



# Pomiar mechanicznego izocentrum przyspieszaczy liniowych z użyciem optycznego systemu NaviRation

## Measurements of mechanical isocenter of linear accelerators with NaviRation optical system

Paweł Kukotowicz<sup>1</sup>, Dariusz Szatkowski<sup>2,3</sup>, Mikołaj Tarchalski<sup>2,3</sup>, Adam Matkiewicz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Zakład Fizyki Medycznej, Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie Państwowy Instytut Badawczy, ul. Roentgena 5, 02-798 Warszawa, e-mail: pawel.kukotowicz@pib-nio.pl

<sup>2</sup>NaviRation, Sp. z o.o., ul. F. Chopina 41/2, 20-023 Lublin, kontakt@naviration.com

<sup>3</sup>Centrum Naukowo-Przemysłowe

<sup>4</sup>Narodowy Instytut Badań Jądrowych

### Streszczenie

### Abstract

W publikacji zamieszczamy pierwsze wyniki pomiaru izocentrow mechanicznych obrotowych elementów przyspieszacza liniowego ramienia, kolimatora i stołu terapeutycznego wykonanych z użyciem optycznego systemu NaviRation®. Pomiaru zostały wykonane na przyspieszaczach: Clinac 2300 CD, Vitalbeam, TrueBeam i Edge firmy Varian i przyspieszaczu Synergy i Versa HD firmy Elekta. Średnica izocentrum mechanicznego ramienia przyspieszacza Clinac 2300 CD wyniosła 1,0 mm, przyspieszacza Versa HD niemal 4 mm. W przypadku przyspieszacza Elekty zmiany położenia osi obrotu ramienia są kompensowane poprzez sterowanie wiązką elektronów padających na target. Dzięki takiemu formowaniu wiązki terapeutycznej średnica izocentrum promieniowania może być znacznie mniejsza niż średnica izocentrum mechanicznego. Niepewność wykonania pomiaru z użyciem systemu optycznego wynosi około 0,1 mm. Wykonanie pomiaru wszystkich ruchów obrotowych nie przekracza 20 minut. Zaletami systemu optycznego są: wysoka precyzja i wiarygodność oraz niezależność pomiarów od akceleratora i wykonującego go użytkownika.

We present the first results of mechanical isocenter measurement of gantry, collimator and treatment table obtained with the optical system NaviRation®. The isocenters were measured for Varian accelerators Clinac 2300 CD, Vitalbeam, TrueBeam and Edge and for Elekta accelerators Synergy and Versa HD. The diameter of mechanical isocenters of all Varian accelerators were smaller than 1 mm. For Elekta accelerator the diameter was almost 4 mm, however, for Elekta accelerator the diameter of radiation isocenter is much smaller. The uncertainty of measurement is less than 0.1 mm. The time of the whole procedure is smaller than 20 minutes. The advantages of the optical system are: high precision and reliability, as well as independence of measurements on the accelerator and the user performing it.

**Słowa kluczowe:** izocentrum mechaniczne, kontrola jakości przyspieszaczy liniowych, pomiarowy system optyczny

**Key words:** mechanical isocenter, quality control of linear accelerators, optical measurement system

otrzymano / received:

17.10.2022

poprawiono / corrected:

27.10.2022

zaakceptowano / accepted:

07.11.2022

## Wprowadzenie

W pierwszym numerze „Inżyniera i Fizyka Medycznego” [1] z tego roku opisaliśmy krótko urządzenie o nazwie NaviRation® przeznaczone do wyznaczania izocentrum mechanicznego przyspieszaczy liniowych. Projekt mający na celu wdrożenie tego urządzenia do użytku klinicznego jest realizowany we współpracy z Narodowym Instytutem Onkologii Państwowym Instytutem Badawczym w ramach Centrum Naukowo-Przemysłowego. Zasada działania tego urządzenia polega na synchronicznej rejestracji dwoma kamerami targetów przymocowanych do ruchomych części przyspieszacza. W nowej wersji urządzenia kamery są zamontowane w odległości 80 cm od siebie na poziomej bazie, która jest przymocowana do trzyczęściowego składanego ramienia. Konstrukcja ramienia umożliwia umieszczenie kamer w pozycji pomiarowej w odległości około 120 cm od targetu. W obecnym rozwiązaniu znacznie łatwiejszy jest wybór niekolizyjnej ze stołem terapeutycznym pozycji mobilnej platformy. Zmniejszone zostały wymiary platformy jezdnej oraz zastosowano nowe źródło światła. Bardzo duża moc zastosowanej lampy zapewnia lepszą widoczność targetów i skrócenie czasu ekspozycji. Ten ostatni parametr wpływa na dokładność pomiaru położenia ruchomego targetu. Im krótsza ekspozycja, tym większa precyzja pomiaru. Pozostałe cechy drugiej wersji urządzenia pomiarowego nie uległy zmianie. Kamery posiadają matrycę o wielkości 5 Mpix (przy rozmiarze pojedynczego piksela 5  $\mu\text{m}$  x 5  $\mu\text{m}$ ; akwizycja obrazu jest realizowana z częstotliwością do 22 Hz (obraz mono, 8 bit na piksel)). Istotne zmiany zostały

wprowadzone w aplikacji obsługującej pomiar. W dużym stopniu czynności zostały zautomatyzowane i dopasowane do przyzwyczajeń fizyków medycznych wykonujących pomiary. Zrezygnowaliśmy ze stosowania targetu przestrzennego na rzecz targetu dwumiarowego, który może być ustawiany pod dowolnym kątem względem płaszczyzny poziomej. W przypadku pomiaru izocentrum ramienia przyspieszacza target jest umieszczany pionowo, w przypadku pomiarów izocentrum kolimatora i stołu terapeutycznego poziomo. Całkowicie zmieniony został moduł prezentacji wyników. Obecnie użytkownik może zapoznać się z wynikami prezentowanymi dwuwymiarowo, w płaszczyznach poziomych (lewo-prawo i głowa-nogi) oraz pionowej (lewo-prawo i góra-dół). Może również oglądać wyniki trójwymiarowe. Ta ostatnia opcja umożliwia obrót układu współrzędnych, w którym prezentowane są wyniki. NaviRation® umożliwia wykonanie wszystkich testów mechanicznych przyspieszacza liniowego. Pomiar izocentrum mechanicznego zajmuje około 20 minut, wykonanie pozostałych testów (precyzja pozycjonowania stołu terapeutycznego, weryfikacja działania telemetru) to dodatkowe 10 minut. Izocentrum akceleratora medycznego jest wyznaczane z dokładnością większą niż 0,1 mm. Dokładność pomiaru została potwierdzona przez Główny Urząd Miar oraz pomiarami wewnętrznymi, wykonanymi za pomocą urządzenia symulującego działanie przyspieszacza liniowego (ruchy obrotowe i translacja), którego niepewność nie przekracza 0,05 mm. Na rycinie 1 pokazujemy obecną konstrukcję urządzenia pomiarowego NaviRation® do wykonywania testów mechanicznych przyspieszacza liniowego.



Ryc. 1 Optyczny system pomiarowy NaviRation®  
Źródło: Archiwum własne.

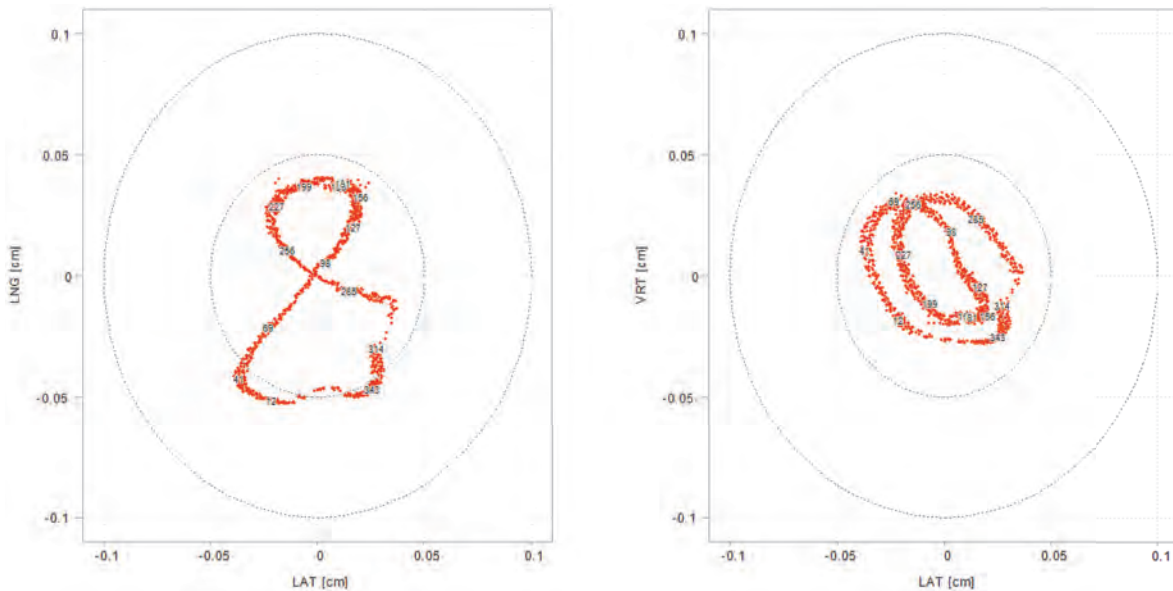


## Pomiary izocentrum mechanicznego przyspieszaczy liniowych firmy Varian i Elekta

Z użyciem omawianego urządzenia pomiarowego wykonaliśmy pomiary przyspieszaczy liniowych firmy Varian i Elekta w trzech ośrodkach radioterapii. W przypadku przyspieszaczy Variana były to przyspieszacze Clinac 2300 CD, Truebeam, Vitalbeam i Edge, a w przypadku firmy Elekta były to przyspieszacze Synergy i Versa HD.

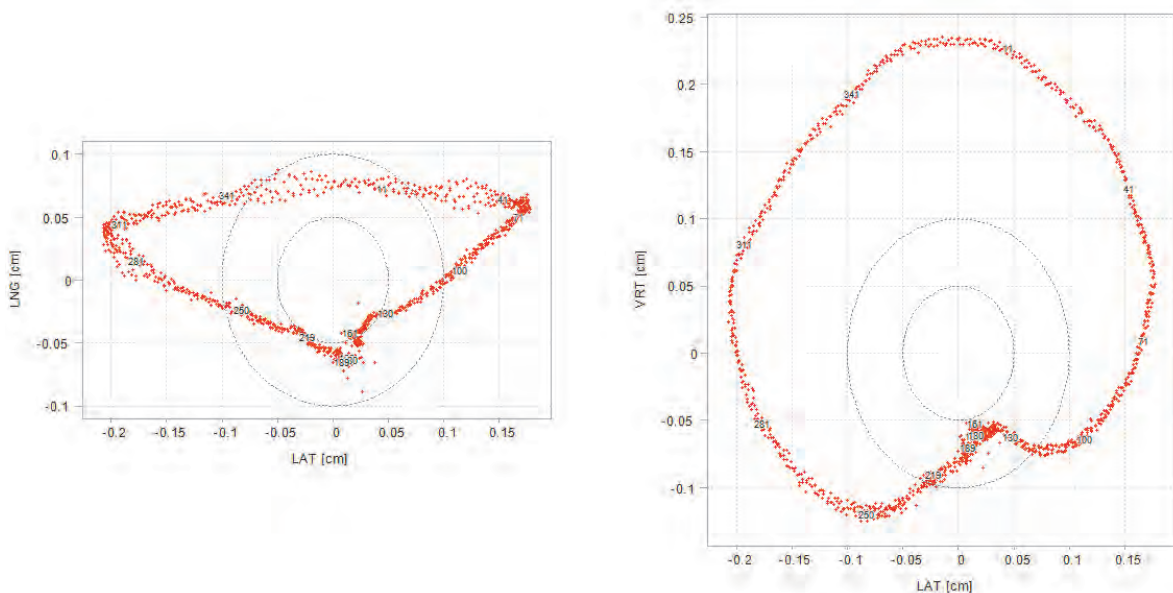
Na rycinie 2 pokazujemy wyniki pomiaru izocentrum mechanicznego przyspieszacza Clinac 2300 CD, a na rycinie 3 – wyniki pomiaru izocentrum mechanicznego przyspieszacza Versa HD.

Zaprezentowane wyniki informują, że średnica izocentrum mechanicznego ramienia przyspieszacza Clinac 2300 CD to 1,0 mm, izocentrum przyspieszacza Versa HD to niemal 4 mm. Dla przyspieszacza Clinac 2300 CD średnica izocentrum obrotu kolimatora nie przekraczała 0,6 mm, dla przyspieszacza Versa HD 0,3 mm. W przypadku obrotu stołu terapeutycznego średnica obrotu stołu terapeutycznego obydwu przyspieszaczy nie przekraczała 1,0 mm.



**Ryc. 2** Wyniki pomiaru izocentrum ramienia przyspieszacza Clinac 2300CD. Kierunek LAT to kierunek lewo-prawo, kierunek LNG to kierunek głowa-nogi, kierunek VRT to kierunek góra-dół

Źródło: Opracowanie własne.



**Ryc. 3** Wyniki pomiaru izocentrum ramienia przyspieszacza Versa HD

Źródło: Opracowanie własne.




## Omówienie wyników

Przyspieszacz Clinac 2300 CD to niemal dwunastoletni, bardzo wyeksploatowany przyspieszacz firmy Varian (liczba godzin ekspozycji, tzw. beam hours, wynosi ponad 39 tysięcy). Pomimo intensywnej eksploatacji uzyskane wyniki dla tego przyspieszacza należy uznać za zadowalające. Średnica mechanicznego izocentrum innego akceleratora firmy Varian Edge, zainstalowanego na Ursynowie (czteroletni przyspieszacz), ma średnicę izocentrum ramienia nieprzekraczającą 1 mm. Przyspieszacz Edge jest w Warszawie na Ursynowie stosowany do radioterapii stereotaktycznej. Średnicę izocentrum mechanicznego przyspieszacza Elekta Versa HD należy uznać za bardzo dużą, przekraczającą zalecenia międzynarodowe, w tym zalecenia amerykańskiego Raportu TG 142 [2]. Należy jednak zauważyć, że w przypadku przyspieszaczy Elekty duże odchylenia mechaniczne od uśrednionego izocentrum nie muszą skutkować tak samo dużą średnicą izocentrum promieniowania. Wynika to z dwóch przyczyn. Po pierwsze nie wszystkie kierunki zmiany położenia izocentrum mechanicznego wpływają na izocentrum promieniowania. Gdyby na przykład na kierunku góra-dół odchylenia były skierowane jedynie wzdłuż osi pionowej, bez ugięcia w kierunku głowa-nogi, to taka zmiana nie wpływałaby na przesunięcie izocentrum radiologicznego. Po drugie w akceleratorach Elekty pewne odchylenia od izocentrum są kompensowane przez odpowiednie sterowanie wiązką elektronów. Testy kontroli jakości dla tego przyspieszacza wskazują na znacznie mniejszą średnicę izocentrum promieniowania. Ogólnie można sformułować tezę, że dla dobrze ustawionego przyspieszacza, z izocentrum wyznaczonym przez środek sfery izocentrum promieniowania mają odchylenia głowy prostopadłe do osi wiązki. To kierunek oznaczony na rycinach 2 i 3 jako LNG oraz LAT. Warto również podkreślić, że duży wpływ na wielkość izocentrum radiologicznego mogą mieć ugięcia stołu terapeutycznego. Za szczególnie istotne należy uznać sprawdzenie, czy oś obrotu stołu jest zgodna z osią obrotu kolimatora ustawionego w pozycji 0°. Doświadczenie autorów tego tekstu wskazuje, że dla przyspieszaczy Variana co jakiś czas (co około 18 miesięcy) konieczne jest przesunięcie ramy przyspieszacza, aby doprowadzić do zgodności tych osi obrotu. Regularnie wykonywane i analizowane wyniki pomiarów z użyciem NaviRation® pozwolą z wyprzedzeniem

zaplanować interwencję serwisu. Wykonanie pomiaru wszystkich ruchów rotacyjnych z użyciem systemu NaviRation® trwa około 20 minut i pomiar jest dla użytkownika prosty. Innymi zaletami systemu optycznego są: wysoka precyzja i wiarygodność oraz niezależność pomiarów od akceleratora i wykonującego go użytkownika. Pewnym wyzwaniem dla początkujących użytkowników może być prawidłowe ustawienie bazy, na której zamontowane są kamery. Będziemy dążyć do wprowadzenia takich modyfikacji tej części konstrukcji, aby ułatwić ustawienie urządzenia w pozycji roboczej. Istotny wpływ na łatwość pozycjonowania systemu ma wielkość pomieszczenia terapeutycznego. W ośrodku, w którym wykonane zostały pomiary akceleratora Elekty, pomieszczenie terapeutyczne jest skrajnie małe (to bункier po aracie kobaltowym firmy Siemens Gammatron 3). Pomimo tego pomiar był możliwy.

## Podsumowanie

W publikacji przedstawiliśmy system optyczny umożliwiający pomiar izocentrow mechanicznych obrotowych elementów przyspieszacza ramienia, kolimatora i stołu terapeutycznego. Według posiadanej przez autorów wiedzy są to pierwsze wyniki na świecie pomiaru położenia izocentrum mechanicznego uzyskane z tak dużą precyzją. Urządzenie NaviRation® umożliwia wykonanie wszystkich testów mechanicznych przewidzianych polskim prawem i zalecanych przez międzynarodowe raporty. Rozwój urządzenia będzie skierowany na połączenie pomiarów mechanicznych izocentrum z testami izocentrum promieniowania oraz uzupełnienia systemu o fantom pozwalającą na prawidłowe ustawienie laserów. 

*Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego dla Polski Wschodniej*

## Piśmiennictwo

1. P. Kukołowicz, D. Szałkowski, M. Florkowski, M. Tarchalski: *Trudności z podejmowaniem decyzji o zgodności ze specyfikacją – wyzwanie dla fizyków medycznych*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 1, 2022, 63-69.
2. Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators, <https://doi.org/10.1118/1.3190392>.