



Rola fizyka medycznego w procesie weryfikacji obrazowej pacjentów w trakcie radioterapii

The role of the medical physicist in the process of imaging verification of patients during radiation therapy

Maria Piziorska¹, Andrzej Dąbrowski^{2,3}

¹ Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 1 (SPSK1) w Lublinie, ul. Radziwiłłowska 13, 20-080 Lublin, tel. +48 500 15 49 79, e-mail: maria.piziorska@gmail.com

² Świętokrzyskie Centrum Onkologii w Kielcach (ŚCO), ul. Artwińskiego 3, 25-734 Kielce

³ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Zakład Fizyki Medycznej i Biofizyki (ZFMB), ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce

Wprowadzenie

Weryfikacja ułożenia pacjentów jest jednym z ważniejszych punktów w procedurze realizacji napromieniania, gdyż odtwarzalność ułożenia ma istotny wpływ na wyleczalność chorych poddawanych radioterapii. Rozwój radioterapii wymusza stosowanie w ośrodkach radioterapeutycznych zaawansowanych technik i metod weryfikacji obrazowej pacjentów. Powszechnie zaczyna być stosowana tzw. radioterapia pod kontrolą obrazową (IGRT – Image Guided Radiation Therapy), która wykorzystuje głównie promieniowanie jonizujące [1].

Nie ma jednoznacznie przyjętej definicji, gdzie kończy się konwencjonalne obrazowanie weryfikacyjne, a rozpoczyna się

radioterapia sterowana obrazem (IGRT). W środowisku radioterapeutycznym panuje jednak ogólna zgoda, że kluczowe cechy IGRT to dostępność wysokiej jakości sprzętu do obrazowania oraz możliwość wizualizacji kluczowych struktur anatomicznych, z pacjentem w pozycji terapeutycznej, przy czym głównym celem jest informowanie o położeniu wiązki. Weryfikacja obrazowa IGRT wymaga stosowania protokołu działania na podstawie ustaleń. Można weryfikować pacjenta on-line (tj. przed włączeniem wiązki promieniowania) lub off-line (między frakcjami).

Czy fizyk medyczny jest zobowiązany do uczestnictwa w etapie weryfikacji odtwarzalności ułożenia pacjenta i napromienianiu? W jakim stopniu fizycy medyczni powinni być zaangażowani w ten proces w odniesieniu do pozostałych grup zawodowych?

378

Streszczenie

Weryfikacja obrazowa pacjenta to jeden z najważniejszych etapów procesu radioterapii. Obecnie jest ona stosowana w każdym ośrodku w Polsce do większości procedur radioterapeutycznych. Obrazy uzyskiwane przy pomocy coraz bardziej zaawansowanych urządzeń wymagają analizy oraz wiedzy i doświadczenia personelu medycznego. W artykule przeanalizowano polskie i zagraniczne zalecenia dotyczące informacji, czy fizyk medyczny jest zobowiązany do uczestnictwa w etapie weryfikacji odtwarzalności pacjenta i napromienianiu oraz w jakim stopniu fizycy medyczni powinni być zaangażowani w ten proces w odniesieniu do pozostałych grup zawodowych.

Słowa kluczowe: weryfikacja obrazowa, fizyk medyczny, zalecenia polskie, zalecenia zagraniczne

Abstract

Patient imaging verification is one of the most important stages of the radiotherapy process. Currently, it is used in every center in Poland for most radiotherapeutic procedures. Images obtained with the help of more and more advanced devices require analysis that requires the knowledge and experience of medical personnel. The article analyzes Polish and foreign recommendations regarding information on whether a medical physicist is required to participate in the stage of verification of patient reproducibility and irradiation, and to what extent medical physicists should be involved in this process in relation to other professional groups.

Key words: image verification, medical physicist, Polish recommendations, foreign recommendations

otrzymano / received:

27.09.2022

poprawiono / corrected:

10.10.2022

zaakceptowano / accepted:

30.10.2022



Zalecenia polskie

W polskim ustawodawstwie jest wymieniony udział poszczególnych grup zawodowych w procesie radioterapii pacjenta, jednak nie jest on ściśle określony.

W **prawie atomowym** [2] jest zapisana informacja: „5. Na wniosek lekarza lub operatora urządzenia służącego do napromieniania w jednostce ochrony zdrowia prowadzącej działalność w zakresie radioterapii specjalista w dziedzinie fizyki medycznej bierze udział w procedurze napromieniania pacjenta”.

Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 22 grudnia 2014 r. [3] w sprawie ogłoszenia wykazu wzorcowych procedur radiologicznych z zakresu radioterapii onkologicznej reguluje uczestnictwo poszczególnych grup zawodowych w procedurach medycznych: lekarzy radioterapeutów, fizyków medycznych oraz techników elektroradiologii, jednak podział ten nie jest jasno zdefiniowany. We wszystkich procedurach wzorcowych obejmujących radioterapię wiązkami zewnętrznymi w trakcie pierwszego napromieniania pacjenta oprócz techników elektroradiologii wymaga się uczestnictwa lekarza specjalisty w dziedzinie radioterapii onkologicznej, a w szczególnych przypadkach na wniosek lekarza – fizyka medycznego. We wskazanych potencjalnych źródłach błędów proceduralnych lub technicznych wskazana jest kontrola powtarzalności ułożenia pacjenta na każdym etapie planowania leczenia i podczas realizacji leczenia. W procedurach wykorzystujących symulator leczenia (procedury radioterapeutyczne począwszy od teleradioterapii paliatywnej frakcjonowanej) dla zapewnienia jakości leczenia promieniowaniem jonizującym należy wykonać zdjęcia sprawdzające dla pól terapeutycznych podczas pierwszego lub drugiego seansu terapeutycznego (kontrola portalowa), których analizy dokonuje przeszkolony zespół fizyków medycznych lub techników elektroradiologii. W przypadku wcześniejszych symulacji – analiza obrazów dotyczy również zdjęć symulacyjnych. W bardziej zaawansowanych procedurach radioterapeutycznych (od teleradioterapii radykalnej uproszczonej począwszy) na wniosek lekarza przy pierwszym napromienianiu w szczególnych przypadkach powinien być obecny fizyk medyczny. Odpowiedzialny jest on również za przygotowanie pól weryfikacyjnych (set-up) oraz apertur w technikach IMRT. W technice IMRT w procedurze wzorcowej wymaga się, aby dokładność ułożenia pacjenta w pozycji terapeutycznej była sprawdzana i korygowana przez lekarza radioterapeutę, stosownie do dostępnych na aparacie terapeutycznym urządzeń weryfikacyjnych, co najmniej raz w tygodniu, podczas całego okresu leczenia CRT-IMRT. W procedurze teleradioterapii pod kontrolą obrazową 3D-IGRT sprawdzenie i korekta przestrzenna pozycji chorego i napromienianej objętości wymagana jest przed każdą frakcją leczenia (przy pomocy kVCBCT, MVCBCT, MVCT, in-room on rails, 2D-2DkV bądź 2D lub 3D USG). W technice tej wymagana jest kontrola zgodności lokalizacji znaczników na pacjencie z ich topografią oznaczoną w zatwierdzonym planie leczenia (technik elektroradiologii). Bezpośrednio przed rozpoczęciem napromieniania lekarz (oraz technik elektroradiologii) sprawdza i ewentualnie koryguje przestrzenną pozycję chorego (i/lub

objętość tarczową). Wymagane są dodatkowa kontrola (technik elektroradiologii) przestrzennego (3D) pozycjonowania chorego w czasie rzeczywistym (on-line) oraz ocena niezgodności w pozycjonowaniu (off-line) w trybie późniejszym.

W technikach stereotaktycznych lekarz powinien być obecny przy każdej frakcji napromieniania. Przed rozpoczęciem napromieniania weryfikowane jest ułożenie pacjenta odpowiednim systemem IGRT, jednak oprócz technika elektroradiologii może tego dokonać zarówno lekarz radioterapeuta, jak i fizyk medyczny.

W zaawansowanych technikach radioterapii opisanych w procedurach wzorcowych ustawodawca zaznacza jednak, że wskazania do leczenia napromienianiem i zasady prowadzenia radioterapii regulują międzynarodowe i krajowe rekomendacje organizacji i towarzystw naukowych i zespołów ekspertów.

Zalecenie Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej (PTFM) [4] dotyczące prowadzenia kontroli ułożenia pacjentów leczonych wiązkami zewnętrznymi odwołuje się do rozporządzenia **Ministra Zdrowia w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej** [5]. Realizacja bezpiecznej radioterapii (dotycząca ułożenia pacjenta) w tym rozporządzeniu wymaga:

- uczestnictwa lekarza ze specjalnością w dziedzinie radioterapii onkologicznej w czasie pierwszego napromieniania pacjenta leczonego radykalnie i – w szczególnie uzasadnionych przypadkach – paliatywnie;
- udziału fizyka medycznego na wniosek lekarza lub operatora urządzenia w czasie napromieniania;
- układania pacjenta leczonego z wykorzystaniem promieniowania megawoltowego w pozycji terapeutycznej przez dwóch techników elektroradiologii;
- obserwacji pacjenta w czasie napromieniania z możliwością porozumiewania się z nim;
- zapewnienia odpowiedniego czasu na przeprowadzenie seansu terapeutycznego pozwalającego na precyzyjną jego realizację;
- wykonania weryfikacji obrazowej ułożenia pacjenta na aparacie terapeutycznym co najmniej przed pierwszym seansem oraz, jeżeli to technicznie możliwe, wykonania zdjęć sprawdzających dla pól terapeutycznych podczas pierwszego lub drugiego seansu każdego etapu leczenia;
- prowadzenia dokumentacji obejmującej protokół weryfikacji prawidłowości ułożenia pacjenta względem układu wiązek terapeutycznych dla określonych w odpowiednich procedurach systemu zarządzania jakością grup pacjentów oraz system okresowej analizy zdjęć portalowych;
- procedury realizacji leczenia w ośrodku zawierającą co najmniej informacje o udziale, zakresach zadań i obecności osób biorących udział w przygotowaniu pacjenta do leczenia i podczas leczenia (napromieniania), w tym lekarzy specjalistów radioterapii, fizyków medycznych, inżynierów medycznych i techników elektroradiologii.

PTFM zaleca, aby w weryfikację ułożenia pacjenta zaangażowana była każda z grup zawodowych biorąca udział



w radioterapii. Lekarz radioterapii podejmuje decyzje dotyczące leczenia pacjenta, natomiast pozostałe dwie grupy zawodowe: technicy elektroradiologii oraz fizycy medyczni mają za zadanie kontrolować weryfikację obrazową oraz dostarczyć odpowiednich danych niezbędnych do podjęcia tych decyzji według zasad „analizy zdjęć odrzuconych”. Rozporządzenie Ministra Zdrowia wymaga usystematyzowania tych czynności w Systemie Zarządzania Jakością przy pomocy odpowiednich procedur, jednak wyraźnie podkreśla szczególną rolę techników elektroradiologii, którzy w czasie rzeczywistym analizują obrazy weryfikacyjne oraz „bez względu na obowiązujące procedury, co najmniej jakościowe, przeanalizowanie w czasie rzeczywistym wyników, jakie zostały uzyskane [...] Szczególną rolę fizyków medycznych jest analiza ilościowa otrzymywanych wyników kontroli ułożenia”.

Prawo atomowe, rozporządzenia ministra zdrowia i zalecenia PTFM wymagają więc uczestnictwa fizyków medycznych w procesie realizacji leczenia czy to na życzenie pozostałych grup zawodowych (lekarzy radioterapeutów i techników elektroradiologii), czy w wyniku ustalonych w poszczególnych ośrodkach procedur wewnętrznych Systemu Zarządzania Jakością.

Zalecenia międzynarodowe

Temat weryfikacji obrazowej został szeroko ujęty w raporcie: **IAEA HUMAN HEALTH REPORTS No. 16**, „Introduction of Image Guided Radiotherapy into Clinical Practice” [6]. Niższej publikacja prezentuje różne aspekty wprowadzenia IGRT, m.in. wymagania odnośnie edukacji, szkoleń oraz personelu, a także wytyczne dotyczące zapewniania jakości, z podziałem na kompetencje poszczególnych grup zawodowych: radioterapeuty/onkologa, fizyka medycznego oraz technika elektroradiologa. Tabele 1 i 2 przedstawiają przegląd etapów, w których w IGRT są zaangażowane różne grupy zawodowe.

Ważnym elementem w procesie wprowadzania IGRT do praktyki klinicznej jest zapewnienie wystarczającej ilości czasu na szkolenie przed przybyciem sprzętu i wyposażenia, aby przeszkoleni fizycy medyczni mogli przeprowadzić testy akceptacyjne i rozruch. Radioterapeuci i technicy elektroradiologii również wymagają odpowiedniego szkolenia w trakcie lub przed fazą oddawania do użytku klinicznego sprzętu do obrazowania IGRT.

Radioterapeuci, ponosząc całkowitą odpowiedzialność za wyniki leczenia pacjenta, powinni posiadać wiedzę na temat wszystkich etapów IGRT, w tym jej praktycznego wdrożenia w ośrodku radioterapeutycznym oraz kontroli jakości. Onkologzy zajmujący się radioterapią odgrywają kluczową rolę w ocenie, rejestrowaniu i analizie wyników leczenia pacjentów po wdrożeniu IGRT.

W zaleceniach IAEA dotyczących napromieniania IGRT rola fizyków medycznych jest określona w schemacie typowego procesu radioterapii (Tabela 1) oraz udziału w IGRT (Tabela 2). Samo wdrożenie IGRT według raportu IAEA wymaga współpracy fizyka medycznego z lekarzem i technikiem elektroradiologii. Jednym z podstawowych elementów wdrożenia IGRT jest

Tabela 1 Typowy proces radioterapii obejmujący IGRT z wyszczególnieniem personelu wykonującego poszczególne etapy

Etapy procesu	Personel wykonujący
Ocena pacjenta Decyzja dotycząca leczenia radioterapeutycznego	Radioterapeuta Zespół interdyscyplinarny
Wszczepienie znaczników, jeśli wymagane Unieruchomienie, strategia IGRT, metoda pozycjonowania	Właściwy lekarz Radioterapeuta, technik elektroradiolog, konsultacja fizyka medycznego
Wybór protokołu obrazowania Obrazowanie do planowania leczenia	Radioterapeuta Radioterapeuta lub fizyk medyczny, w zależności od potrzeb
Wrysowanie targetów Struktury krytyczne	Radioterapeuta Radioterapeuta (technik elektroradiologii dozymetrysta lub fizyk medyczny pod kierunkiem radioterapeuty)
Zlecenie	Radioterapeuta
Planowanie leczenia Kreowanie obrazów referencyjnych	Fizyk medyczny, dozymetrysta lub technik elektroradiologii w konsultacji z radioterapeutą
Aprobata planu Wybór lub zlecenie protokołu IGRT	Radioterapeuta
Weryfikacja dozymetryczna planu	Fizyk medyczny
Weryfikacja przesyłu na aparat parametrów leczenia	Technik elektroradiologii
IGRT (Tabela 2)	(Tabela 2)
Napromienienie	Technik elektroradiologii
Ocena IGRT (Tabela 2)	(Tabela 2)

Tabela 2 Typowy proces IGRT z wyszczególnieniem personelu wykonującego poszczególne etapy

Etapy procesu	Personel wykonujący
Początkowe pozycjonowanie pacjenta	Technik elektroradiologii
Akwizycja obrazu Ocena obrazu (jakość i duże przesunięcia)	Technik elektroradiologii
Porównanie z obrazem referencyjnym Rejestracja obrazu Ocena obrazu i wymagane działania (ułożenie, duże zmiany anatomiczne, migracje markerów) Ocena ruchomości Szacowanie przesuwów stołu: translacje/rotacje	Technik elektroradiologii, radioterapeuta lub fizyk medyczny, w zależności od potrzeb
On-line: zastosowanie korekcji stołu, powtórzenie obrazowania po korekcje	Technik elektroradiologii, radioterapeuta lub fizyk medyczny, w zależności od potrzeb
Off-line: rekomendowanie korekcji dużych przesunięć (do dalszych działań)	Technik elektroradiologii, radioterapeuta lub fizyk medyczny, w zależności od potrzeb
Dostarczenie promieniowania, włączając obrazowanie w trakcie napromieniania – jeśli wymagane	Technik elektroradiologii
Obrazowanie pofrakcyjne, jeśli wymagane	Technik elektroradiologii
On-line: dalszy przegląd off-line i analiza obrazów uzyskanych on-line	Technik elektroradiologii, radioterapeuta lub fizyk medyczny, w zależności od potrzeb
Off-line: Przegląd obrazów, analiza przesunięć pacjenta i określenie działań opartych na protokole IGRT	Technik elektroradiologii, radioterapeuta lub fizyk medyczny, w zależności od potrzeb



opracowanie protokołów, które jasno definiują procedurę przepływu pracy w trybie off-line i on-line, w tym dokumentację, której należy przestrzegać w przypadku IGRT na każdym etapie leczenia. Technik elektroradiologii wraz z lekarzem radioterapeutą oraz fizykiem medycznym muszą wnieść wkład w takie protokoły, aby zoptymalizować proces radioterapii.

Rola fizyka medycznego zależy od lokalnej praktyki i dostępności innego personelu, takiego jak np. inżynierowie serwisowi i technicy elektroradiologii. Ponadto do zadań fizyków medycznych należy specyfikacja i uruchomienie sprzętu, opracowanie odpowiednich protokołów obrazowania oraz opracowanie i przeprowadzenie odpowiedniego programu kontroli jakości.

Fizycy medyczni zajmują się:

- określaniem specyfikacji narzędzi obrazowania w oparciu o potrzeby kliniczne;
- przeprowadzaniem badań rynkowych pod kątem dostępnych opcji IGRT i ich kompatybilności z istniejącym sprzętem, procedurami i potrzebą kliniczną;
- doradztwem w zakresie urządzeń unieruchamiających i ich wpływu na obrazowanie;
- doradztwem w zakresie adekwatności markerów referencyjnych do procedur obrazowania;
- oceną procedur automatycznego dopasowywania i rejestracji dla obrazowania referencyjnego i weryfikacyjnego;
- przeglądem stosowności i adekwatności obrazów referencyjnych;
- przesyłaniem, obsługą, przechowywaniem i archiwizacją obrazów;
- opracowywaniem protokołów zarządzania napromienianiem, stosownie do potrzeb i wymagań.

Fizycy medyczni odpowiadają za:


- testy akceptacyjne sprzętu IGRT, w tym ocenę dawki;
- uruchomienie sprzętu IGRT, w tym ochronę radiologiczną pacjentów i personelu;
- opracowywanie protokołów obrazowania zoptymalizowanych do celów klinicznych, przy jednoczesnym minimalizowaniu dawki promieniowania dla pacjenta;
- opracowywanie i przeprowadzanie procedur zapewniania i kontroli jakości w zakresie jakości obrazu, dawki promieniowania i dokładności geometrycznej;
- kompleksowe testowanie procesu IGRT;
- wykonywanie obliczeń przesunięć pacjentów w protokołach IGRT off-line;
- zbieranie i analizowanie danych instytucjonalnych, w tym poziomów działań;
- doradztwo onkologom zajmującym się radioterapią w temacie marginesów PTV na podstawie wyników IGRT.

Wnioski

Fizyk medyczny jako osoba wykonująca istotne czynności w procesie planowania leczenia powinna brać udział w procesie weryfikacji ułożenia pacjentów: może mieć przez to wpływ na

podwyższenie jakości leczenia. Fizyk medyczny posiada informacje i wiedzę, która nie należy do obszaru kompetencji lekarzy i techników elektroradiologów, jak również potrzebuje informacji od pozostałych grup zawodowych oraz samego pacjenta w celu zapewnienia bezpieczeństwa i optymalizacji procesu planowania leczenia. Obopólne korzyści wynikające z udziału fizyków medycznych w procesie symulacji i weryfikacji ułożenia to m.in.:

- wiedza z zakresu fizyki promieniowania niezbędna przy ocenie możliwości przygotowania i realizacji napromieniania konkretnego pacjenta;
- uwzględnianie unieruchomień i bolusów w systemie planowania leczenia i ich odtwarzalności;
- doradztwo na etapie wykonywania CT z uwagi na możliwości techniczne przygotowania planu leczenia;
- współpraca z pacjentem i technikami/lekarzami w indywidualnym podejściu do przypadku, np. niemożność odtworzenia zbyt długiego planu leczenia w przypadku słabej kondycji pacjenta;
- ocena jakości wykonanych badań obrazowych;
- zmiana anatomii pacjenta w trakcie realizacji leczenia a możliwości prawidłowej realizacji planu leczenia;
- zaangażowanie innej grupy zawodowej w proces weryfikacji ułożenia pacjenta przyczynia się do niezależnego spojrzenia na ewentualne problemy i zagadnienia w tym temacie;
- jako zespół opracowujący ilościową analizę wyników kontroli ułożenia może pomóc w ustalaniu przyczyn błędów systematycznych i przypadkowych.

Raport IAEA wydany w 2019 r. ze względu na aktualność danych oraz organ publikujący jest niepodważalnym źródłem wiedzy na temat podziału obowiązków i zasad postępowania w obszarze weryfikacji obrazowej pacjenta. Ponadto w radioterapii podstawową zasadą stosowaną na każdym etapie leczenia jest zasada ALARA. W przypadku IGRT pacjent otrzymuje dodatkową dawkę promieniowania [7]. Na osobach uczestniczących w procesie weryfikacji obrazowej spoczywa obowiązek minimalizowania tej dawki. 

Piśmiennictwo

1. J.-P. Bissonnette et al.: *QA for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies*, Med. Phys., 39(4), 2012, 1946-1963.
2. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (Dz.U. z 2021 r. poz. 1941).
3. *Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 22 grudnia 2014 r. w sprawie ogłoszenia wykazu wzorcowych procedur radiologicznych z zakresu radioterapii onkologicznej*, Dz. Urz. Min. Zdr. 2014.81.
4. *Zalecenia PTFM dotyczące prowadzenia kontroli ułożenia pacjentów leczonych wiązkami zewnętrznymi. Część I, II i III*. PJMPE 2015;21(1):1; PJMPE 2015;21(1):3-26; 2015;21(1):27-31.
5. *Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 3 kwietnia 2017 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej*(Dz.U. z 2017 r. poz. 884).
6. *Introduction of Image Guided Radiotherapy into Clinical Practice*, International Atomic Energy Agency IAEA, Division of Human Health, Vienna (Austria) 2019.
7. *ACR-ASTRO Practice Parameter for Image-guided Radiation Therapy (IGRT)*
8. *American Journal of Clinical Oncology*, Volume 43, Number 7, 27 July 2020, 459-468(10).