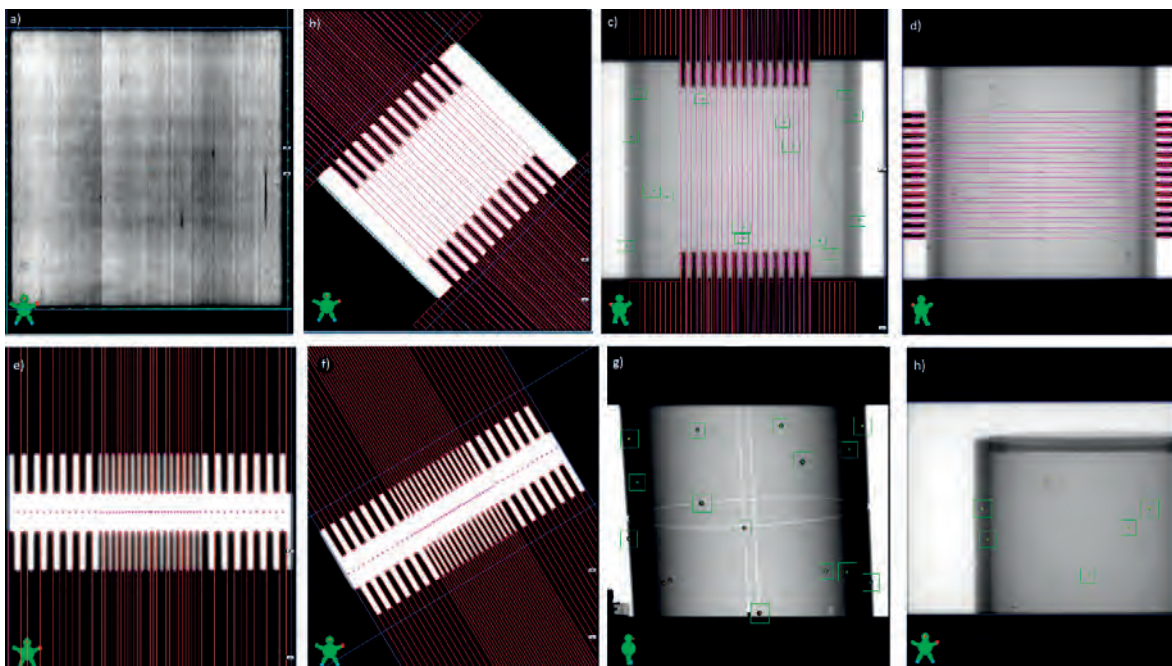
Dla stołu 6DoF rekomendowane przez producenta jest wykonywanie rozszerzonych testów stołu. W przeciwieństwie do

standardowych pomiarów stołu, przesunięcie każdej osi jest oceniane dla wielu kątów stołu [3] (Ryc. 3g, 3h). W konsekwencji przesunięcia dla każdej osi są raportowane jako maksymalne bezwzględne przesunięcia [3].

Po wykonaniu wszystkich testów możliwe jest wygenerowanie raportu z codziennych pomiarów z wykorzystaniem aplikacji MPC. W raporcie zawarte są nazwy mierzonych wartości, tolerancje oraz wyniki, które przedstawione są w formie różnicy odnoszącej się do wartości zapisanego pomiaru referencyjnego (baseline). Pomiar referencyjny zapisywany jest podczas pierwszego użycia aplikacji MPC i według zaleceń producenta powinien być aktualizowany po regulacji parametrów wiązki lub geometrii aparatu, wykonanych inną niezależną metodą pomiarową [3].

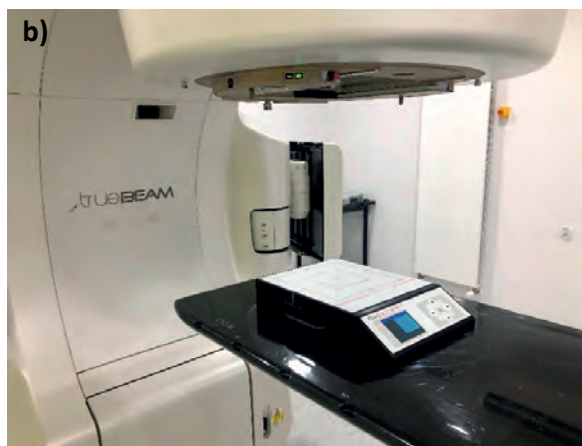
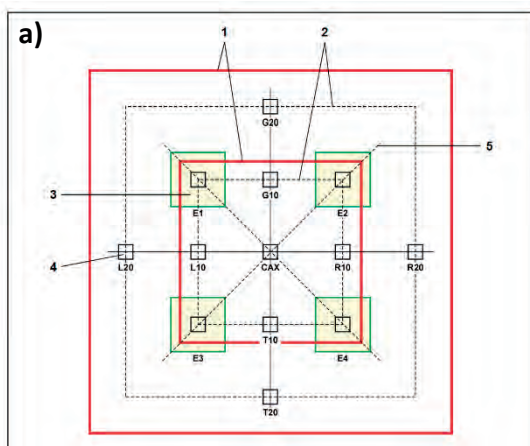
Badanie oparte jest na danych zbieranych przez cztery miesiące. Wykonywano codziennie testy przy użyciu systemu MPC na trzech akceleratorach TrueBeam (Varian) znajdujących się w trzech różnych ośrodkach radioterapii. Pierwszy z nich posiada kolimator wielolistkowy 120 Millenium MLC oraz podstawowy stół. Drugi z akceleratorów wyposażony jest w kolimator wielolistkowy MLC HD (120 Millenium High-Definition MLC) oraz stół 6DoF (Varian PerfectPitch 6-DoF Couch). Trzeci akcelerator posiada kolimator wielolistkowy 120 Millenium MLC oraz stół 6DoF (Varian PerfectPitch 6-DoF Couch).

Celem porównania tendencji wyników obejmujących stałość wydajności wiązki (output change) przeprowadzone zostały



Ryc. 3 Przykładowe obrazy wykonywane podczas testów MPC: **a)** megawoltowe pole otwarte o wymiarach 18×18 cm z wykorzystaniem kasety portalowej; **b)** megawoltowe pole otwarte z MLC ułożonym we wzór przypominający grzebień, służące do zdefiniowania centralnej osi wiązki; **c)** i **d)** megawoltowe pola otwarte z MLC ułożonym we wzór przypominający grzebień z użyciem fantomu IsoCal, wykorzystywane do wyznaczenia izocentrum leczenia; **e)** dokładność pozycjonowania każdego z listków MLC sprawdzana poprzez ekspozycję MV dla pola statycznego przy ułożeniu co drugiego listka we wzór przypominający grzebień; **f)** ekspozycja MV przy wysokości kasety portalowej $SID = 100$ cm oraz przy kącie kolimatora 301° dla rozszerzonych testów dla MLC (Enhanced MLC); **g)** i **h)** ekspozycje kilowoltowe fantomu IsoCal dla różnych kątów stołu wykonywane przy rozszerzonych testach stołu (Enhanced Couch)

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 4a) Schemat rozmieszczenia komórek jonizacyjnych w urządzeniu QuickCheck; **b)** urządzenie QuickCheck ustawione na stole terapeutycznym przygotowane do rozpoczęcia pomiarów

Źródło: a) User Manual QUICKCHECK System QUICKCHECKweblin T42031. PTW; b) Archiwum własne.

niezależne pomiary wydajności za pomocą urządzenia Quick-Check (PTW) oraz komory jonizacyjnej typu Farmer (PTW).

QuickCheck jest urządzeniem dedykowanym do codziennych testów kontroli jakości akceleratora medycznego. Pozwala na pomiar i automatyczną analizę dawki oraz kształtu wiązki. Zawiera 13 komórek jonizacyjnych, umieszczonych wewnątrz urządzenia (Ryc. 4) [10, 11]. Uzyskane wyniki pomiaru dawki, określanego jako parametr CAX, który odpowiada dawce promieniowania zmierzonej przez komorę położoną centralnie, uwzględniają korekcję ze względu na temperaturę i ciśnienie [10]. Dawka obliczana jest automatycznie przez urządzenia po wyłączeniu promieniowania na podstawie wzoru:

$$CAX = M_{CAX} \cdot N_{CAX} \cdot k_{TP} \quad [10],$$

gdzie:

M_{CAX} – ładunek zmierzony przez centralną komorę CAX

N_{CAX} – współczynnik kalibracyjny ^{60}Co centralnej komory CAX

k_{TP} – współczynnik korekcji gęstości powietrza opisany wzorem:

$$k_{TP} = \frac{(273,2+T) \cdot P_0}{(273,2+T_0) \cdot P} \quad [2],$$

gdzie:

T – temperatura zmierzona przez QuickCheck [°C]

P – ciśnienie atmosferyczne zmierzone przez QuickCheck [hPa]

T_0 – temperatura kalibracyjna 20°C

P_0 – ciśnienie atmosferyczne kalibracyjne 20°C.

Pomiar dawki przeprowadzany był zgodnie z instrukcją obsługi. Urządzenie umieszczone było na stole terapeutycznym w odległości SDD (Source Detector Distance) = 100 cm. Pomiar wykonany był dla pola o wymiarach 10 x 10 cm, czas promieniowania wynosił 200 MU (Monitor Units) przy mocy dawki 600 MU/min [2].

Do drugiego niezależnego pomiaru stałości wydajności akceleratora wykorzystano cylindryczną komorę jonizacyjną typu Farmer 30013 (PTW) umieszczoną w płytce wykonanej z PMMA (Ryc. 5a) [12]. Płytkę wraz z komorą umieszczona była

w uchwycie kolimatora aparatu (5b). Pomiary wykonano zostały z użyciem elektrometru UNIDOS (PTW) poprzez dostarczenie 200 MU, moc dawki 600 MU/min, przy wielkości pola 10 x 10 cm.



a)



b)

Ryc. 5a) Cylindryczna komora jonizacyjna typu Farmer 30013 (PTW); **b)** komora pomiarowa umieszczonej w płytce wykonanej z PMMA i umieszczonej w uchwycie kolimatora aparatu

Źródło: a) Ionizing Radiation Detectors, PTW, 2019/2020, www.ptwdosimetry.com; data dostępu: 29.03.2021), b) Archiwum własne.

Wyniki

Wyniki przeanalizowano osobno dla każdego z trzech akceleratorów. Dla akceleratora 1 porównano wartości output change (MPC) oraz wydajność zmierzoną komorą jonizacyjną typu Farmer dla energii 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF, 10 MV FFF. Dla akceleratora 2 porównano wartości output change (MPC) z wartościami CAX (QuickCheck) dla energii 6 MV oraz 15 MV. Dla akceleratora 3 porównano wartości output change (MPC), CAX (QuickCheck)



oraz wydajność zmierzoną komorą jonizacyjną typu Farmer dla energii 6 MV, 15 MV, 6 MV FFF, 10 MV FFF.

Zgodność wyników uzyskanych z codziennych pomiarów zbadano testem korelacji liniowej Pearsona. Wykresy ilustrujące powyższą zależność dla trzech akceleratorów TrueBeam dla energii 6 MV zilustrowano na rycinach 6-8. Pozostałe uzyskane wartości współczynników korelacji Pearsona dla poszczególnych energii oraz akceleratorów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Wartości współczynników korelacji Pearsona dla poszczególnych wiązek fotonowych dla trzech analizowanych akceleratorów

	6 MV	15 MV	6 MV FFF	10 MV FFF
AKCELERATOR 1	0,82	0,85	0,77	0,69
AKCELERATOR 2	0,93	0,92	-	-
AKCELERATOR 3	0,72	0,61	0,74	0,65

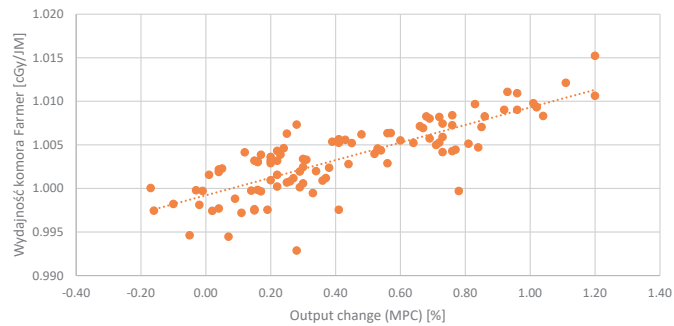
Źródło: Opracowanie własne.

Ryciny 9-11 ilustrują zmienność wydajności trzech analizowanych akceleratorów TrueBeam dla energii 6 MV w czasie, wyznaczoną za pomocą komory jonizacyjnej typu Farmer, urządzenia QuickCheck oraz wartości output change (MPC). Wykresy ukazują podobieństwo tendencji wyników uzyskanych za pomocą trzech niezależnych metod pomiarowych.

Dyskusja

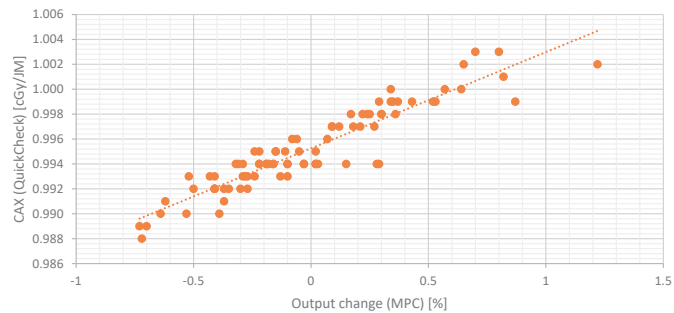
Machine Performance Check (MPC) to zintegrowane narzędzie służące do codziennej kontroli jakości akceleratora. Aplikacja została zaprojektowana tak, aby umożliwić przy wykorzystaniu jednej aplikacji oraz fantomu IsoCal kompleksowe wykonanie 79 testów sprawdzających geometrię aparatu, system obrazowania oraz określone parametry wiązki promieniowania [3]. Natychmiastowo po zakończonej serii testów obliczany jest wynik, dzięki czemu osoba wykonująca pomiar może od razu stwierdzić poprawność działania aparatu i przystąpić do pracy klinicznej. Kompleksowość pomiarów oraz w dużej mierze zautomatyzowany proces wykonywania testów, a także stałe stabilne umieszczenie uchwytu i fantomu na stole terapeutycznym zawsze w tej samej pozycji pozwala na wyeliminowanie błędów wynikających na przykład z niedokładności ustawienia innego przyrządu pomiarowego.

Wyznaczone testem Pearsona wysokie wartości współczynników korelacji pomiędzy wartościami wydajności akceleratorów medycznych, uzyskanymi na podstawie pomiarów wykonanych komorą jonizacyjną typu Farmer umieszczoną w fantomie wykonanym z PMMA, z użyciem urządzenia QuickCheck oraz z wykorzystaniem MPC, dowodzą o silnej korelacji pomiędzy wszystkimi metodami pomiarowymi na



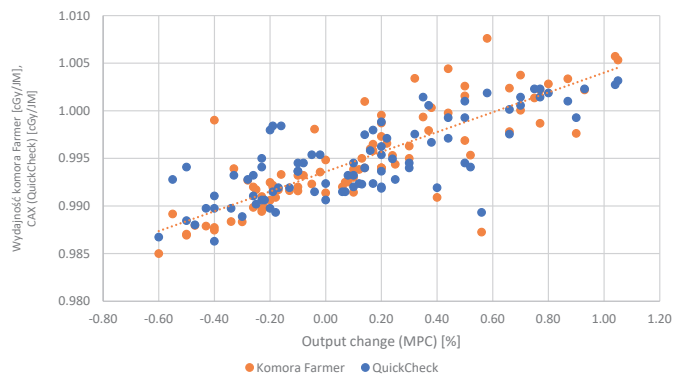
Ryc. 6 Korelacja pomiędzy wartościami output change wyznaczonymi przy użyciu urządzenia MPC i wydajnością zmierzoną komorą jonizacyjną typu Farmer, umieszczoną w płytce PMMA dla energii X 6 MV dla akceleratora 1

Źródło: Opracowanie własne.



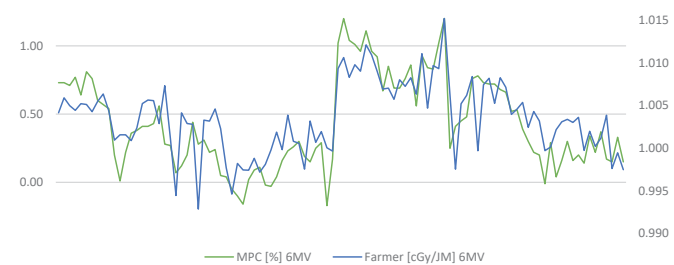
Ryc. 7 Korelacja pomiędzy wartościami output change wyznaczonymi przy użyciu urządzenia MPC i wartościami wydajności wyznaczonymi przy użyciu urządzenia QuickCheck (parametr CAX) dla energii X 6 MV dla akceleratora 2

Źródło: Opracowanie własne.



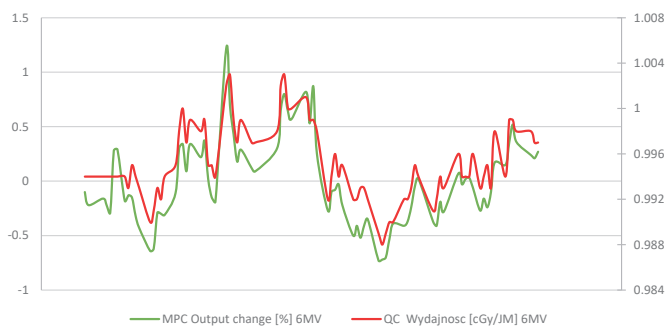
Ryc. 8 Korelacja pomiędzy wartościami output change wyznaczonymi przy użyciu urządzenia MPC, wartościami wydajności wyznaczonymi przy użyciu urządzenia QuickCheck (parametr CAX) oraz wydajnością zmierzoną komorą jonizacyjną typu Farmer umieszczoną w płytce PMMA dla energii X 6 MV dla akceleratora 3

Źródło: Opracowanie własne.

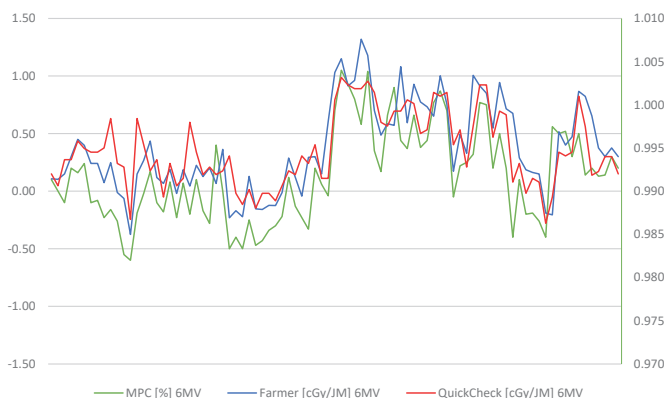


Ryc. 9 Zmienność wydajności akceleratora 1 dla energii X 6 MV wykresiona dla pomiarów wykonanych za pomocą komory jonizacyjnej typu Farmer oraz aplikacji MPC

Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 10 Zmienność wydajności akceleratora 2 dla energii X 6 MV wykreślona dla pomiarów wykonanych za pomocą urządzenia QuickCheck oraz aplikacji MPC
Źródło: Opracowanie własne.



Ryc. 11 Zmienność wydajności akceleratora 3 dla energii X 6 MV wykreślona dla pomiarów wykonanych za pomocą komory jonizacyjnej typu Farmer, urządzenia QuickCheck oraz aplikacji MPC
Źródło: Opracowanie własne.

trzech analizowanych akceleratorach TrueBeam. Na podstawie wizualnej oceny wykresów liniowych prezentujących zmianę wydajności w czasie można zauważyć podobną tendencję uzyskanych wyników. Wyniki uzyskane w badaniach ukazują, że różnice pomiędzy analizowanymi wynikami znajdują się w przedziale akceptacji oraz nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy żadnym z urządzeń pomiarowych.

Wnioski

Można zatem stwierdzić, iż dla analizowanego parametru stałości wydajności wiązki na trzech omawianych akceleratorach TrueBeam możliwe jest rozważenie zastąpienia pomiarów wykonywanych komorą jonizacyjną typu Farmer i za pomocą urządzenia QuickCheck, pomiarem output change w aplikacji MPC. Aby rozważyć całościowe zastąpienie codziennych pomiarów kontroli jakości dla parametrów dozymetrycznych, jak i geometrycznych, należy poszerzyć badanie o inne parametry mierzone w MPC i porównać je niezależnymi metodami. β

1. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dn. 3 kwietnia 2017 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej. Dz. U. 2017 poz. 884.
2. IAEA. Technical Report Series no. 398, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Vienna, 2000.
3. Machine Performance Check 2.7 Reference Guide, Varian, 2018.
4. A. Clivio, E. Vanetti, S. Rose, G. Nicolini, M.F. Belosi, L. Cozzi, C. Baltes, A. Fogliata: *Evaluation of the Machine Performance Check application for TrueBeam Linac*, Radiation Oncology, 2015, 10, 97.
5. M.P. Barnes, P.B. Greer: *Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC): mechanical and collimation checks*, J Appl Clin Med Phys, 18(3), 2017, 56-66.
6. D. Binny, T. Aland, B.R. Archibald-Heeren, J.V. Trapp, T. Kairn, S.B. Crowe: *A multi-institutional evaluation of machine performance check system on treatment beam output and symmetry using statistical process control*, J Appl Clin Med Phys, 2019, 1-10.
7. M.P. Barnes, P.B. Greer: *Evaluation of the TrueBeam machine performance check (MPC) beam constancy checks for flattened and flattening filter-free (FFF) photon beams*, J Appl Clin Med Phys, 18, 2017, 139-150.
8. M.P. Barnes, D. Pomare, F.W. Menk, B. Moraro, P.B. Greer: *Evaluation of the truebeam machine performance check (MPC): OBI X-ray tube alignment procedure*, J Appl Clin Med Phys, 2017, 1-11.
9. S. Gao, W. Du, P. Balter, P. Munro, A. Jeung: *Evaluation of IsoCal geometric calibration system for Varian linacs equipped with on-board imager and electronic portal imaging device imaging systems*, J Appl Clin Med Phys, 15(3), 2014, 164-181.
10. User Manual QUICKCHECK System QUICKCHECKweblinae T42031, PTW.
11. P. Borowska, U. Sobocka-Kurdyk, B. Pawatowski: *Wdrożenie urządzenia QuickCheck firmy PTW do codziennej kontroli stabilności wydajności akceleratorów medycznych*, Letters in Oncology Science, 15(4), 2018, 150-156.
12. Ionizing Radiation Detectors, PTW, 2019/2020, www.ptwdosimetry.com, data dostępu: 29.03.2021.