



Praca poglądowa/Review paper

Czy istnieje „najlepszy” sposób kontroli ruchomości oddechowej pacjenta w trakcie radioterapii?  
w świetle doniesień konferencyjnych ASTRO 59, San Diego, USA.

*Is there a “best” way to manage respiratory motion?  
study based on conference presentations at the  
ASTRO 59 conference, San Diego, USA.*

Agnieszka Skrobała<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny, Poznań

<sup>2</sup>Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań

---

## Streszczenie

Celem niniejszej pracy był przegląd i prezentacja metod służących do kontroli ruchomości oddechowej pacjenta podczas radioterapii. Przegląd oparto o wybrane doniesienia oraz problemy badawcze zaprezentowane podczas dorocznego spotkania ASTRO 59 w San Diego.

## Abstract

This study aimed to review and presentation of the way to manage the patient’s respiratory motion in radiotherapy. The review based on selected reports and research problems presented during ASTRO 59th Annual Meeting in San Diego.

**Słowa kluczowe:** radioterapia, radioterapia sterowana obrazem, kontrola ruchomości oddechowej, bramkowanie oddechowe, hybrydowe techniki śledzenia, dynamiczne śledzenie za pomocą MLC

**Keywords:** radiotherapy, IGRT, respiratory motion management, breath gating, hybrid tracking technique, dynamic MLC tracking

---

Adres do korespondencji

Agnieszka Skrobała

Zakład Fizyki Medycznej

Wielkopolskie Centrum Onkologii, ul. Garbary 15, 61-866 Poznań, Polska

Telefon. +48 61 8850-553

e-mail: [agnieszka.skrobala@wco.pl](mailto:agnieszka.skrobala@wco.pl)

## Wprowadzenie

Radioterapia jest metodą leczenia nowotworów, w której rozwój technologii medycznych odgrywa szczególnie istotną rolę. Rozwój ten dotyczy wszystkich etapów realizacji procesu radioterapii, począwszy od obrazowania pacjenta za pomocą tomografii komputerowej, a skończywszy na procesie napromieniania. Wprowadzenie czterowymiarowej tomografii komputerowej (4DCT, four dimension computer tomography) umożliwiło rozwój i późniejsze udoskonalanie systemów służących do kontroli ruchomości oddechowej pacjenta w radioterapii. Ponadto przejście od trójwymiarowych technik konformalnych w radioterapii (3DCRT, three dimension radiation therapy) do coraz bardziej precyzyjnych technik, a mianowicie technik dynamicznych IMRT (intensity modulated radiotherapy), a następnie VMAT (volumetric modulated arc therapy) powoduje, że kompensacja lub śledzenie ruchomości oddechowej pacjenta staje się istotnym czynnikiem zmniejszającym toksyczność leczenia. Po pierwsze po przez zmniejszanie marginesu związanego z fizjologiczną ruchomością oddechową narządów wewnętrznych tzw. marginesu wewnętrznego (IM, internal margin) jednocześnie zwiększając precyzję dostarczania dawki w trakcie procesu napromieniania. Podczas 59 konferencji Amerykańskiego Towarzystwa Radioterapii Onkologicznej (ASTRO, American Society for Radiation Oncology), która odbyła się w dniach 24–27 września 2017 r. w San Diego pod hasłem: ASTRO's 59th Annual Meeting: the healing art and science of radiation oncologist, przedstawione zostały liczne doniesienia dotyczące najistotniejszych badań naukowych oraz nowinek technologicznych, których zastosowanie przyczynić się może do poprawy realizacji i kompensacji ruchomości oddechowej pacjenta podczas radioterapii oraz polepszenia jakości życia pacjentów onkologicznych.

Tematyka wystąpień konferencyjnych związanych z fizyką medyczną w kontekście kontroli ruchomości oddechowej pacjenta obejmowała, między innymi, zagadnienia dotyczące wykorzystania w radioterapii następujących technik: bramkowania oddechowego w radioterapii (respiratory gating in radiation therapy), technik zatrzymanego oddechu (breath hold techniques), hybrydowych technik śledzenia ruchów (hybrid tracking techniques). Celem usystematyzowania informacji dotyczących technologii oraz sposobów kompensacji ruchomości oddechowej pacjenta w trakcie radioterapii dokonano przeglądu wybranych doniesień zjazdowych zaprezentowanych podczas konferencji ASTRO. Podsumowaniem była próba odpowiedzi na pytanie: czy istnieje „najlepszy” sposób kontroli ruchomości oddechowej pacjenta podczas procesu radioterapii?

## Najistotniejsze wyniki

W programie konferencji ASTRO 59 na dyskusję o kontroli ruchomości oddechowej pacjenta przeznaczono dedykowany panel edukacyjny, do którego zakwalifikowano następujące wystąpienia ustne:

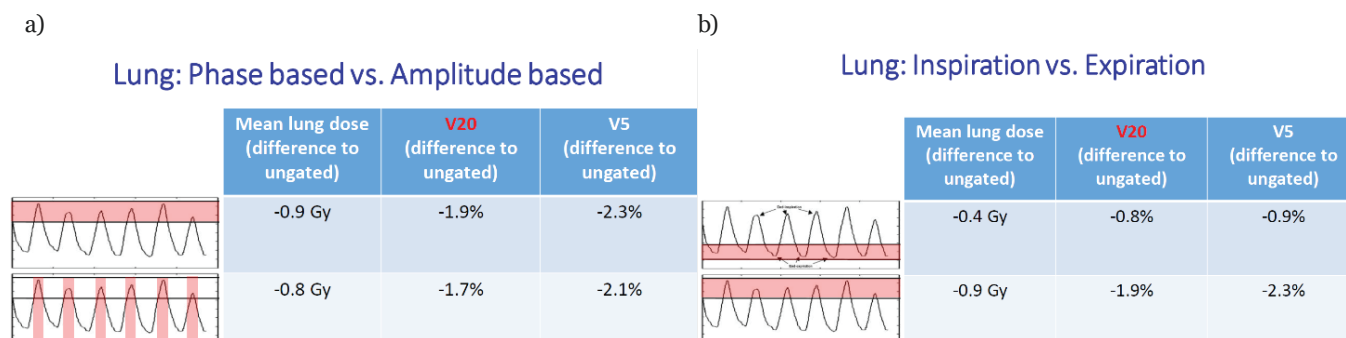
- Bramkowaniem oddechowe w radioterapii [1];
- Techniki zatrzymanego głębokiego wdechu [2];
- Hybrydowe techniki śledzenia ruchów [3];
- Dynamiczne techniki śledzenia za pomocą MLC [4].

Wprowadzeniem do tematu ruchomości oddechowej była prezentacja próbująca odpowiedzieć na pytanie „Wyzwania w technice IGRT: Czy wszyscy postępujemy podobnie w tym temacie?” (Challenging Cases in IGRT: Are We All Well Aligned?) [5]. Nie można mówić o prawidłowo zrealizowanej radioterapii z kontrolą ruchomości oddechową bez precyzyjnie zrealizowanego etapu pozycjonowania pacjenta w oparciu o najnowsze technologie IGRT, radioterapię sterowaną obrazem (Image Guided Radiation Therapy). Technologie IGRT bazują na różnych obrazach dwu i trójwymiarowych, których źródłem są różne modalności takie, jak: aparat USG – obrazy USG, lampa rentgenowska – obrazy dwuwymiarowe kilowoltowe 2DkV i trójwymiarowa tomografia komputerowa wiązką stożkową CBCT (cone beam computer tomography), czy kilowoltowa tomografia komputerowa kVCT, akcelerator liniowy z wiązką megawoltową – obrazy dwuwymiarowe, obrazy portalowe 2DMV i trójwymiarowa megawoltowa tomografia komputerowa MVCT (megavoltage computer tomography), znaczniki aktywne tzw. transpondery i pasywne, markery ze złota. Cytując Simpson i wsp. pokazano, że wraz z rozwojem technologii widoczny jest wzrost znacznie jakości pozycjonowanie, który ocenili na podstawie ankiety przeprowadzonej wśród ponad 1000 respondentów [6]. Podsumowaniem jak

ważna jest prawidłowo realizowana technika IGRT mogą być wyniki powyższego badania: odsetek ośrodków stosujących IGRT wynosił 93,5%, przy czym, kiedy wyłączono obrazowanie portalowe z definicji technologii IGRT odsetek ośrodków pozycjonujących za pomocą IGRT spadł do 82,3%. Procent użytkowników stosujących obrazowanie przy użyciu USG, obrazów wideo, 2DMV, 2DkV i CBCT wynosił odpowiednio 22,3%, 3,2%, 62,7%, 57,7% i 58,8% [6]. Podkreślono, że istotnym jest określenie wpływu procedur IGRT zarówno na jakość radioterapii, jak i czas jej realizacji. Odpowiedzią było badanie Nabavizadeh i wsp., w którym również, aby zbadać praktyczną stronę realizacji procedur IGRT, przeanalizowano ankiety zawierające dane z około 6000 napromieniowanych lokalizacji oceniając jaki jest wpływ technologii IGRT na przebieg pracy klinicznej i planowaną objętość napromienioną PTV [7]. W podsumowaniu podkreślono fakt, iż mimo wszystko niezbędne są dalsze badania dotyczące redukcji marginesu IM związanego z ruchomością oddechową; oraz tylko wzrost liczby realizacji procedur IGRT zapewnienia standaryzację, poprawę dokładności, bezpieczeństwa, terminowości i opłacalności procedur IGRT [7]. Wspomniany czynnik czasu realizacji procedury IGRT zbadano w pracy Li i wsp. [8]. W pracy tej zmierzono czas poświęcony na uzyskanie informacji z obrazowania CBCT w rutynowej pracy klinicznej w grupie pacjentów leczonych w latach 2007–2010 na ośmiu akceleratorów liniowych. Zbadano 117301 CBCT z 4592 i średni czas decyzji dotyczący oceny obrazowania wynosił 79s. Czas decyzji był skorelowany z wielkością uzyskane przesunięcia geometrycznego [8].

Bardziej szczegółowo aspekty zależności pomiędzy technologią IGRT, a kontrolą ruchomości oddechowej przedstawiono w pierwszej prezentacji pt.: bramkowanie oddechowe w radioterapii [1]. Wskazano, że nadrzędnym celem bramkowania oddechowego w radioterapii jest zmniejszenie marginesu wewnętrznej objętości napromienianej ITV (internal target volume), a wykorzystywanym narzędziem jest tomograf komputerowy z opcją 4DCT oraz dedykowany system planowania leczenia umożliwiający pracę z obrazami 4DCT. Ponadto niezbędnymi elementami są urządzenia zarówno umożliwiające kontrolę ruchomości oddechowej (np. spirometria, systemy optyczne), jak i realizację procedury bramkowania (np. RPM). Wykonując procedury bramkowania z wykorzystaniem obrazów 4DCT możliwe są dwa sposoby wyboru okna czasowe bramkowania w oparciu o amplitudę lub fazę cyklu oddechowym. Wiedząc, że obie metody wiążą się z wydłużeniem czasu realizacji frakcji napromieniania należy to uwzględnić w organizacji pracy ośrodka. Innym wariantem bramkowania jest metoda zatrzymanego głębokiego wdechu DIBH (deep inspiration breath hold), umożliwiająca wydłużenie wdechu w cyklu oddechowy. W pracach Ju-Young i wsp. wykazano, że możliwa jest 10% reedukacja objętości PTV w raku płuca, wynikająca z porównania PTV równego 745ml podczas napromieniania w technikach konwencjonalnych (napromienienia na swobodnym oddechu) w stosunku do PTV równego 668ml, gdy bramkujemy leczenie [9]. Wspomniane metody kontroli ruchomości oddechowej obejmują zarówno technologie aktywnie kontrolujące oddech takiej jak spirometria (np. SDX), a także mniej wymagające, śledzące oddech pacjenta za pomocą obrazowanie powierzchni ciała (np. RPM, AlignRT) [10]. W pracy grupy autorstwa Giraud i wsp. przetestowano trzy urządzenia do bramkowania oddechowego: system zarządzania pozycją w czasie rzeczywistym RPM (Real-time Positioning Management) i dwa spirometryczne systemy zatrzymujące oddech, są to: aktywny systemy zatrzymywania oddechu (ABC, Active Breathing Control) i system głębokiego wdechu SDX (SpiroDyn'RX) [10]. Podstawą działania systemu RPM monitorującego cykl oddechowy pacjenta jest mała kostka metapleksowa umieszczany na brzuchu pacjenta, na którym umieszczone są 6 odblaskowych znaczników. Te odblaskowe znaczniki odbijają światło wiązki podczerwieni z kamery umieszczonej w ustalonej pozycji względem pacjenta. Analizowany jest ruch znaczników podczas oddychania w czasie rzeczywistym i zbierany jest zapis toru oddechowego pacjenta. Po przez oprogramowanie sterujące włączana jest wiązka akceleratora zgodnie ze wstępnie zdefiniowanym oknem bramkowania oddechowego w fazie lub amplitudzie. Spirometryczne systemy wstrzymywania oddechu oparte są o podobną strategię, która polega na blokowaniu oddechu pacjenta, zwykle inicjowanego podczas akwizycji promieniowania w dwojaki sposób: dobrowolnie w systemie SDX lub przez zamknięcie zastawki, w sposób wymuszony w urządzeniu ABC. Te dwie techniki wymagają fazy przygotowawczej pacjenta tak, aby jak najlepiej zdefiniować komfortowy poziom inicjacji wstrzymania oddechu w trakcie leczenia. Powyższe systemy wykorzystano w wspomnianej pracy Giraud w wsp., w której przeanalizowano korzyści z napromienienia z bramkowaniem oddechowym i bez w raku płuca, wykazano 19% redukcję V25 objętość płuca otrzymującą dawkę co najmniej 25 Gy oraz w sercu 30% redukcję parametru V40 i 7% redukcję dawki maksymalnej [10]. W prezentacji przytoczono pracę Saito i wsp., w której porównano wpływ wcześniej

omawianych możliwości napromieniania, a mianowicie napromieniania na zatrzymanym głębokim wdechu lub wydechu oraz w fazie lub amplitudzie w stosunku do leczenia konwencjonalnego, bez bramkowania [11]. Wyniki zaprezentowano na rycinie 1 ukazującej różnicę pomiędzy czterema protokołami bramkowaniem oddechowego w fazie versus w amplitudzie, rycina 1a, oraz bramkowaniem na wdechu i wydechu, rycina 1b, w stosunku do napromieniania bez kontroli oddechu. Wykazano, że metody kontroli oddechowej w fazie oraz bramkowanie na wdechu powodują największy spadek dawki w płucach w stosunku do leczenia bez kontroli oddechu, jednak czas leczenia dla wdechu był najdłuższy spośród czterech bramkowanych protokołów [1,11].



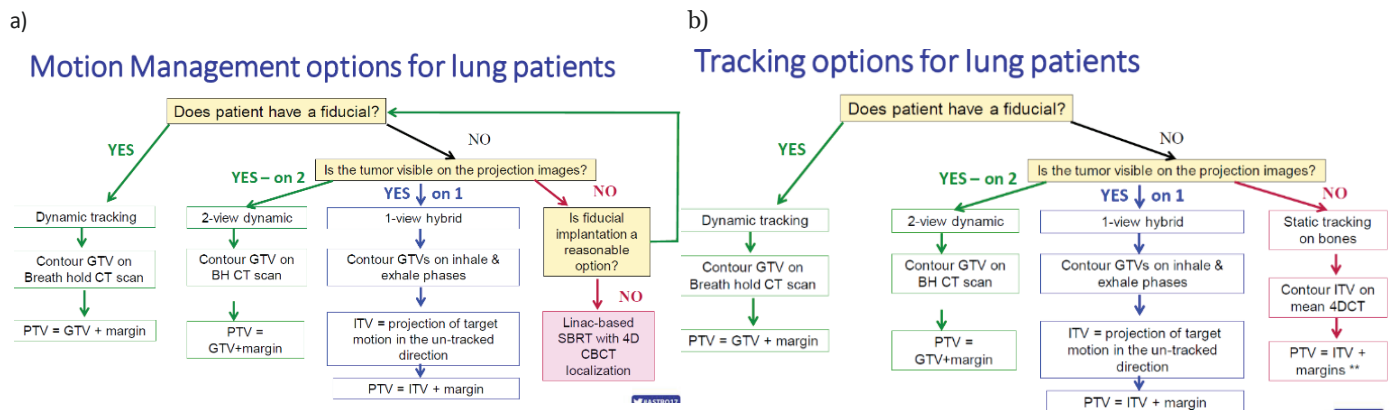
Rycina 1. Różnica w dawce średniej w płucach oraz objętość płuca otrzymującą dawkę co najmniej 20 Gy V20 i 5Gy V5 dla czterech protokołów bramkowania oddechowego a) w fazie i w amplitudzie oraz b) bramkowaniem na wdechu i wydechu w stosunku do napromieniania bez kontroli oddechu [6,7].

Podsumowując prezentację prof. Dieterich zaznaczyła, że bramkowanie oddechowe w radioterapii umożliwia zmniejszenie marginesów związanych z ruchomością oddechową nawet poniżej 1 cm co generuje korzyści dozymetryczne (niższą toksyczność), ale zwiększa o 80% czas pobytu pacjenta w pomieszczeniu terapeutycznym, a czas włączenia wiązki jest o 5,5 razy dłuższy w stosunku do napromieniania bez kontroli oddechowej [1].

W trakcie kolejnej prezentacji dydaktycznej jeszcze więcej uwagi poświęcono już wcześniej omawianej metodzie napromieniania na zatrzymanym głębokim wdechu DIBH stosowaną w raku piersi [2]. Szczegółowo zaprezentowano zasadę działania wszystkich systemów kontroli oddechu takich, jak ABC i RPM omawiając ich zalety, czyli łatwość w montażu i włączenia za ich pomocą wiązki promieniowania oraz wady dla systemu ABC to czasochłonność obsługi plus brak komfortu zwłaszcza w grupie pacjentów z klaustrofobią [2,10,12]. Zaprezentowano kolejny system oparty o śledzenie optyczne (AlignRT) wykorzystujący kamery 3D do śledzenia powierzchni skóry pacjenta po przez porównanie jej z obrazem referencyjnym z CT. Na dowód korzyści wynikających zastosowania systemu AlignRT przytoczono wnioski z pracy Cervino i wsp., że powtarzalność i stabilność techniki DIBH ulega znacznej poprawie dzięki treningowi wzrokowemu zapewnionemu pacjentom, a szczególnie u pacjentów ze słabą odtwarzalnością i stabilnością [12]. W prezentacji wskazano szereg innych lokalizacji, dla których technika DIBH posiada swoje zastosowanie, tj. pierś po prawej stronie (redukcja dawki w wątrobie), napromienianie chłoniaków śródpiersia, nowotwory płuc, wątroby i trzustki oraz wszelkie lokalizacje napromieniane stereotaktycznie SBRT (Stereotactic Body Radiation Therapy) [13]. Główne wnioski z sesji o technice DIBH to metoda zatrzymanego głębokiego wdechu po pierwsze może pomóc w minimalizacji dawki w narządach krytycznych lub/i być pomocna w kontroli ruchomości oddechowej. Poza tym zarekomendowano, aby plan leczenia pacjenta zleconego do leczenia w technice DIBH był oceniany zarówno na przekrojach wykonanych na swobodnym oddechu, jak i w technice DIBH celem oszacowania korzyści [2].

W następnej sesji przedstawiono hybrydowe techniki śledzenia oparte o śledzenie ruchu guza w czasie rzeczywistym (dynamiczne) [3]. Technika polega na tym, że ruch guza (lung tracking), znaczników (fiducial tracking) lub innych struktur śledzonych takich jak: kości czaszki (skull tracking), kręgosłupa (spine tracking) jest zsynchronizowany z dostarczaniem dawki promieniowania w czasie rzeczywistym. Dzieje się to poprzez przekierowanie wiązki promieniowania względem stale zmieniającej się pozycji guza. Prof. Descovich zaprezentowała zalety tej techniki: mniejszą objętość napromieniana tkanek zdrowych, pacjenci oddychają normalnie podczas leczenia, a wiązka promieniowania dostarczana bez przerw. Ograniczeniem

jest to dłuższy niż w technikach konwencjonalnych czas napromieniania, poza tym często wymagana jest implantacja znaczników, co wiąże się z ryzykiem zapalenia płuc. Urządzeniem umożliwiającym napromienianie ze śledzeniem (tracking) jest zrobotyzowany system CyberKnife, który wyposażony jest w układ wykorzystywany do śledzenia, kamera na podczerwień i dwie lampy RTG. Układ detektuje pozycję guza, w trakcie cyklu oddechowego jednocześnie kompensuje opóźnienia w dostarczaniu wiązki i odpowiednio do zmieniającej się pozycji guza zmienia pozycję wiązki. Ważnym podkreślenia jest fakt, iż dokładność takiego śledzenia jest  $<0,95$  mm (mierzona testami E2E - w fantomach ruchomych). Jak już zostało wspomniane system CyberKnife umożliwia śledzenie zarówno znaczników ze złota, jak i guza, czyli tkanek o dużej gęstości, a dokładność śledzenia obu struktur jest porównywalna [14]. Podczas sympozjum autorka zaprezentowała dwa schematy postępowania dotyczące sposobów kontroli ruchomości oddechowej u pacjentów z guzem w płucach, rycina 2a, opcji śledzenia guzów w obszarze płuc, rycina 2b [3].



Rycina 2. Schemat prezentujący: a) sposoby kontroli ruchomości oddechowej dla pacjentów z guzem w płucach, b) opcje śledzenia guzów w obszarze płuc [3].

Ostania część sympozjum edukacyjnego o ruchomości oddechowej poświęcona była techniką dynamicznego śledzenia za pomocą kolimatora wielolistkowego MLC [4]. Pokazano systemy IGRT będące bazą śledzenia za pomocą MLC tj. system transponderów Calypso, USG, zdjęcia 2DkV Exactrac, system optyczny, zdjęcia kV i MV. Podkreślono najważniejsze zalety tej techniki napromieniania wynikające po pierwsze z powszechności dostępu do akceleratorów z MLC oraz to, że wiązka promieniowania jest zawsze włączona, stąd technika ta jest bardziej wydajna niż bramkowanie, co skraca czas przebywania pacjenta na aparacie. Nie ma też potrzeby przeznaczania czasu na naukę oddechu przez pacjenta. System ten lepiej radzi sobie z nieplanowanym ruchem pacjenta, np. zmianami amplitudy i częstotliwości oddechu, jest mniej zależny od stabilności oddechu pacjenta, wstrzymania oddechu i odtwarzalności. Podsumowując technika ta góruje nad pozostałymi technikami hybrydowymi, czy DIBH, ponieważ nie wymaga kontroli oddechu. Wstępne badania kliniczne wykazują znaczące korzyści geometryczne i dozymetryczne dzięki śledzeniu za pomocą MLC [15]. Technika ta ma też swoje ograniczenia wynikające z śledzenia jednopunktowego, co może prowadzić do zdeponowania zbyt dużej dawki, po za tym zmienia położenie wiązki [4]

## Podsumowanie

W trakcie sympozjum starano się odpowiedzieć na pytanie: Czy istnieje najlepszy sposób kontroli ruchomości oddechowej? (Is there the best way for Managing Respiratory Motion?). Na podstawie doniesień zaprezentowanych podczas spotkania ASTRO 59 nie można jednoznacznie odpowiedzieć na to pytanie. Systemów jest wiele, począwszy od bramkowania oddechu w fazie lub amplitudzie [1], przez techniki opierające się na zatrzymanym głębokim wdechu [2], a skończywszy na metodach śledzenia [3,4]. Przy czym wykazano, że kontrolować ruchomość oddechową można zarówno od strony pacjenta np. technika DIBH [2], ale także ze strony aparatu, śledzenie guza [3,4]. Podkreślono także, że „najlepsza” technika kontroli ruchomości to taka, która: jednocześnie umożliwia zminimalizowanie objętości zdrowej tkanki znajdującej się w polu napromieniania i zapewniająca napromienianie rzeczywistej, najbardziej prawdopodobnej lokalizacji guza.

Wybór najlepszej techniki dla pacjenta często zależy od stanu klinicznego, wydolności oddechowej pacjenta, charakterystyki cyklu oddechowego, zakresu ruchu guza widocznego na przekrojach 4DCT sposobu oddychania i możliwość współpracy pacjenta w procesie nauki oddychania. Poza tym technika musi być komfortowa i bezpieczna dla pacjenta. Podsumowaniem sesji o ruchomości podczas konferencji ASTRO 59 może być stwierdzenie, że wybór najbardziej odpowiedniej opcji kontroli ruchomości oddechowej u każdego pacjenta wymaga dobrego zrozumienia dostępnych technologii i... zaangażowania fizyki! Istotnym w temacie ruchomości jest czynnik czasu zarówno na etapie zdobywania umiejętności, jak i na etapie realizacji tej procedury wymaga czasu. Konferencja Amerykańskiego Towarzystwa Radioterapii Onkologicznej daje możliwość zapoznania się z wynikami najistotniejszych badań naukowych, wysłuchania interesujących doniesień, a także pozwala na wymianę poglądów licznych uczestników reprezentujących różne środowiska zaangażowane w leczenie i opiekę nad pacjentem onkologicznym. Informacje na temat Amerykańskiego Towarzystwa Radioterapii Onkologicznej oraz jego działalności dostępne są na stronie [www.astro.org](http://www.astro.org).

### **Konflikt interesu/Conflict of interest**

Nie występuje. / None.

### **Etyka/Ethics**

Treści przedstawione w artykule są zgodne z zasadami Deklaracji Helsińskiej, dyrektywami EU oraz ujednoliconymi wymaganiami dla czasopism biomedycznych. / The content presented in the article is consistent with the principles of the Helsinki Declaration, EU directives and unified requirements for biomedical magazines.

### **Finansowanie/Financial support**

Artykuł został sfinansowany z grantu Wielkopolskiego Centrum Onkologii nr 23/2017(166); 28/06/2017/FIZ/WCO/005. / This work was supported by the Greater Poland Cancer Centre, grant no. 23/2017(166); 28/06/2017/FIZ/WCO/005.

### **ORCID**

<https://orcid.org/0000-0003-0539-9041>

### **Piśmiennictwo/References**

- [1] Dieterich S. Respiratory Gating in Radiation Therapy. Educational section; Is There a “Best” Way to Manage Respiratory Motion? Materiały zjazdowe ASTRO 59th Annual Meeting, San Diego, CA, September 24 - 27, 2017.
- [2] Rahimi A. Using the breath hold technique in radiation treatments. Educational section; Is There a “Best” Way to Manage Respiratory Motion? Materiały zjazdowe ASTRO 59th Annual Meeting, San Diego, CA, September 24 - 27, 2017.
- [3] Descovich M. Hybrid tracking techniques with a robotic radiosurgery system Educational section; Is There a “Best” Way to Manage Respiratory Motion? Materiały zjazdowe ASTRO 59th Annual Meeting, San Diego, CA, September 24 - 27, 2017.
- [4] Sawant A. Dynamic MLC tracking. Educational section; Is There a “Best” Way to Manage Respiratory Motion? Materiały zjazdowe ASTRO 59th Annual Meeting, San Diego, CA, September 24 - 27, 2017.
- [5] Balter P, Caudell J, Dawson L, wsp. Challenging Cases in IGRT: Are We All Well Aligned?. Educational section; Is There a “Best” Way to Manage Respiratory Motion? Materiały zjazdowe ASTRO 59th Annual Meeting, San Diego, CA, September 24 - 27, 2017.
- [6] Simpson DR, Lawson JD, Nath SK, wsp. A survey of image-guided radiation therapy use in the United

- States. *Cancer*. 2010 15;116:3953-60.
- [7] Nabavizadeh N, Elliott DA, Chen Y, wsp. Image Guided Radiation Therapy (IGRT) Practice Patterns and IGRT's Impact on Workflow and Treatment Planning: Results From a National Survey of American Society for Radiation Oncology Members. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2016 15;94:850-7.
- [8] Li W, Jaffray DA, Wilson G, Moseley D. How long does it take? An analysis of volumetric image assessment time. *Radiother Oncol*. 2016;119:150-3.
- [9] Ju-Young S, Yong-Hyeob K, Jae-Uk J, wsp. Evaluation of Dose Distributions Recalculated with Per-field Measurement Data under the Condition of Respiratory Motion during IMRT for Liver Cancer *Prog Med Phys*. 2014;25:79-88.
- [10] Giraud P, Morvan E, Claude L, wsp. Respiratory gating techniques for optimization of lung cancer radiotherapy. *Journal of Thoracic Oncology* 2011;12:2058-68.
- [11] Saito T, Sakamoto T, Oya N. Comparison of gating around end-expiration and end-inspiration in radiotherapy for lung cancer. *Radiother Oncol*. 2009;93:430-5.
- [12] Cervino LI, Gupta S, Rose MA, wsp. Using surface imaging and visual coaching to improve the reproducibility and stability of deep-inspiration breath hold for left-breast-cancer radiotherapy. *Phys Med Biol*. 2009;54:6853-65.
- [13] Charpentier AM, Conrad T, Sykes J, wsp. Active breathing control for patients receiving mediastinal radiation therapy for lymphoma: Impact on normal tissue dose. *Pract Radiat Oncol*. 2014;4:174-180.
- [14] Jung J, Song SY, Yoon SM, wsp. Verification of Accuracy of CyberKnife Tumor-tracking Radiation Therapy Using Patient-specific Lung Phantoms. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2015;92:745-53.
- [15] Sawant A, Venkat R, Srivastava V, wsp. Management of three-dimensional intrafraction motion through real-time DMLC tracking. *Med Phys*. 2008;35:2050-61.