



Dostępne online www.journals.wco.pl/los

Zeszyty Naukowe WCO, Letters in Oncology Science 2022;19(1):56-67

DOI: 10.21641/los.2022.19.1.227

Letters in Oncology Science

ISSN 2543-6724

ZESZYTY NAUKOWE WIELKOPOLSKIEGO
CENTRUM ONKOLOGII

Praca poglądowa/Review paper

Przegląd technik radioterapeutycznych wykorzystywanych w napromienianiu nowotworu odbytnicy.

Review of radiotherapeutic techniques related to irradiation of rectal cancer.

Magdalena Pańczyszyn¹, Olga Bąk¹, Weronika Kijeska¹,
Justyna Kosmowska¹, Agnieszka Skrobała^{1,2}

¹ Zakład Fizyki Medycznej, Wielkopolskie Centrum Onkologii, Poznań

² Katedra i Zakład Elektroradiologii, Uniwersytet Medyczny, Poznań

Streszczenie

Rak odbytnicy jest trzecim najczęściej występującym na świecie nowotworem u mężczyzn i drugim u kobiet. W zależności od stopnia zaawansowania choroby nowotworowej radioterapia stosowana jest jako wyłączne leczenie nowotworów odbytnicy lub jako terapia wspomagająca przedoperacyjnie lub pooperacyjnie. Celem pracy był przegląd historycznych oraz aktualnych metod leczenia radioterapią odbytnicy. W pracy omówiono technikę konwencjonalnej radioterapii 2D (ang. two-dimension radiation therapy) oraz trójwymiarową technikę radioterapii 3D (ang. three dimension radiation therapy). Na końcu omówiono obecnie wykorzystywane techniki dynamiczne radioterapii, takie jak: technika z modulacją intensywności dawki IMRT (ang. intensity modulated radiation therapy), technika obrotowa z modulacją

Adres do korespondencji

Magdalena Pańczyszyn

Zakład Fizyki Medycznej,

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

Telefon. +48 61 88 50 553

e-mail: [magdalena.panczyszyn@wco.pl](mailto:magdalenapanczyszyn@wco.pl)

intensywnością dawki VMAT (ang. volumetric modulated arc therapy) oraz technika helikalna (ang. helical therapy). W pracy skupiono się na przedstawieniu realizacji omawianych technik i opisie jak dana technika wpływa na rozkład dawki w planowanej objętości do napromieniania PTV (ang. Planning Target Volume) oraz na dawki w narządach krytycznych w radioterapii nowotworów odbytnicy.

Abstract

Rectal cancer is the third most common cancer in men and the second in women worldwide. Depending on the stage of the cancer, radiotherapy is used as the only treatment of rectal cancer or as a pre-operative or post-operative adjuvant therapy. The aim of the study was to review historical and current methods of rectal radiotherapy techniques. The study presents the technique of conventional 2D radiotherapy (two-dimension radiation therapy) and three-dimensional 3D radiotherapy (three-dimensional radiation therapy). Finally, the currently used dynamic radiotherapy techniques are discussed, such as: IMRT (intensity modulated radiation therapy), VMAT (volumetric modulated arc therapy) and the helical technique (helical therapy). The paper focuses on implementing the given techniques and the description of the influence of a given technique on the dose distribution in the Planning Target Volume PTV and doses in critical organs in rectal cancer radiotherapy.

Słowa kluczowe: radioterapia, nowotwór odbytnicy, narządy krytyczne, planowanie leczenia

Keywords: radiotherapy, rectal cancer, organs at risk, treatment planning

Wstęp

Rak odbytnicy jest trzecim najczęściej występującym na świecie nowotworem u mężczyzn i drugim u kobiet [1]. Nowotwory jelita grubego stanowią trzecią najczęstszą przyczynę zgonu na świecie [1]. W zależności od stopnia zaawansowania choroby nowotworowej radioterapia stosowana jest jako wyłączone leczenie nowotworów odbytnicy lub jako terapia wspomagająca przedoperacyjnie lub pooperacyjnie. Radioterapia przedoperacyjna ma na celu zniszczenie lub zmniejszenie masy guza, co umożliwia wycięcie go bez obawy rozprzestrzenienia komórek nowotworowych w otaczających tkankach [2]. Radioterapia pooperacyjna wykorzystywana jest w przypadku m.in. wysokiego stopnia złośliwości nowotworu i pozwala na zmniejszenie możliwości wystąpienia wznów miejscowych [2]. W radioterapii przedoperacyjnej istnieją dwa schematy realizacji napromieniania. Pierwszy to tak zwana krótka ścieżka, polegająca na podaniu 25 Gy w 5 frakcjach na tydzień przed operacją. Drugi schemat to 5-tygodniowa radioterapia do dawki całkowitej 50 Gy (2 Gy/frakcja) lub 50,4 Gy (1,8 Gy/frakcja) [3]. W Polsce bardziej preferowanym schematem jest schemat 5 x 5 Gy ze względu na mniejszą wczesną toksyczność [3].

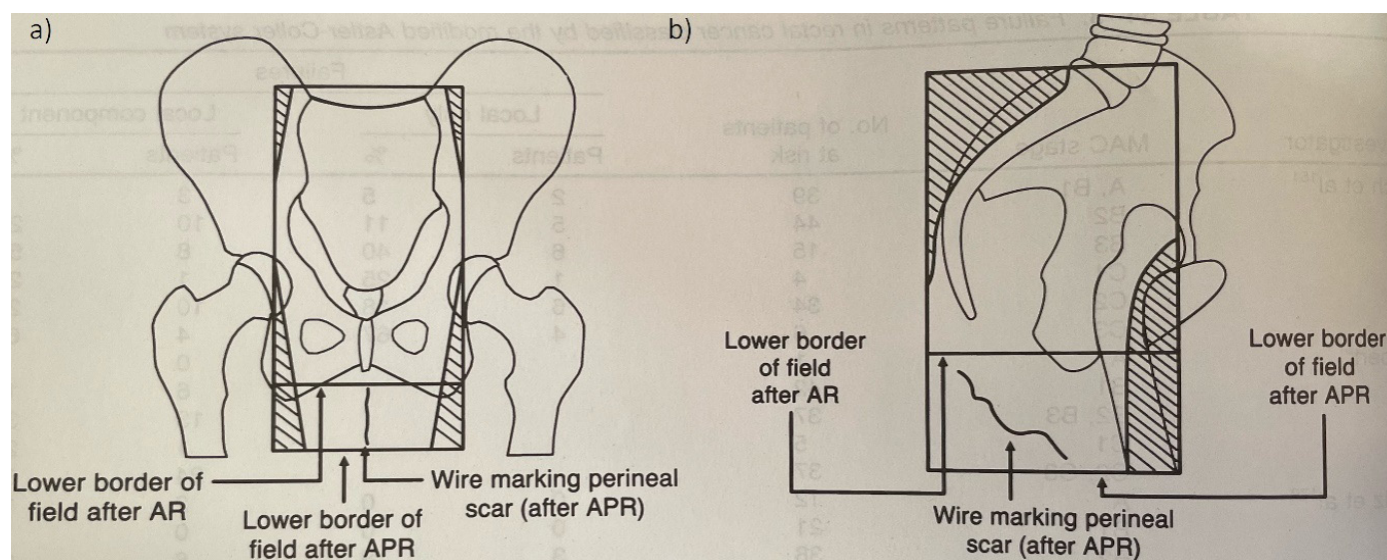
W przypadku nowotworów odbytnicy kliniczna objętość napromieniana (CTV (clinical target volume) najczęściej zawiera odbytnicę wraz z węzłami chłonnymi [4]. W pobliżu obszaru CTV znajdują się narządy krytyczne (OARs, organs at risk) takie jak: pęcherz, prawa i lewa głowa kości udowej, jelita [5]. Narządy krytyczne posiadają ściśle zdefiniowane dawki tolerancji, których przekroczenie grozi powikłaniami popromiennymi. Dawki tolerancji dla poszczególnych narządów zebrano w kilku raportach, jednym z takich raportów jest artykuł autorstwa Benzen S. i współautorów z 2010 r. raport QUANTEC [6]. Głównym celem planowania leczenia jest dostarczenie dawki zadanej do planowanej objętości leczonej (PTV, planning target volume), czyli obszaru CTV powiększonego o margines uwzględniający niepewność ułożenia pacjenta oraz ruchomość CTV [7]. Podczas radioterapii odbytnicy konieczne jest oszczędzenie narządów krytycznych znajdujących się w pobliżu obszaru napromieniania, uwzględniając obowiązujące ograniczenia dawek tolerancji.

Celem pracy był przegląd historycznych oraz aktualnych technik napromieniania w radioterapii raka odbytnicy. Początkowo w latach 60-tych XX wieku, pacjentów leczono metodą konwencjonalnej radioterapii 2D (ang. two-dimension radiation therapy), która bazowała na kliszach rentgenowskich. Dzięki zastosowaniu

rentgenowskiej tomografii komputerowej oraz systemów planowania leczenia możliwa stała się realizacja trójwymiarowej radioterapii konformalnej (3DCRT, three dimension conformal radiation therapy). Na końcu pracy omówiono obecnie wykorzystywane techniki dynamicznej radioterapii, takie jak: radioterapia z modulowanym natężeniem (IMRT, intensity modulated radiation therapy), technika łukowa z modulowanym natężeniem (VMAT, volumetric modulated arc therapy) oraz technika helikalna (ang. helical therapy).

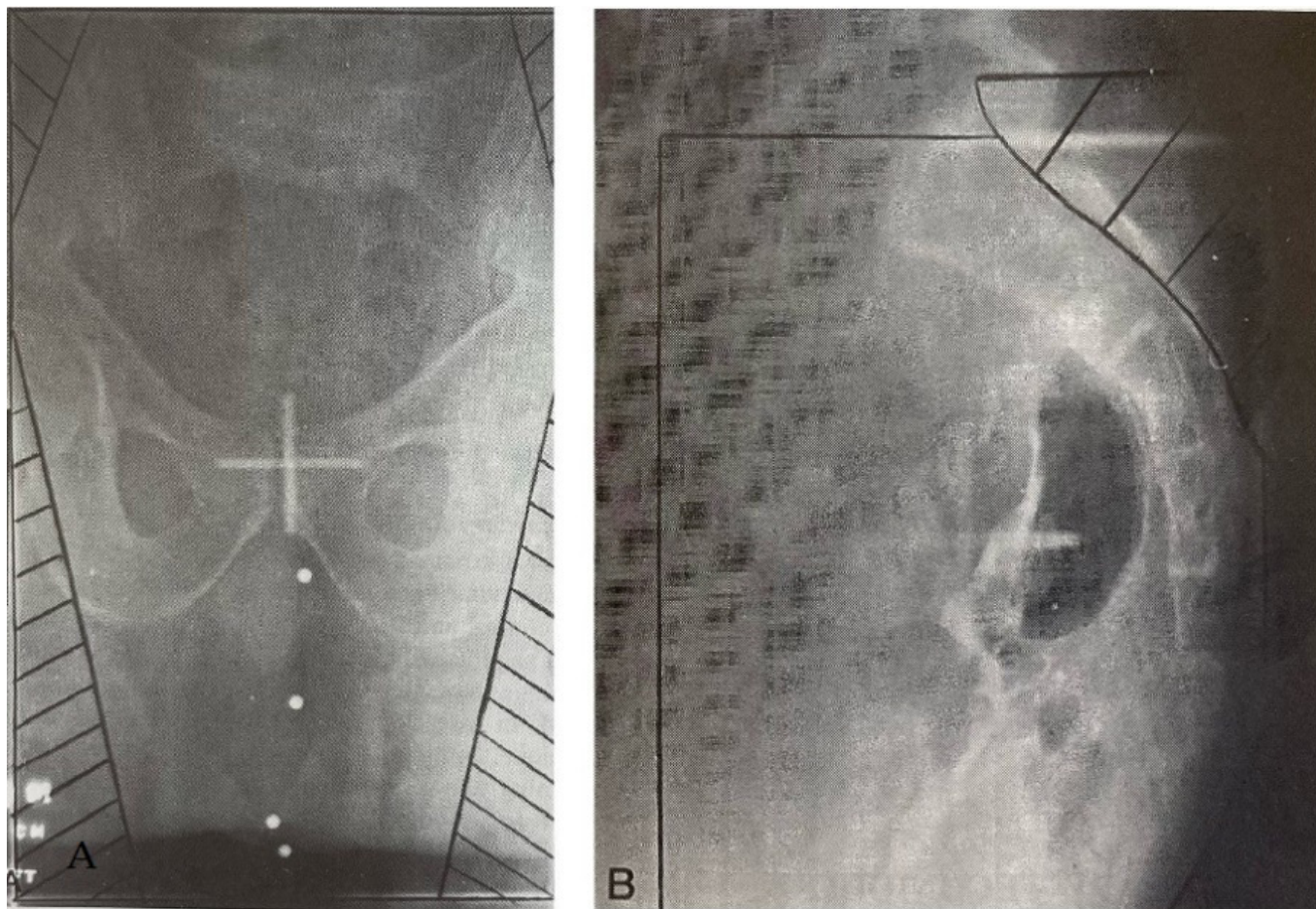
• Konwencjonalna radioterapia 2D

Konwencjonalna radioterapia 2D (ang. two dimensional radiation therapy) była szeroko stosowana od lat 60-tych XX wieku. W procesie planowania leczenia wykorzystywano klisze rentgenowskie. Obrazowano na nich struktury kostne, a następnie na ich podstawie określano położenie guza w ciele pacjenta. W celu ustalenia położenia guza w ciele pacjenta, wykorzystywano struktury kostne, które traktowano jako punkty odniesienia dzięki zobrazowaniu ich położenia na kliszach rentgenowskich RTG tworzonych z wykorzystaniem urządzenia zwanego symulatorem. W konwencjonalnej radioterapii 2D nowotworu odbytnicy stosowano od 2 do 4 wiązek promieniowania o kwadratowym lub prostokątnym przekroju poprzecznym. Standardowo wykorzystywano tylko dwa naprzeciwległe pola skierowane od przodu i tyłu pacjenta AP/PA (ang. anterior-posterior/posteriori-anterior) lub dodatkowe dwa pola boczne w technice czteropolowej, tzw. technice „Box”. Dokładne ułożenie wiązek zależało jednak od lokalizacji nowotworu pierwotnego, położenia i liczby zajętych węzłów chłonnych oraz od typu przeprowadzonej resekcji. Amputacja brzuszno-kroczeniowa polegała na wycięciu całej odbytnicy wraz ze zwieraczami odbytu, natomiast resekcja przednia to usunięcie odcinka odbytnicy, które nie wiązało się z wykonaniem stałej stomii. Wymiar pól AP/PA w większości przypadków był wystarczający do objęcia wchodu miednicy wraz z marginesem wokół zajętych węzłów chłonnych biodrowych. Margines boczny ustalano zależnie od stosowanej energii promieniowania fotonowego, jednak zwykle ustawiano go na poziomie 1-2 cm poza kość łonową. Margines górny określano co najmniej 1,5 cm powyżej cypla kości krzyżowej. Niekiedy sięgał on do wysokości kręgów L4-L5, a nawet pokrywał miejsca okołoaortalne na wysokości kręgów T11-T12, w zależności od rozmiaru krezki i zajęcia węzłów biodrowych. Szerokość dolnego marginesu była zmienna i wynosiła minimalnie 2-5 cm od granicy guza, z uwagi na potrzebę pokrycia otworu zasłonowego u pacjentów przed, jak i po operacyjnej resekcji. Niezbędnym okazywał się margines tylny z uwagi na położenie tkanek odbytnicy i około odbytniczych w bezpośrednim sąsiedztwie kości krzyżowej i ogonowej. W zależności od użytej energii promieniowania margines ten znajdował się minimum 1,5-2 cm za kością krzyżową (Rycina 1), granica dolna pola zależna była czy przeprowadzono zabieg resekcji przedniej czy resekcji brzuszno-kroczeniowej [8,10,11,13].



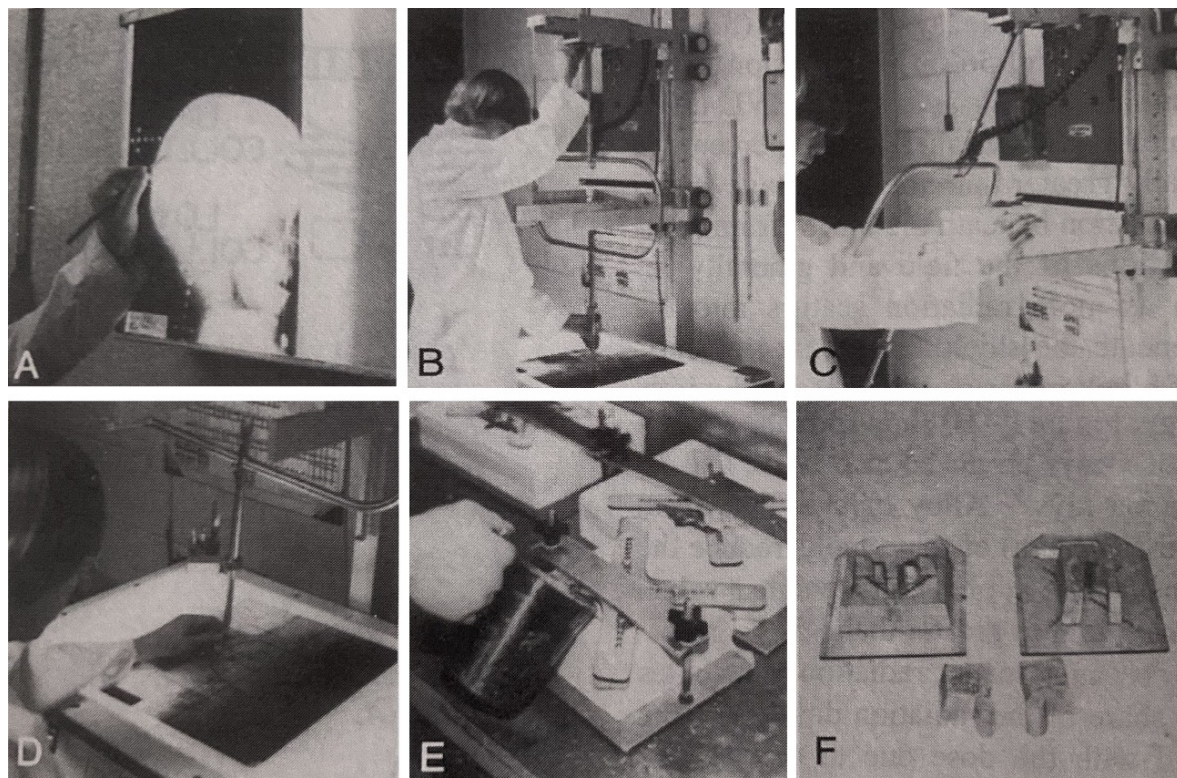
Rycina 1. a) Przednio-tylne i (b) boczne pole stosowane w radioterapii raka odbytnicy wraz z marginesami zależnymi od sposobu przeprowadzonej amputacji: AR – Resekcja przednia, APR – resekcja brzuszno-kroczeniowa [13]

W przypadku planów leczenia zawierających pola boczne w technice Box preferowano ułożenie pacjenta na brzuchu w celu uwidocznienia kości krzyżowej. Podczas układania chorego dbano, aby miednica była uniesiona ponad blatem stołu, co pozwalało na wytyczenie struktur kostnych i rozmiaru pola (Rycina 2) [8,9,11]. Na rycinie 2 przedstawiono przykładowe radiogramy wykorzystane do planowania leczenia nowotworu odbytnicy; rycina 2 a) pole tylne w radioterapii odbytnicy u mężczyzny, rycina 2 b) pole boczne obejmujące guza i węzły chłonne po resekcji przedniej u kobiety.



Rycina 2. Przykładowe radiogramy wykorzystane do planowania leczenia nowotworu odbytnicy:
a) pole tylne w radioterapii odbytnicy u mężczyzny, b) pole boczne obejmujące guza i węzły chłonne po resekcji przedniej u kobiety [8].

W celu modyfikacji rozkładu dawki i ochrony narządów krytycznych takich jak jelita, pęcherz moczowy i głowy kości udowych stosowano osłony w postaci standardowych osłon narożnych wykonanych z ołowiu lub osłon z metalu Lipowitza wykonywanych indywidualnie dla każdego pacjenta. By tworzyć spersonalizowane osłony kształtujące pole najczęściej korzystano z systemu Powersa, w którym wykorzystywany był metal Lipowitza (nazwa handlowa Cerrobend) składający się w 50% z bizmutu, 27% z ołowiu, 13% z cyny i 10% z kadmu. Metal ten topi się w temperaturze $\pm 70^{\circ}\text{C}$, dzięki czemu możliwe jest łatwe odlanie go w dowolny kształt. Aby wykonać osłonę lekarz musiał obrysować na zdjęciu rentgenowskim pole leczenia ze wskazaniem obszarów, które mają zostać osłonięte. Następnie na tej podstawie wycinano rozgrzanym kawałkiem drutu wążkę w bloku styropianowym, którą wypełniano stopionym metalem Lipowitza. Należało to robić powoli w celu uniknięcia tworzenia się pęcherzyków powietrza. Zajęcie to wymagało sporego nakładu czasu i pracy (Rycina 3) [10].



Rycina 3. Proces wytwarzania osłony indywidualnej z metalu Lipowitz a) Lekarz definiujący objętość leczoną na radiogramie z symulatora rentgenowskiego. b) Fizyk określający odległość źródło-skóra pacjenta i odległość drutu przecinającego. c) Ustawienie bloku styropianowego o odpowiedniej grubości. d) Wycinanie kształtów w formie za pomocą gorącego drutu. e) Wylewanie do gotowej formy stopionego metalu i pozostawienie go do utwardzenia. f) Przykład gotowych osłon indywidualnych wykonanych za pomocą tego systemu [10].

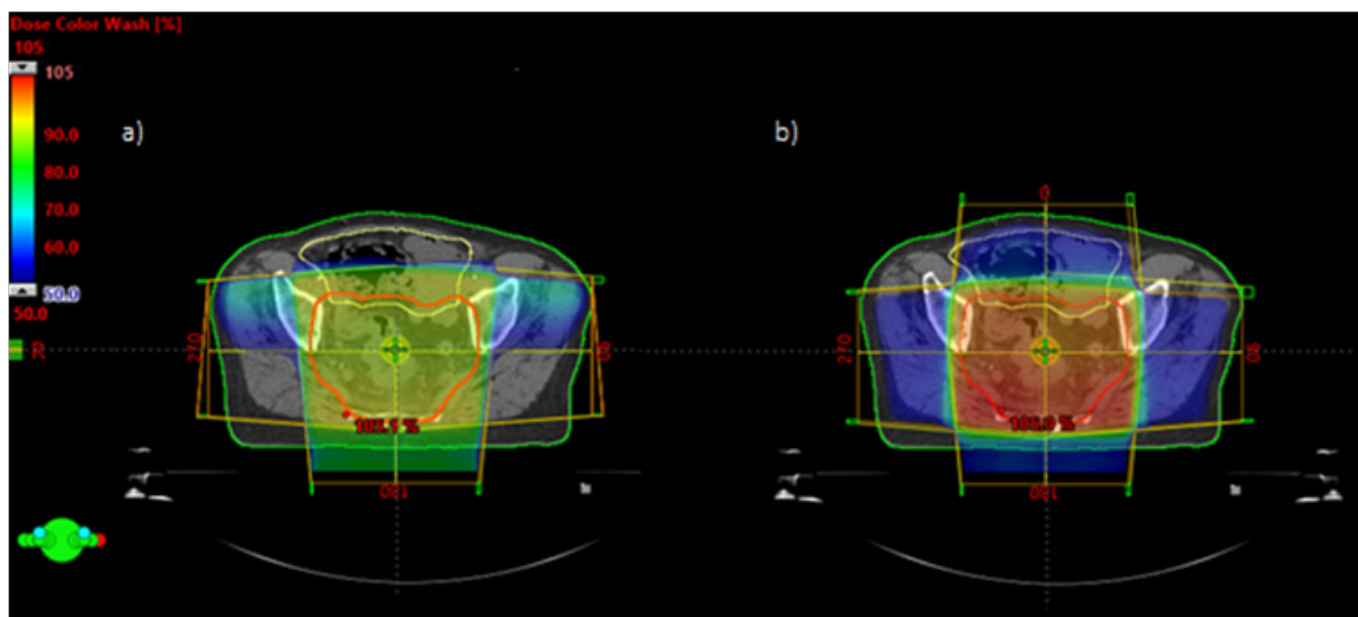
• Trójwymiarowa technika radioterapii

Do postępu w radioterapii przyczyniło się opracowanie bardziej zaawansowanych modeli, takich jak np. algorytm superpozycji rozkładów dawek, który wykorzystuje jedynie ograniczony zestaw pomiarów, aby uzyskać lepsze dopasowanie modelu a także poprawa mocy obliczeniowej [11,12]. Decydującą rolę odegrało też pojawienie się tomografii komputerowej i wprowadzenie trójwymiarowego obrazowania pacjenta. Dostępne stały się systemy do planowania leczenia umożliwiające wykonywanie trójwymiarowych obliczeń rozkładu dawki i utworzenia cyfrowo zrekonstruowanych radiogramów. Możliwe stało się też bezpośrednio wizualizowanie guza oraz narządów krytycznych. Tym samym wiązki promieniowania mogły być indywidualnie zorientowane dla danego pacjenta i dostosowywane do sytuacji pod kątem rozległości choroby i anatomii pacjenta co spowodowało początek ery trójwymiarowej radioterapii konformalnej. Innowacyjnością był widok z perspektywy źródła promieniowania wzdłuż osi wiązki BEV (ang. Beam's Eye View) podobnie jak podczas oglądania radiogramów symulacyjnych. Dzięki tej prezentacji wiązki dopasowywano kształt pola wprowadzając w jego obręb osłony indywidualne ze stopu Wooda w późniejszych latach wykorzystywano w tym celu kolimator wielolistkowy MLC (ang. MultiLeaf Collimator). Modyfikacje rozkładu dawki uzyskiwano natomiast przez fizyczne filtry klinowe (tzw. kliny mechaniczne) lub kliny dynamiczne [15,16].

W przypadku trójwymiarowej radioterapii konformalnej nowotworów odbytynicy stosowano wiązki fotonów o energii z zakresu 6-20 MeV. Najpopularniejsza stała się technika trójpolowa, składająca się z wiązek o wartości kąta głowicy 90°, 180° i 270°, gdy pacjent był leczony w ułożeniu na plecach. W polach bocznych wykorzystywana była energia z zakresu 15-20 MeV o wadze 30% z dawki zadanej, w których stosowano

filtry klinowe o wartości kąta 45° , których zadaniem była redukcja gorących punktów (przedawkowania). W konsekwencji nie ma potrzeby stosowania pola przedniego, o wartości kąta głowicy 0° , a w wiązce z kąta głowicy 180° o energii 6 MeV zadawana była waga 40% z dawki zadanej (Rycina 4a).

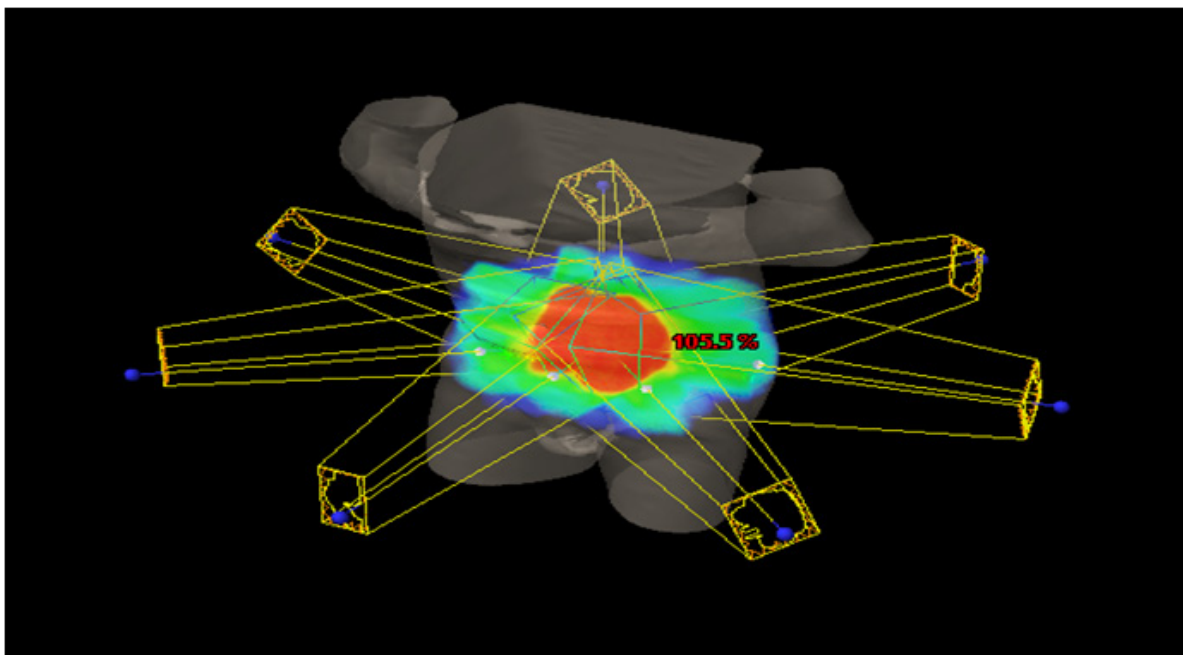
W technice czteropolowej nie wykorzystywano filtrów klinowych, a w odróżnieniu od techniki trójpolowej, stosowane było pole z kąta głowicy 0° , gdy pacjent był leczony w ułożeniu na plecach. Pola o wartości kątów głowicy 0° , 90° i 270° wykorzystywały wiązki fotonowe o energii 15-20 MeV, natomiast wiązka o wartości kąta głowicy 180° była jedyną o energii 6 MeV. Dla wszystkich pól stosowana była równa waga wiązek promieniowania (Rycina 4b). Porównując technikę trójpolową z techniką czteropolową można wywnioskować, że zaletą techniki trójpolowej był krótszy czas trwania sesji radioterapeutycznej i niższa dawka w pęcherzu. Natomiast przewagą techniki czteropolowej było nieznacznie lepsze pokrycie PTV dawką zadaną i wyższa konformalność dawki w objętości leczonej [14].



Rycina 4. Przykładowy rozkład dawki na przekroju poprzecznym dla techniki 3DCRT
a) dla techniki trójpolowej, b) dla techniki czteropolowej.
Źródło: materiał własny.

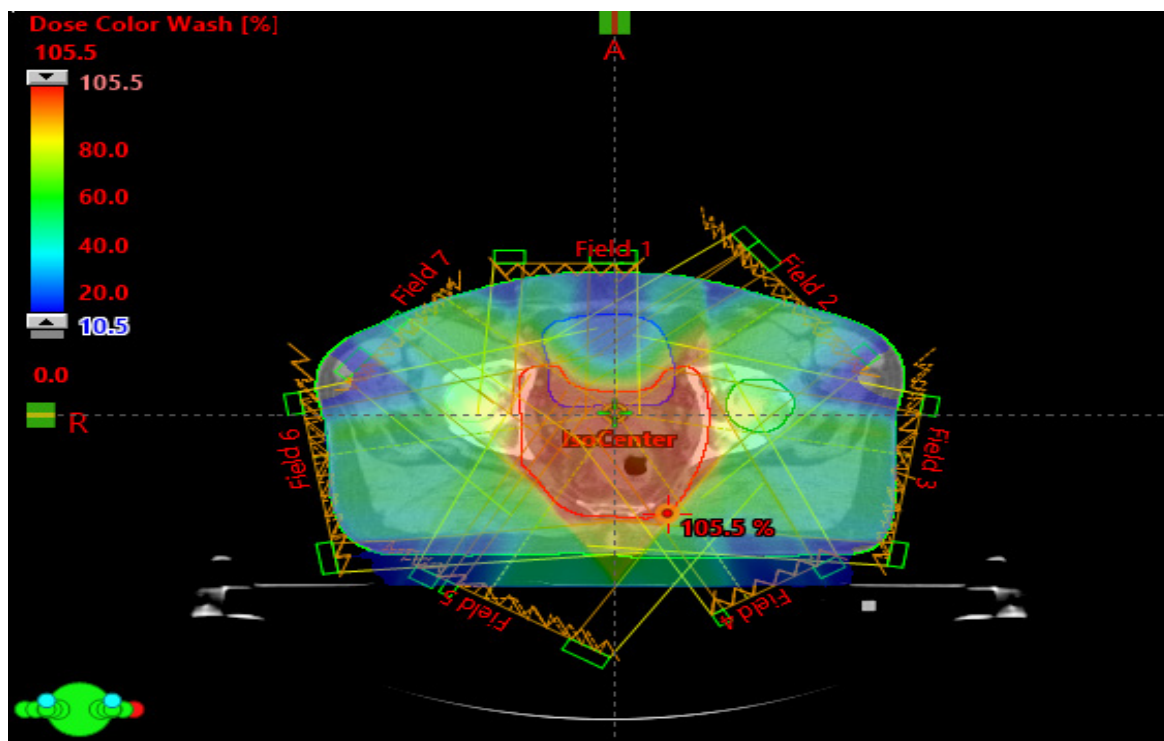
• Techniki dynamiczne

W radioterapii raka odbytnicy jedną z zaawansowanych technik wykorzystywaną w leczeniu jest technika IMRT, w której plany powstawały poprzez sekwencje dostarczania wielu wiązek z niejednorodną intensywnością dawki, gdzie wiązka była modulowana za pomocą kolimatora wielolistkowego [18]. Jednym z ważniejszych aspektów leczenia pacjentów za pomocą techniki IMRT jest dokładne określenie objętości napromienianych, ze względu na konformalne obszary o wysokiej dawce, które otaczają guz ze stromym gradientem dawki poza obszarem leczonym. W technice IMRT wykorzystuje się algorytmy odwrotnego planowania (inverse planning), które polegają na wprowadzeniu do systemu planowania leczenia zależności dawka-objętość dla poszczególnych struktur, zarówno PTV jak i OARs. Na tej podstawie system oblicza ruch listów kolimatora wielolistkowego. Kształt pola może się zmieniać w sposób ciągły (sliding window) lub skokowy (step-and-shoot). W rezultacie intensywność wiązki promieniowania dla każdego pola zmienia się w czasie. Zastosowanie nowoczesnej techniki radioterapii jaką jest IMRT pozwala na osiągnięcie konformalnego rozkładu dawki dla PTV z jednoczesną ochroną narządów krytycznych [19,20,21]. Przykładowe ustawienie wiązek w technice IMRT dla nowotworu odbytnicy przedstawiono na rycinie 5.



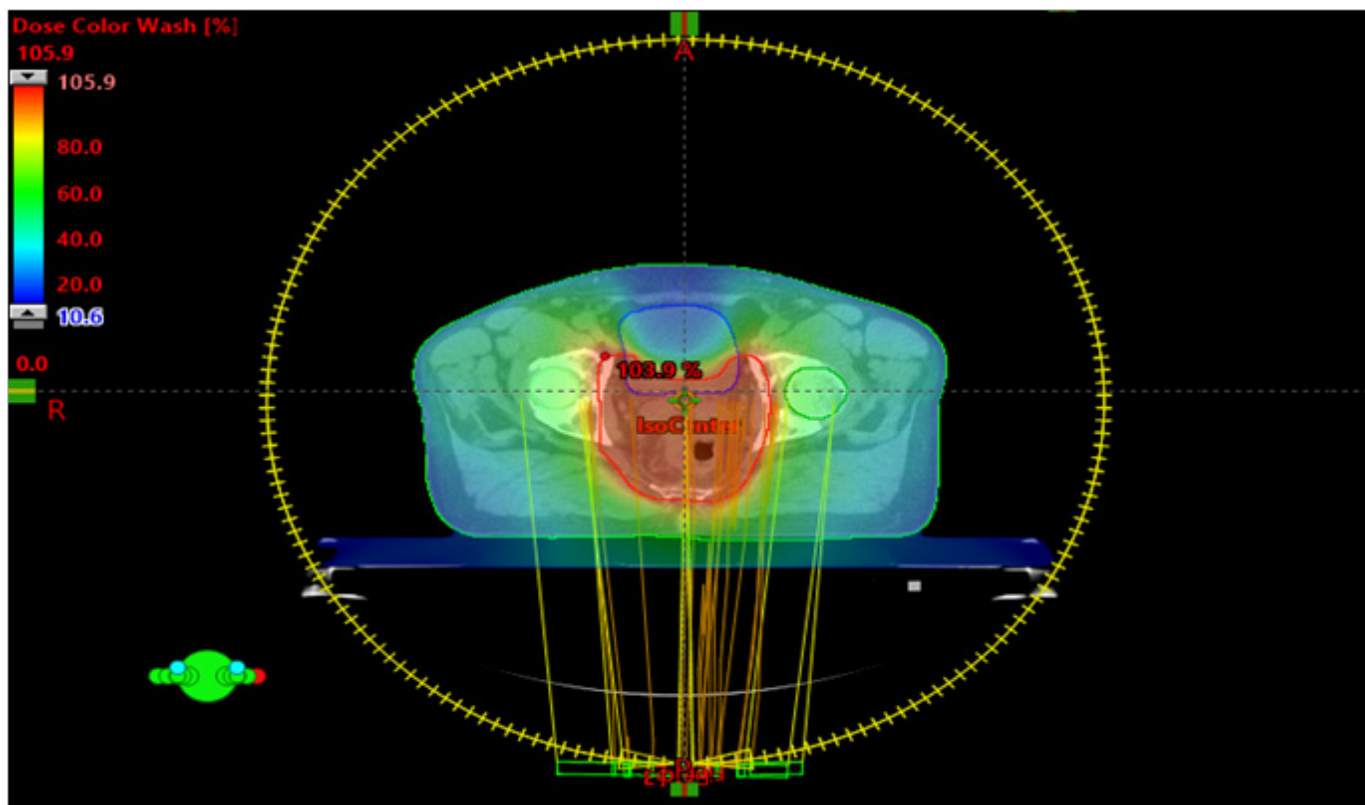
Rycina 5. Przykładowa wizualizacja układu siedmiopolowej techniki IMRT dla nowotworu odbytnicy.
Źródło: materiał własny.

W procesie planowania leczenia techniką IMRT wykorzystano siedem współpłaszczyznowych wiązek fotonowych o energii 6 MeV ($0^{\circ}, 50^{\circ}, 100^{\circ}, 150^{\circ}, 210^{\circ}, 260^{\circ}$ i 310°). Podczas planowania leczenia przyjęto następujące kroki: najwyższy priorytet nadano objętości napromienianej PTV, a następnie minimalizowano dawki w narządach krytycznych. Na rycinie 6 przedstawiono przykładowy rozkład dawki na przekroju poprzecznym w technice IMRT dla raka odbytnicy.



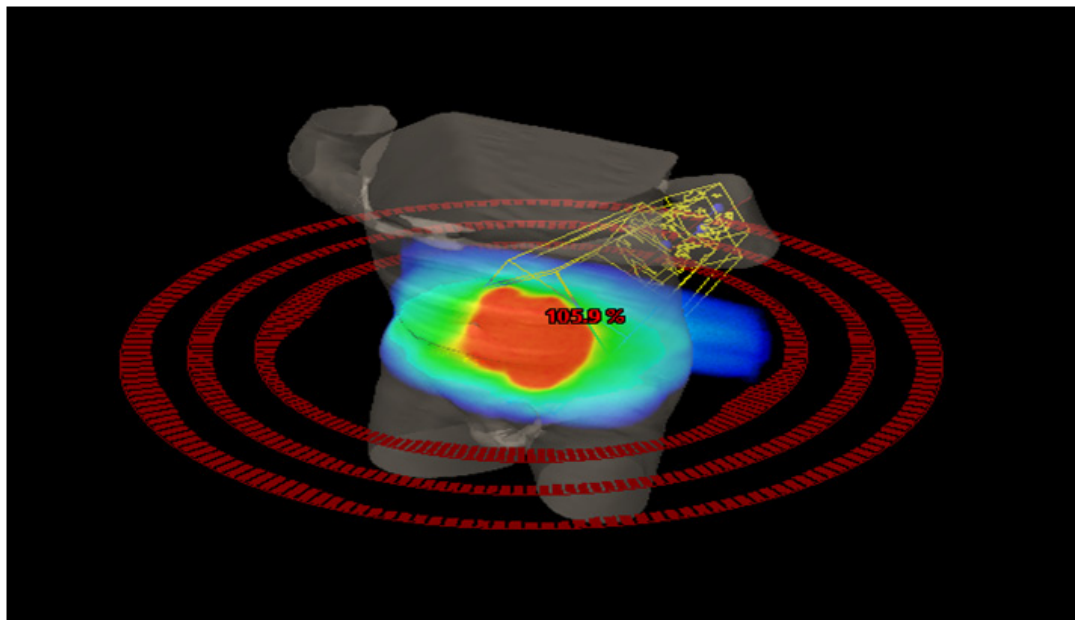
Rycina 6. Przykładowy rozkład dawki na przekroju poprzecznym dla techniki IMRT dla nowotworu odbytnicy.
Źródło: materiał własny.

Kolejną techniką wykorzystywaną w radioterapii nowotworu odbytnicy jest technika VMAT. Konformalność rozkładu dawki osiągana jest nie tylko dzięki ruchowi kolimatora wielolistkowego, ale również dzięki ciągłemu obrotowi głowicy aparatu terapeutycznego. Dzięki technice VMAT możemy uzyskać lepsze pokrycie PTV dawką zadaną oraz minimalizację dawki w narządach krytycznych takich jak jelito cienkie. Na rycinie 7 przedstawiono przykładowy rozkład dawki w technice VMAT dla nowotworu odbytnicy. Technika VMAT, poprawia skuteczności leczenia i redukuje liczbę jednostek monitorowych MU, w stosunku do techniki IMRT, a co za tym idzie skraca czas leczenia [7]. Poniżej przedstawiono technikę VMAT dla radioterapii nowotworu odbytnicy. W przypadku osób otyłych w procesie przygotowania pacjenta do radioterapii wykorzystuje się ułożenia pacjenta na brzuchu. Pozycja ta umożliwi minimalizację dawki w jelicie cienkim [19].



Rycina 7. Przykładowy rozkład dawki na przekroju poprzecznym dla techniki VMAT dla nowotworu odbytnicy.
Źródło: materiał własny.

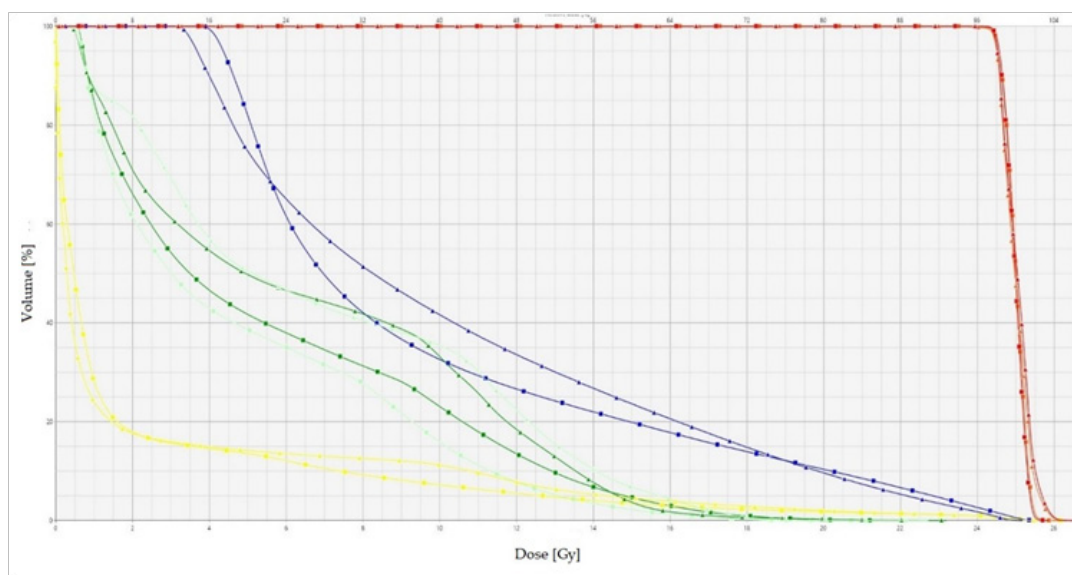
Do wykonania planów techniką VMAT w radioterapii nowotworu odbytnicy wykorzystano dwa pełne łuki z przeciwną rotacją (179° - 181° oraz 181° - 179°). Gdy objętość guza jest bardzo duża, możliwe jest zastosowanie trzech pełnych łuków, które umożliwiają zwiększenie pokrycia PTV dawką zadaną, tak aby 95% objętości otrzymało co najmniej 95% dawki zadanej. W przypadku wykorzystania podstawki umożliwiającej utrzymanie powtarzalnej pozycji pacjenta na brzuchu można zastosować wycięte łuki (120° - 240° oraz 240° - 120°), co pozwala na redukcję dawki w jelitach. Wykorzystano wiązkę o energii 6 MeV. Przykładowe ustawienie wiązek w technice VMAT dla radioterapii nowotworów odbytnicy, przedstawiono na rycinie 8.



Rycina 8. Przykładowa wizualizacja układu trzech łuków w technice VMAT dla nowotworu odbytncy.

Źródło: materiał własny.

Na rycinie 9 przedstawiono przykładowy histogram porównawczy dawka-objętość DVH (ang, dose- volume histogram) dla techniki VMAT oraz IMRT, gdzie kwadratami oznaczono plan leczenia wykonany techniką obrotową z modulacją intensywności dawki VMAT, a trójkątami technikę z modulowaną intensywnością dawki IMRT. Objętość leczoną PTV i narządy krytyczne zostały oznaczono następująco: PTV (kolor czerwony), jelita kolor (kolor żółty), główki kości udowej (kolor zielony) oraz pęcherz (kolor niebieski). Rozkłady dawek dla objętości PTV są porównywalne, jednak można zauważyć różnice w dawkach otrzymanych przez narządy krytyczne. Dla omawianego przypadku, dawki dla narządów krytycznych są wyższe dla planów w technice IMRT w obszarze niskich oraz średnich dawek. W obszarze wysokich dawek (od około 16-18Gy) można dostrzec zrównanie się wartości otrzymywanych dawek w narządach krytycznych.



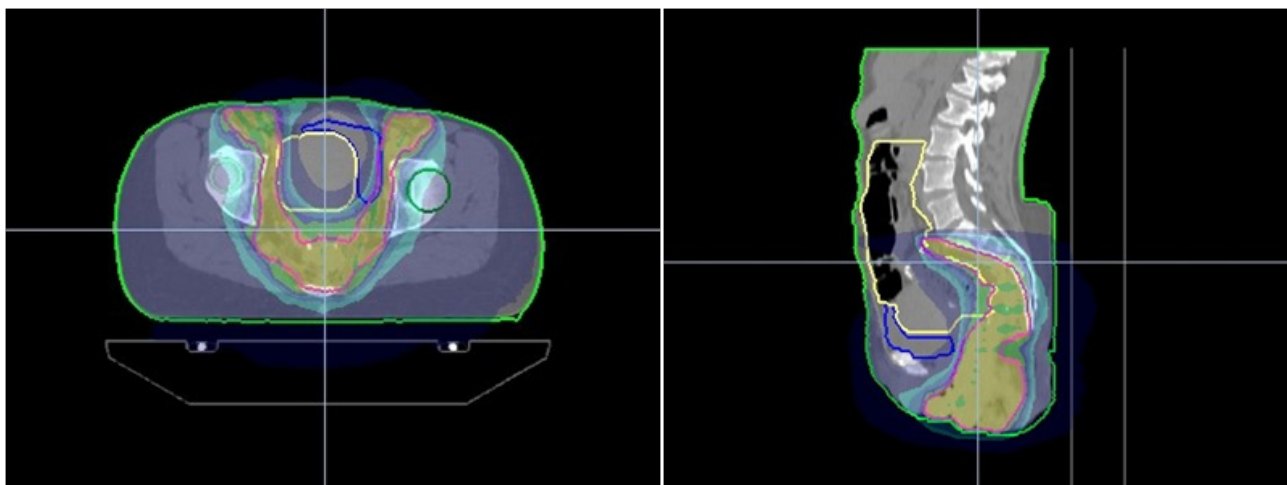
Rycina 9. Przykładowy histogram porównawczy DVH techniki VMAT (kwadraty) oraz IMRT (trójkąty) dla nowotworu odbytncy. Objętość leczoną PTV i narządy krytyczne zostały oznaczono następująco: PTV (kolor czerwony), jelita kolor (kolor żółty), główki kości udowej (kolor zielony) oraz pęcherz (kolor niebieski).

Źródło: materiał własny.

• Technika helikalna

W przypadku terapii przedoperacyjnej nowotworu odbytnicy jedną z metod stosowanych w radioterapii jest terapia helikalna. Realizację tej metody dokonuje się przy pomocy aparatu tomoterapeutycznego zwanego Tomoterapią. Aparat ten wykorzystuje promieniowanie fotonowe o energii 6 MeV dostarczając wiązkę wachlarzykową obracającą się wokół pacjenta. Jest on wyposażony w obrazowanie megawoltowe MVCT (ang. megavoltage computed tomography). Umożliwia to codzienną dokładną weryfikację ułożenia pacjenta oraz dostarcza informacje o lokalizacji struktur kostnych i tkanek miękkich [23]. Tomoterapia daje szansę na zmniejszenie powikłań w tkankach zdrowych związanych z radioterapią [24]. Dzięki codziennemu obrazowaniu megawoltową tomografią komputerową oraz technice helikalnej IMRT możliwe jest zmniejszenie marginesu do klinicznej objętości CTV w porównaniu do marginesu stosowanego w klasycznej technice dynamicznej VMAT czy IMRT [25]. Skutkiem tego może być dostarczenie mniejszej dawki promieniowania do narządów krytycznych [24,28]. Istnieje wiele publikacji dowodzących o zależności między dawką a napromienianą objętością jelita cienkiego i późniejszą jego toksycznością [21,27,28]. Obszar napromieniania, a dokładnie objętość jelita cienkiego, która zostanie napromieniona można zmniejszyć tworząc konformalny rozkład dawki [26]. Przykładowy rozkład dawki jest przedstawiony na rycinie 10.

Terapia helikalna umożliwia radioterapię z modulacją intensywności IMRT, co pozwala na obniżenie dawki średniej na narządy sąsiadujące oraz pozwala na ograniczenie objętości wysokich dawek poza obszarem PTV, co jest szczególnie ważne u młodych pacjentów [27].



Rycina 10. Rozkład dawki na przekroju poprzecznym i strzałkowym w planie leczenia w technice helikalnej dla nowotworu odbytnicy.

Źródło: materiały własne.

Podsumowanie

Przedoperacyjne napromienianie nowotworu odbytnicy w późniejszym czasie od zakończenia procesu radioterapii może wiązać się z negatywnymi skutkami ubocznymi dla tkanek zdrowych, a przede wszystkim dla jelita cienkiego. Rozwój technologii terapeutycznych pozwala na coraz to lepsze oszczędzanie narządów krytycznych.

Pierwotnie w radioterapii nowotworu odbytnicy stosowano technikę 2D opierającą się na zdjęciach rentgenowskich. Plan leczenia składał się z dwóch pól (AP/PA) lub czterech pól (AP/PA oraz dwóch pól bocznych), a w celu ochrony tkanek zdrowych wykorzystywano ołowiane osłony wykonywane indywidualnie dla każdego pacjenta. Dopiero wdrożenie techniki 3D umożliwiło trójwymiarowe obliczenia rozkładu dawki oraz wizualizację struktur guza oraz tkanek go otaczających. Dzięki kolimatorom wielolistkowym MLC,

które są elementem akceleratora liniowego mamy możliwość kształtowania wiązki poprzez dopasowanie pola do kształtu objętości leczzonej, a jednocześnie oszczędzając inne narządy. Postęp technologii, przejście z technik statycznych 2D i 3D do technik dynamicznych VMAT oraz IMRT pozwoliło na uzyskanie lepszej jednorodności rozkładu dawki, a także na ograniczenie objętości wysokich dawek poza obszarem PTV i oszczędzenie narządów krytycznych. W przypadku nowotworów odbytnicy narządy krytyczne to: jelita, pęcherz i główki kości udowej prawej i lewej. Oprócz radioterapii realizowanej na klasycznych akceleratorach liniowych stosowana jest terapia helikalna na aparacie tomoterapeutycznym. Dzięki niej tak samo jak w przypadku technik dynamicznych otrzymujemy odpowiednie pokrycie PTV dawką zadaną, a także mamy możliwość lepszego doświetlenia obszaru ciała związanego z naciekiem guza od strony skóry. W technikach dynamicznych wykorzystywane są podstawki umożliwiające ułożenie pacjenta w trakcie terapii na brzuchu, co w przypadku osób otyłych pozwala na minimalizację dawki w jelicie cienkim.

Radioterapia nowotworu odbytnicy pozwala osiągnąć oczekiwane efekty leczenia [28]. Wiąże się to z ograniczeniem późnych działań niepożądanych jakimi są m.in niedrożność jelita cienkiego. Rozwój i ciągłe udoskonalenie technik napromieniania mogą zmniejszyć ryzyko działań niepożądanych, co może poprawić komfort życia pacjenta.

Referencje:

- [1] World Cancer Research Fund International, <https://www.wcrf.org/cancer-trends/colorectal-cancer-statistics/>, dostęp 09.12.2022r.
- [2] Bujko K, Potemski P, Rutkowski A, et al. Rectal cancer (C20). *Oncol Clin Pract* 2020; 16.
- [3] Kordek R. *Onkologia. Podręcznik dla studentów i lekarzy*. Wyd. trzecie, poprawione, Via Medica: Gdańsk 2007,
- [4] Jassem J, Krzakowski M, et al. *Nowotwory układu pokarmowego. Praktyczny przewodnik dla lekarzy*. Wyd I, Gdańsk 2014
- [5] [5] International Commission on Radiation Units & Measurements. *Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy*. ICRU report 50. Bethesda: ICRU, 1993.
- [6] Bentzen S.M, Constine L.S, Deasy J.O, et al. Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC): An Introduction to the Scientific Issues. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010;76:3–9.
- [7] Malicki J., Ślosarek K. *Planowanie leczenia i dozymetria w radioterapii*. Gdańsk: VIA MEDICA, 2016
- [8] Gunderson LL, Russell AH, Llewellyn HJ, et al. Treatment planning for colorectal cancer: radiation and surgical techniques and value of small-bowel films. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1985;11:1379–93.
- [9] Stevens KR, Fletcher WS, Allen CV, et al. A review of the value of radiation therapy for adenocarcinoma of the rectum and sigmoid. *Front Gastrointest Res*. 1979;5:93-101.
- [10] Rafla S, Turner S, Meleka F, Ghossein N. et al. The role of radiotherapy in the definitive management of rectal carcinoma. *AJR Am J Roentgenol*. 1976;127(5):841-5.
- [11] Carlos A. Perez, Luther W. Brady *Principles and Practice of Radiation Oncology*, Third Edition, Philadelphia: Lippincott Williams&Wilkins, 1997.
- [12] Bucci, M.K. Bevan, A. and Roach, M., *Advances in Radiation Therapy: Conventional to 3D, to IMRT, to 4D, and Beyond*. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 2005; 55: 117-134.
- [13] Martenson JA, Schild SE, Haddock MG. *Cancers of the gastrointestinal tract*. In Khan FM, Potish RA, eds: *Treatment Planning in Radiation Oncology*. Baltimore, Williams&Wilkins. 2007
- [14] Deae-eddine K., Rrhious A., Zerfaoui M., et al. Dosimetric comparison of three-field and four-field 3D conformal radiation therapy ballistics for rectal cancer treatment. *Materials Today: Proceedings*. 2021
- [15] International Atomic Energy Agency. *Transition from 2-D Radiotherapy to 3-D Conformal and Intensity Modulated Radiotherapy*. IAEA-TECDOC-1588. Vienna 2008.
- [16] Gambacorta MA, Pasini D, Minsky BD et al. Is two-dimensional field definition sufficient for pelvic node coverage in rectal cancer compared to technical three-dimensional definition? *Tumori*. 2013;99(2):191-8.
- [17] Wright A, Boyer A. *Advances in Radiation Therapy Treatment Planning*. New York, American Institute of Physics, 1983

- [18] Składowski K, Grządziel A, Hutnik M et al. Kliniczne zasady planowania.. Onkologia w Praktyce Klinicznej 2007, págs. 241-248.
- [19] Czito, B. G., & Meyer, J. Radiation Therapy in Anal and Rectal Cancer. Surgical Oncology Clinics of North America 2013, 22(3), 525–543.
- [20] Mok H, Crane CH, Palmer MB et. al. Intensity modulated radiation therapy (IMRT): differences in target volumes and improvement in clinically relevant doses to small bowel in rectal carcinoma. Radiation Oncology 2011, 6(1), 63.
- [21] De Ridder, M, Tournel, K, Van Nieuwenhove Y et al. Phase II Study of Preoperative Helical Tomotherapy for Rectal Cancer. International Journal of Radiation Oncology Biology Physics 2008, 70(3), 728–734.
- [22] Shang J, Kong W, Wang Y et.al. VMAT planning study in rectal cancer patients. Radiation Oncology 2014, 9(1).
- [23] Yu M, Lee J, Jang H et. al. A comparison of dosimetric parameters between tomotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy in rectal cancer. Radiation Oncology 2013, 8(1), 181.
- [24] Mina Yu, Hong Seok Jang, Dong Min Jeon et.al. Dosimetric evaluation of Tomotherapy and four-box field conformal radiotherapy in locally advanced rectal cancer Radiation Oncology Journal 2013; 31(4): 252-259.
- [25] Maggiulli E, Fiorino C, Passoni P et.al. Characterisation of rectal motion during neo-adjuvant radiochemotherapy for rectal cancer with image-guided tomotherapy: Implications for adaptive dose escalation strategies. Acta Oncologica 2012 51(3), 318–324.
- [26] Engels B, De Ridder, M, Tournel K et.al. Preoperative Helical Tomotherapy and Megavoltage Computed Tomography for Rectal Cancer: Impact on the Irradiated Volume of Small Bowel. International Journal of Radiation Oncology Biology Physics 2009, 74(5), 1476–1480.
- [27] Gleeson I, Rose Ch, Spurrell J. Dosimetric comparison of helical tomotherapy and VMAT for anal cancer: A single institutional experience Medical Dosimetry 44 (2019) e32–e38
- [28] Sermeus A, Leonard W, Engels B, et al. Advances in radiotherapy and targeted therapies for rectal cancer. World J Gastroenterol. 2014 Jan 7;20(1):1-5