

SGRT – adaptacja technologii w warunkach klinicznych

Karol Szymerkowski

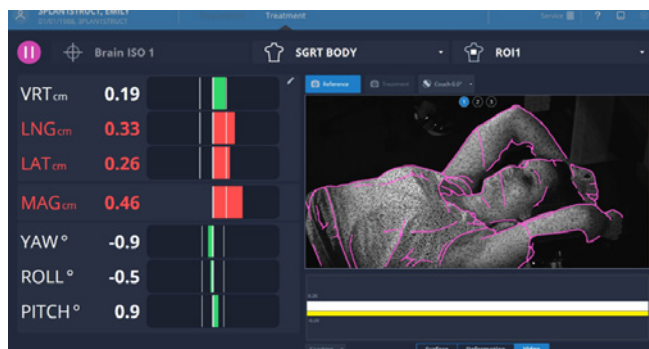
Senior Clinical Application Specialist VisionRT, tel. +48 781 629 665, e-mail: kszymerkowski@visionrt.com

Wprowadzenie

W ostatnich latach SGRT (*Surface Guided Radiation Therapy*), czyli Radioterapia Sterowana Obrazem Powierzchni Pacjenta, bardzo zyskała na popularności na całym świecie [1], w tym także w Polsce. Swoją rosnącą popularność technologia ta zawdzięcza zdecydowaną poprawą dokładności leczenia, potencjałem do skrócenia czasu procedur czy minimalizacją dawki promieniowania jonizującego pochodzącego z weryfikacji obrazowej. Systemy SGRT stanowią doskonałe uzupełnienie klasycznej radioterapii IGRT (*Image Guided Radiation Therapy*), czyli Radioterapii Sterowanej Obrazem [2]. Dzięki dostarczaniu informacji o pozycji pacjenta w czasie rzeczywistym oraz standaryzacji procedur, SGRT znacząco wpływa na jakość i bezpieczeństwo radioterapii. Na rynku obecnych jest kilka rozwiązań SGRT. Zazwyczaj wykorzystują one światło strukturalne, systemy stereowizji lub skanery laserowe do obrazowania powierzchni pacjenta z wysoką rozdzielczością przestrzenną. W wielu ośrodkach SGRT jest stosowana u wszystkich pacjentów, przy każdej frakcji [3]. Takie podejście stwarza konieczność wypracowania procedur dostosowanych do najnowszych wytycznych oraz realiów ośrodka.

SGRT – zasada działania

Systemy SGRT wykorzystują obrazowanie optyczne do rejestracji w czasie rzeczywistym trójwymiarowych powierzchni pacjenta [4-6]. Zadaniem systemu jest porównanie tej powierzchni z obrazem referencyjnym. Obraz referencyjny zazwyczaj stanowi zewnętrzny kontur bryły pacjenta pochodzący z tomografii do planowania leczenia. Ponieważ powierzchnia referencyjna jest określona względem izocentrum leczenia, algorytmy obliczają przesunięcia i obroty w 6 stopniach swobody (6DOF) niezbędne do skorygowania położenia pacjenta. Jednym z takich systemów jest AlignRT (VisionRT, London). System składa się z 3 kamer, które projektują na powierzchnię pacjenta wzór plamisty, umożliwiającą rekonstrukcję powierzchni w 3D. AlignRT do porównania ze sobą obu powierzchni używa tak zwanej sztywnej rejestracji (*rigid registration*). Różnice między sztywną rejestracją a elastyczną (*deformable registration*) opisuje raport 302 AAPM [7].



Ryc. 1 Zrzut z ekranu użytkownika systemu AlignRT. Na grafice przedstawione są przesunięcia niezbędne do skorygowania pozycji pacjenta

Źródło: Własne.

Tego rodzaju systemy zapewniają ciągłość monitorowania pozycji pacjenta w trakcie całej radioterapii. Ich niewątpliwą zaletą jest to, że nie wykorzystują w tym celu promieniowania jonizującego. A odpowiednia konfiguracja pozwala na zatrzymywanie dawki terapeutycznej zawsze wtedy, kiedy pacjent wyjdzie poza ustalone progi tolerancji.

Wdrożenie SGRT

Systemy SGRT obecne na rynku różnią się między sobą sposobem działania i specyfikacją techniczną. Decydując się na konkretne rozwiązanie, warto sprawdzić ofertę szkoleniową każdego producenta. Odpowiednie szkolenie, w które będą zaangażowani zarówno lekarze radioterapeuci, fizycy medyczni oraz elektroradiolodzy ułatwia implementację nowej technologii oraz umożliwia odpowiednią reakcję każdej z wymienionych grup na zaistniałe problemy. Na potrzeby szkoleniowe, jak również na konieczność stworzenia procedur oraz nadania obowiązków związanych z obsługą systemów SGRT po raz pierwszy uwagę zwracają wytyczne ESTRO opublikowane w maju 2022 r. [8]. W wybór odpowiedniego rozwiązania SGRT powinien być zaangażowany cały zespół kliniczny. Najczęściej proces rozpoczyna się od prezentacji przygotowanej przez producenta. Wytyczne ESTRO wskazują jednak na to, że warto jest odwiedzić inną klinikę, która dysponuje podobną konfiguracją techniczną. Wiele firm, w tym VisionRT, dysponuje ośrodkami referencyjnymi, w których takie wizyty można odbyć.

Przygotowanie pacjenta

Każdy system powinien być wykorzystywany zgodnie z zaleceniami producenta, jednak najczęściej spotykana procedura pozycjonowania oraz monitorowania śródfrakcyjnego wykorzystuje jedną lub kilka struktur referencyjnych. Powierzchnia referencyjna jest generowana albo za pomocą samego systemu SGRT, albo poprzez wyodrębnienie zewnętrznego konturu z zestawu struktur DICOM-RT. To, która referencja powinna być używana do pozycjonowania pacjenta, powinno być rozstrzygnięte wewnętrzną procedurą każdego ośrodka. Przygotowanie pacjenta do radioterapii SGRT nie różni się zbytnio od klasycznego przygotowania. Pierwszy etap to wykonanie tomografii do planowania leczenia. W przypadku systemu AlignRT referencję stanowić będzie zewnętrzny kontur pacjenta. Stąd nie ma potrzeby instalacji dodatkowego sprzętu w gabinecie TK. Przygotowując pacjenta, należy zwrócić uwagę, aby obszar potencjalnego regionu zainteresowania był widoczny dla kamer. W skład innych systemów mogą wchodzić dodatkowe komponenty, które montowane są w gabinecie TK na potrzeby generowania przyszłych referencji. Zebrane skany po eksporcie do systemu planowania leczenia wymagają klasycznego przygotowania do powstania planu leczenia. Na potrzeby pracy z systemem SGRT należy wyeksportować do tego systemu zewnętrzny kontur pacjenta razem z planem, w którym zawarte są informacje o pozycji izocentrum. Wyeksportowane pliki wymagają odpowiedniego przygotowania. Referencja musi zostać pobrana z systemu planowania leczenia oraz sprawdzona z przygotowanym planem. Po upewnieniu się, że wszystkie dane się zgadzają, systemy SGRT umożliwiają dobór takich parametrów, jak zakresy tolerancji, które są specyficzne dla danego obszaru leczenia, oraz definiowanie regionów zainteresowania [9-11].

Pozycjonowanie i terapia

W trakcie pierwszej frakcji systemy SGRT umożliwiają skorzystanie z referencji pochodzącej z tomografii komputerowej do odtworzenia ułożenia pacjenta. Wypracowana pozycja powinna być ostatecznie sprawdzona przy pomocy IGRT (kv/MV,2D/3D). W trakcie leczenia system SGRT powinien być stale używany do monitorowania pozycji pacjenta. W zależności od przyjętych progów tolerancji system może zatrzymywać dawkę zawsze wtedy, kiedy wykryje ruch pacjenta. W przypadku realizacji technik na wstrzymanym oddechu systemy SGRT wykazują dużą dokładność w odwzorowaniu pozycji na wstrzymanym oddechu [12].

Krzywa uczenia a SGRT

Jak każdej nowej technologii wdrażanej w warunkach klinicznych, również SGRT towarzyszy krzywa uczenia. Elektroradiolodzy muszą odtworzyć trójwymiarową powierzchnię zamiast kilku znaków na skórze pacjenta, którymi do pewnego stopnia można manipulować ręcznie. To rzuca zupełnie inne światło na

proces pozycjonowania. W celu ułatwienia przejścia i nabrania zaufania do systemu wymagana jest wielokrotna ekspozycja na procedury, krytyczne jest również wsparcie szkoleniowe. Zespół elektroradiologów powinien zostać przeszkolony w zakresie bezpośredniej kontroli obrazów powierzchniowych w celu sprawdzenia ich zgodności z danymi referencyjnymi. Rozwiązywanie sporadycznych problemów może być najtrudniejsze, ponieważ występują one rzadko i nie zawsze w tych samych sytuacjach. Pomocnym może się okazać oddelegowanie grupy użytkowników, która będzie uczestniczyć w cyklicznych szkoleniach i służyć pomocą pozostałej części personelu [7].

SGRT a akceleratory z okrągłą gantry

W przeciągu ostatnich kilku lat na popularności zyskały akceleratory z okrągłą gantry. Ich kształt sprawia, że kamery montowane do sufitu bunkra terapeutycznego nie zapewniają pełnego pokrycia powierzchni pacjenta znajdującego się w pozycji terapeutycznej. Istnieje system, który jest hybrydą klasycznego systemu SGRT oraz zminiaturyzowanych kamer montowanych wewnątrz aparatu na specjalnych pierścieniach [13]. Takie hybrydowe rozwiązanie (Ryc. 2) umożliwi monitoring pacjenta we wszystkich 6 stopniach swobody, zapewniając bezpieczeństwo terapii w tak kompleksowych terapiach jak DIBH, SBRT czy radioterapii adaptacyjnej.

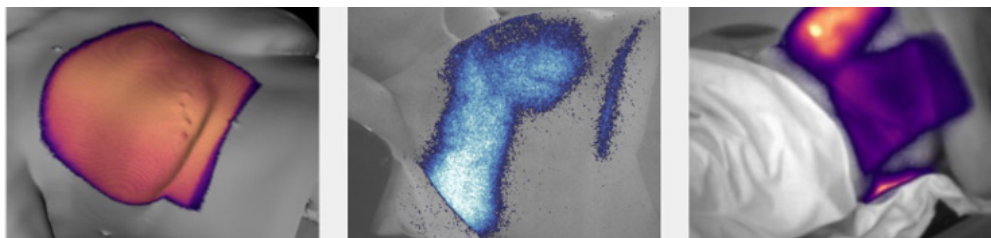
alignrt® InBore™



Ryc. 2 AlignRT InBore (VisionRT, London) – zminiaturyzowane kamery montowane wewnątrz gantry
Źródło: Własne.

Systemy SGRT a wizualizacja wiązki promieniowania

Do wizualizowania tego, jak wiązka promieniowania padać będzie na skórę pacjenta, najczęściej stosuje się pole świetlne, projektowane z kolimatora aparatu. Ta metoda nie pozwala obrazować wiązki w czasie rzeczywistym i daje tylko ogólny pogląd tego, jak pacjent będzie napromieniany. Promieniowanie Czerenkowa to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, które emitowane jest, gdy naładowana cząstka, np. elektron, porusza się w ośrodku materialnym z prędkością większą od



Ryc. 3 Przykłady wykorzystania systemu DoseRT do weryfikacji napromienianych pól. Od lewej: pozycjonowanie bolusa, wykryte przeciek przez listek MLC, wykryte objęcie dawką ramienia pacjenta
 Źródło: <https://www.visionrt.com/dosert/>.

prędkości fazowej światła [14]. Promieniowanie to najczęściej jest kojarzone z reaktorami jądrowymi, ponieważ w wodzie będącej chłodziwem reaktora uwolnione cząsteczki emitują niebieskie światło.

Promieniowanie Czerenkowa emitowane jest również w trakcie radioterapii. Emitowane jest światło, które pozostaje niewidzialne dla ludzkiego oka. Obecne są już na rynku pierwsze systemy (DoseRT, VisionRT, London), które pozwalają na zobrazowanie efektu Czerenkowa, a co za tym idzie – śledzenie w czasie rzeczywistym wiązki padającej na skórę pacjenta oraz wiązkę wychodzącą (Ryc. 3). Pierwsze publikacje sugerują, że około 10% pacjentów ma błędy w leczeniu, które można wykryć [14] dzięki obrazowaniu Czerenkowa. DoseRT łączy obrazowanie Czerenkowa z kamerami AlignRT, aby monitorować w czasie rzeczywistym zarówno wiązkę, jak i pozycjonowanie pacjenta.

Podsumowanie

Rosnąca popularność systemów SGRT sprawia, że obrazowanie powierzchniowe staje się standardem. W sieci można znaleźć wiele publikacji dotyczących większości istniejących systemów.

Chociaż technologia nie jest zupełnie nowa, bywa, że zespoły kliniczne mają problemy z wypracowaniem własnych procedur, przez co systemy nie są w pełni wykorzystywane. Często obawy przed nową technologią wraz z ograniczonym czasem na aparacie terapeutycznym powodują wzmożenie niechęci do uczenia się. Raport 302 AAPM podkreśla, że obecność krzywej uczenia w procesie implementacji systemów SGRT wymaga przeznaczenia odpowiedniej ilości czasu oraz zasobów ludzkich, aby systemy w pełni służyły zarówno klinicyście, jak i pacjentom. Doskonałą wskazówką, jak wybrać system, na co zwrócić uwagę w trakcie wdrożenia, jak dobrać protokoły obrazowania stanowią wytyczne ESTRO oraz Raport 302 AAPM.

Obrazowanie efektu Czerenkowa jest kolejną odnogą rozwoju SGRT z potencjałem na szerokie wdrożenia w przyszłości.

Piśmiennictwo

- Ch. Bert et al.: *Clinical experience with a 3D surface patient setup system for alignment of partial-breast irradiation patients*, Int J Radiat Oncol Biol Phys., 64(4), 2006, 1265-1274, doi: 10.1016/j.ijrobp.2005.11.008.
- V.C. Hamming et al.: *Evaluation of a 3D surface imaging system for deep inspiration breathhold patient positioning and intrafraction monitoring*, Radiat. Oncol., 14(1), 2019, 125.
- D.B. Wiant et al.: *A novel method for radiotherapy patient identification using surface imaging*, J Appl Clin Med Phys., 17(2), 2016, 271-278.
- J.A. Oliver et al.: *Orthogonal image pairs coupled with OSMS for noncoplanar beam angle, intracranial, single-isocenter, SRS treatments with multiple targets on the Varian Edge radiosurgery system*, Adv Radiat Oncol., 2(3), 2017, 494-502.
- P. Naumann et al.: *Feasibility of Optical Surface-Guidance for Position Verification and Monitoring of Stereotactic Body Radiotherapy in Deep-Inspiration Breath-Hold*, Front Oncol., 10, 2020, 573279.
- P.J. Schöffel et al.: *Accuracy of a commercial optical 3D surface imaging system for realignment of patients for radiotherapy of the thorax*, Phys Med Biol., 52(13), 2007, 3949-3963.
- H.A. Al-Hallaq et al.: *AAPM SCIENTIFIC REPORT, AAPM task group report 302: Surface-guided radiotherapy*, First published: 18 February 2022, <https://doi.org/10.1002/mp.15532>.
- P. Freislederer et al.: *ESTRO-ACROP guideline on surface guided radiation therapy*, Published by Elsevier B.V. Radiotherapy and Oncology, 173, 2022, 188-196, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
- K.T. Beer: *Introduction of SGRT in clinical practice*, Technical Innovations & Patient Support in Radiation Oncology, 21, 2022, 27-30.
- H.A. Al-Hallaq et al.: *The role of surface-guided radiation therapy for improving patient safety*, Radiotherapy and Oncology, 163, 2021, 229-236.
- G. Li et al.: *Characterization of optical surface-imaging-based spirometry for respiratory surrogating in radiotherapy*, Med Phys., 43(3), 2016, 1348-1360.
- T.O. Sauer et al.: *Prerequisites for the clinical implementation of a markerless SGRT only workflow for the treatment of breast cancer patients*, Strahlenther Onkol., 2022.
- D. Nguyen et al.: *Commissioning and performance testing of the first prototype of AlignRT InBore™ a Halcyon™ and Ethos™ – dedicated surface guided radiation therapy platform*, Phys Med., 80, 2020, 159-166.
- L.A. Jarvis et al.: *Initial Clinical Experience of Cherenkov Imaging in External Beam Radiation Therapy Identifies Opportunities to Improve Treatment Delivery*, Int J Radiat Oncol Biol Phys., 109(5), 2021, 1627-1637, doi: 10.1016/j.ijrobp.2020.11.013.