

Technika napromieniania

Opis napromieniania techniką obrotową z zastosowaniem dynamicznego kolimatora wielolistkowego

Krzysztof Śłosarek¹, Bogusław Maciejewski², Aleksander Zajusz³, Krzysztof Składowski⁴

W pracy przedstawiono technikę obrotowej radioterapii ze zmieniającymi położenie listkami kolimatora. Zmiana wymiarów lub kształtu pola napromieniania w czasie seansu terapeutycznego nazywana jest w literaturze modulacją intensywności wiązki. Technika ta (konformalna, obrotowa z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym) umożliwia dopasowanie kształtu pola napromieniania do formy przestrzennej obszaru do napromieniania. Na podstawie planów napromieniania dwóch przypadków klinicznych (raka zatoki szczękowej i przełyku) porównano rozkłady dawek dla klasycznych i konformalnych technik napromieniania. Ocenie poddano również czas potrzebny na przygotowanie planu leczenia.

Zastosowanie konformalnej radioterapii pozwala na zmniejszenie dawki promieniowania w zdrowych tkankach, które otaczają tkanki nowotworowe. To daje możliwość zwiększenia dawki w obszarze guza nowotworowego, a tym samym zwiększenia prawdopodobieństwa miejscowego wyleczenia bez zwiększenia ryzyka powikłań popromiennych. Czas potrzebny na przygotowanie planu leczenia w radioterapii konformalnej jest dłuższy od czasu wymaganego w klasycznej radioterapii. Wydłużenie czasu jest związane ze zwiększeniem precyzji w przygotowaniu planu leczenia.

Description of arc therapy technique with dynamic multileaf collimator

The paper presents the arc therapy technique with dynamic multileaf collimator (Arc-DMLC). Dimensions and/or shape changes of the treatment fields during irradiation are called intensive modulated radiotherapy. This technique enables to shape irradiation fields depending on a three-dimensional target volume. Two different clinical cases (cancer of the sphenoid sinus and of the esophagus) were used to compare dose distributions achieved in conventional irradiation technique and in arc technique with dynamic MLC. The time required to prepare plans for those two different techniques was also compared. The introduction of conformal radiotherapy makes it possible to diminish the radiation dose in normal tissues surrounding the tumor. This, consequently, allows to increase the total dose delivered to the tumour. Thus we can achieve increase in local control and a decrease in normal-tissue side effects. The time required to prepare the conformal arc therapy plan is longer than in conventional radiotherapy; this is the consequence of a significantly greater precision of such plan.

Słowa kluczowe: radioterapia konformalna, dynamiczny kolimator wielolistkowy, modulacja intensywności wiązki

Key words: conformal radiotherapy, dynamic multileaf collimator, intensive modulated radiotherapy

Wstęp

Kształt pola napromieniania, możliwy do uzyskania w radioterapii, jest określony przez warunki techniczne aparatu terapeutycznego. Do niedawna, liniowe przyspieszacze elektronów, aparaty kobaltowe mogły wytwarzać tylko pola o kształtach prostokątnych lub kołowych. Guz nowotworowy znajduje się bardzo często w sąsiedztwie narządów

krytycznych, których napromieniowanie może spowodować zaburzenia w ich funkcjonowaniu, powodując tym samym spadek komfortu życia. W celu ochrony narządów krytycznych, które znajdują się w polu napromieniania stosuje się osłony indywidualne. Przygotowanie, weryfikacja oraz zamocowanie osłon – są czynnościami, które znacznie wydłużają czas przygotowania chorego do napromieniania.

Na początku lat dziewięćdziesiątych standardowym wyposażeniem nowoczesnych liniowych przyspieszaczy elektronów stały się kolimatory wielolistkowe (MLC – Multileaf Collimator). Zasada działania kolimatora wielolistkowego jest następująca: dwa z czterech istniejących, naprzeciwległych kolimatorów zostały podzielone na 40 elementów (listków), które poruszają się niezależnie. Takie rozwiązanie zastosowano w akceleratorach serii Clinac

¹ Zakład Fizyki Medycznej i Planowania Leczenia

² Zakład Radioterapii

³ II Klinika Radioterapii

⁴ I Klinika Radioterapii

Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Gliwicach

firmy Varian. Dzięki zastosowaniu takiej mechaniki, można uzyskać kształt pola napromieniania dostosowany do rzutu w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki, planowanego obszaru do napromieniania (Planning Target Volume – PTV- Ryc. 1). Zaletą zastosowania kolimatora wielolistkowego w praktyce klinicznej jest skrócenie czasu przygotowania chorego do napromieniania bez zmniejszenia dokładności (planowania i leczenia) w stosunku do radioterapii z zastosowaniem osłon indywidualnych (Tab. I).

W radioterapii, stosowaną od wielu lat w wybranych przypadkach klinicznych, techniką napromieniania jest technika obrotowa (obrót źródła promieniowania wokół pacjenta). Zaletą tej techniki napromieniania jest koncentracja dawki w planowanym obszarze, a wadą brak możliwości osłonięcia narządów krytycznych. Odległość pomiędzy PTV a narządami krytycznymi zależy od położenia źródła promieniowania. Zastosowanie osłon indywidualnych nie jest możliwe, ponieważ ich położenie jest niezależne od kąta ustawienia źródła promieniowania. Osłony indywidualne, które spełniają swoje zadanie (ochrona narządów krytycznych) pod kątem α , są bezużyteczne pod kątem β mogą zasłaniać PTV, zmniejszając tym samym prawdopodobieństwo sterylizacji komórek nowotworowych.

W Centrum Onkologii w Gliwicach, w komputerowym systemie planowania leczenia CadPlan – firmy Varian, w marcu 1999 roku została zainstalowana opcja dynamicznego kolimatora wielolistkowego (Dynamic Multi-leaf Collimator – DMLC), która umożliwia zmianę położenia każdego z osiemdziesięciu elementów kolimatora w czasie obrotu źródła promieniowania wokół pa-

cjenta [1]. Kształt pola napromieniania zmienia się w czasie jednego seansu terapeutycznego. W literaturze taka technika określana jest jako modulacja intensywności dawki [2]. Szczególnym przypadkiem modulacji intensywności dawki promieniowania jest opisywana technika.

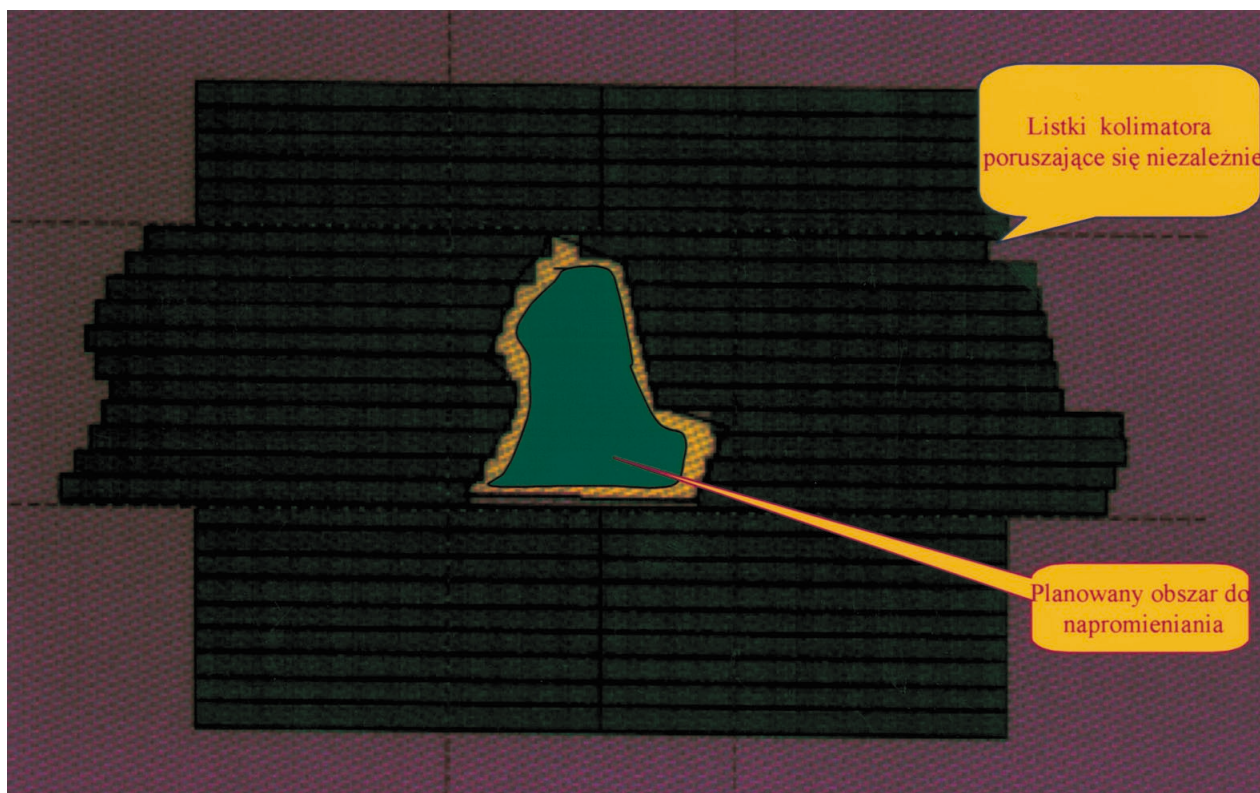
We współczesnej radioterapii coraz częściej stosowanymi technikami napromieniania są techniki konformalne. Polegają one na dostosowaniu dawki terapeutycznej do formy przestrzennej planowanego obszaru do napromieniania. Efektem zastosowania technik konformalnych jest zmniejszenie obszaru objętego dawką terapeutyczną.

Program komputerowy CadPlan, który służy do obliczania rozkładu dawki (Treatment Planning System – TPS) jest wyposażony w opcję obliczania histogramu, przedstawiającego zależność napromienianej objętości od wartości dawki. Umożliwia ona porównanie kilku wybranych rozkładów dawek dla określonych struktur anatomicznych. Jest to w radioterapii nowa metoda porównywania różnych sposobów napromieniania.

Celem pracy jest prezentacja możliwości techniki obrotowej z zastosowaniem dynamicznego kolimatora wielolistkowego oraz optymalizacja procesu planowania leczenia w radioterapii konformalnej, na przykładzie planowania rozkładu dawki dla dwóch lokalizacji nowotworu.

Metoda

Zmiana natężenia promieniowania w czasie seansu terapeutycznego jest w literaturze określana jako modulacja intensywności dawki (wiązki promieniowania – Intensity Modulated Radio-



Ryc. 1. Kształt pola napromieniania z zastosowaniem kolimatora wielolistkowego w liniowym przyspieszacz elektronów Clinac 2300 CD – firmy Varian, który jest dostosowany do kształtu planowanego obszaru do napromieniania (PTV)

therapy – IMR). We współczesnych aparatach terapeutycznych natężenie promieniowania można zmieniać jedynie wskutek mechanicznej modyfikacji pola napromieniania, tzn. zmieniając wymiar lub kształt pola napromieniania. Zmiana pola napromieniania w czasie seansu terapeutycznego umożliwia dopasowanie rozkładu dawki terapeutycznej do objętości tkanek nowotworowych (radioterapia konformalna).

W radioterapii konformalnej, przygotowanie chorego do napromieniania wymaga spełnienia dodatkowych warunków w stosunku do radioterapii klasycznej. Ze względu na dopasowanie rozkładu dawki terapeutycznej do objętości tkanek nowotworowych, możliwe jest zmniejszenie pola napromieniania. Dlatego planowany obszar do napromieniania (PTV) musi być jednoznacznie zdefiniowany, zarówno jego wymiary, jak i położenie względem narządów krytycznych [3]. Definiując PTV, należy również uwzględnić ruchomość narządów, np. ruchy klatki piersiowej związane z oddychaniem pacjenta, w czasie seansu napromieniania. Nieuwzględnienie zmiany położenia narządów wskutek ruchów czynnościowych może doprowadzić do sytuacji, że część PTV będzie poza polem napromieniania (zmniejszenie prawdopodobieństwa sterylizacji komórek nowotworowych) lub część narządu krytycznego znajdzie się w polu napromieniania (zwiększenie prawdopodobieństwa powikłań popromiennych).

Współczesne metody diagnostyczne: tomografia komputerowa oraz magnetyczny rezonans jądrowy umożliwiają dokładne określenie formy przestrzennej klinicznego obszaru do napromieniania oraz jego położenia względem narządów krytycznych. Badanie tomografią komputerową, na podstawie której opracowywany jest plan leczenia, musi być wykonane w tych samych warunkach ułożenia pacjenta co seans terapeutyczny, aby położenie wszystkich narządów względem źródła promieniowania było niezmiennione. Dokładność rekonstrukcji struktur anatomicznych, po wprowadzeniu ich do komputerowego systemu planowania leczenia (TPS – Treatment Planning System), ma istotne znaczenie w zdefiniowaniu PTV. Obrazy diagnostyczne, na bazie których następuje rekonstrukcja narządów, muszą być wprowadzone do

systemu planowania w formie cyfrowej, ponieważ ten sposób jest dokładniejszy od rekonstrukcji na bazie obrazów analogowych (zdjęć rentgenowskich). Rozwiązaniem optymalnym jest połączenie TPS z tomografem komputerowym [4]. Położenie jak i wielkość PTV powinny być potwierdzone przez badanie rezonansem magnetycznym.

Po wprowadzeniu obrysów narządów i wykonaniu trójwymiarowej rekonstrukcji struktur anatomicznych, w celu obliczenia rozkładu dawki promieniowania w technice obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym, w komputerowym systemie planowania leczenia CadPlan – Varian należy zdefiniować:

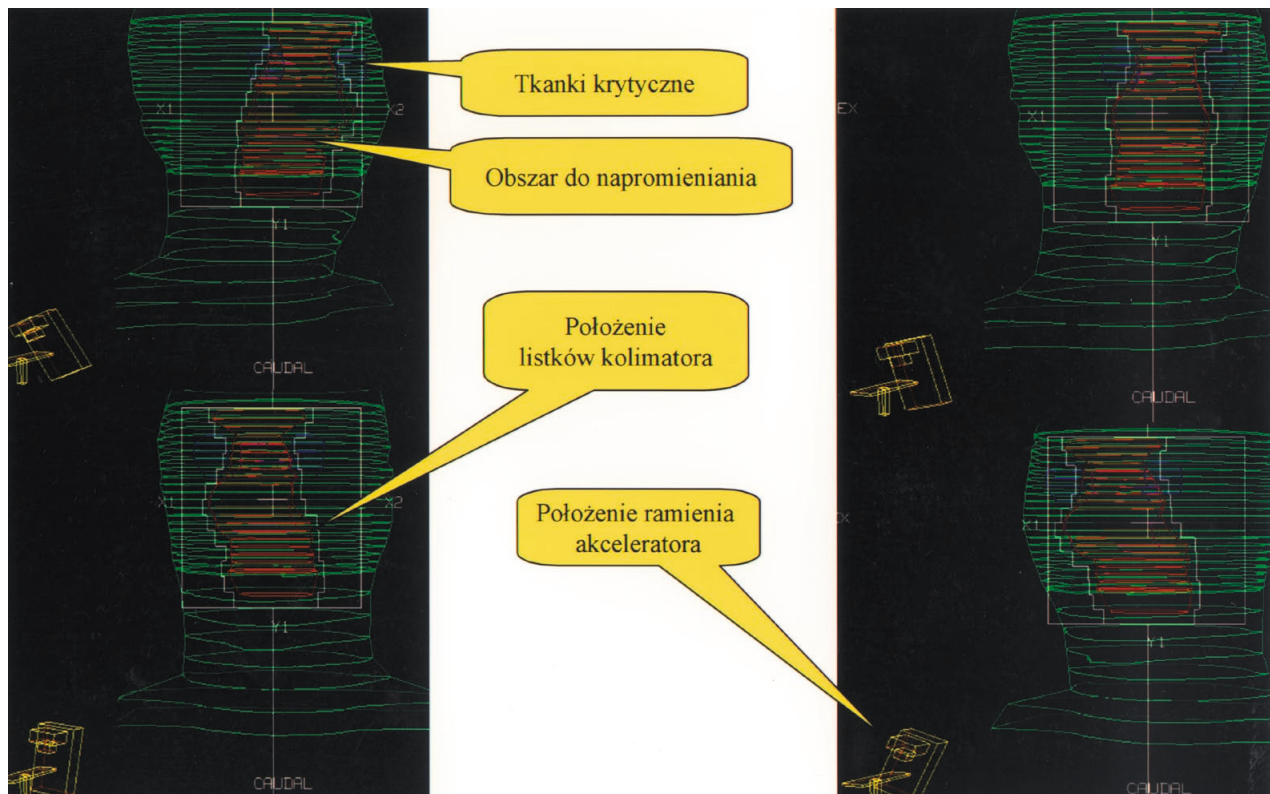
- kąt obrotu ramienia akceleratora,
- liczbę segmentów, na które zostanie podzielony kąt obrotu ramienia w celu wyliczenia rozkładu dawki,
- margines wokół PTV – szerokość marginesu może być różna w zależności od kierunku, np. wzdłuż osi prostopadłej do kręgosłupa lub równoległej do niego; możliwość ta ma szczególne znaczenie w przypadku narządów wewnętrznych, które w czasie napromieniania mogą zmieniać swoje wymiary lub położenie [3, 4].

Program działa według następującego algorytmu:

- dla każdego położenia ramienia aparatu terapeutycznego, co odpowiada wybranemu segmentowi, dopasowuje kształt pola napromieniania (Ryc. 2). Stosując opcję „Beam's Eye View” – widok obszaru do napromieniania z pozycji źródła promieniowania [5], można sprawdzić, czy kształt pola został optymalnie dopasowany do projekcji PTV w płaszczyźnie prostopadłej do osi wiązki;
- oblicza rozkład dawki dla każdego segmentu i wszystkich przekrojów, tworząc rozkład przestrzenny dawki (3D).

Kolejne procedury są takie same jak w planowaniu klasycznym tzn.:

- normalizacja,
- wybór dawki całkowitej i liczby frakcji dla określonej wartości izodozy.



Ryc. 2. Kształt pola napromieniania w funkcji położenia ramienia akceleratora

Przykłady

Porównanie rozkładów dawek

Przykład 1: Zatoka szczękowa, jama nosowa, podniebienie

Wybrano ten przypadek kliniczny, ze względu na położenie planowanego obszaru do napromieniania (targetu, PTV) w stosunku do zdrowych tkanek krytycznych. W obszarze narządów głowy i szyi często wymagane jest zastosowanie technik radioterapii konformalnej ze względu na obecność wielu struktur promieniowrażliwych. Ewolucja sposobu napromieniania jest związana z możliwościami aparatów terapeutycznych. Jedną z najczęściej stosowanych technik jest równoczesne napromienianie z trzech pól (technika trójpolowa). Są to dwa pola naprzeciwległe, trzecie pole prostopadłe do nich. Sytuacja ta jest przedstawiona na Rycinie 3. Wiązki promieniowania mogą być modyfikowane przez wprowadzenie, pomiędzy źródło promieniowania a chorego, różnych mechanicznych akcesoriów z materiałów pochłaniających promieniowanie jonizujące, takich jak np. bloki, kompensatory, kliny – w celu osłonięcia narządów krytycznych poprzez zmianę rozkładu izodozy (Ryc. 3).

Nowe technologie umożliwiły zastosowanie w radioterapii techniki obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym. Połączenie możliwości aparatów terapeutycznych z możliwościami komputerowych systemów planowania leczenia pozwala na uwzględnienie położenia stołu terapeutycznego w obliczeniach rozkładu dawki. Rozkład dawki dla tej techniki napromieniania, wzdłuż płaszczyzny strzałkowej, z uwzględnieniem obrotu stołu

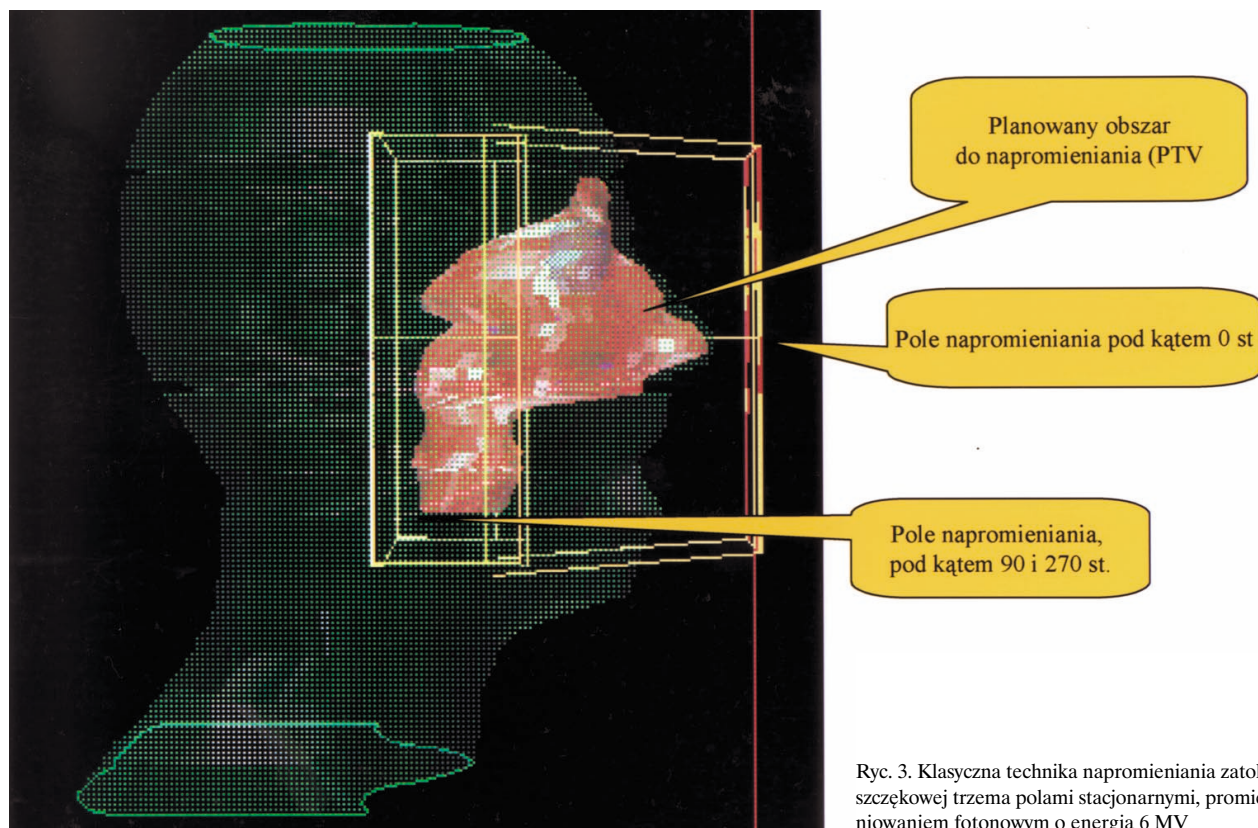
terapeutycznego o 90° , jest przedstawiony na Rycinie 4. Pomimo tego (obrót stołu o 90° , obrót ramienia akceleratora, ruch kolimatora wielolistkowego) rozkład dawki w PTV nie spełnia warunków związanych z jednorodnością rozkładu dawki w PTV (wg zaleceń międzynarodowych różnica pomiędzy dawką maksymalną a minimalną w PTV nie powinna być większa od 5%) (Ryc. 4).

Dlatego konieczne jest wprowadzenie również obrotu ramienia akceleratora w płaszczyźnie poprzecznej (brak obrotu stołu terapeutycznego, obrót ramienia akceleratora, ruch kolimatora wielolistkowego). Technika ta jest przedstawiona na Rycinie 5.

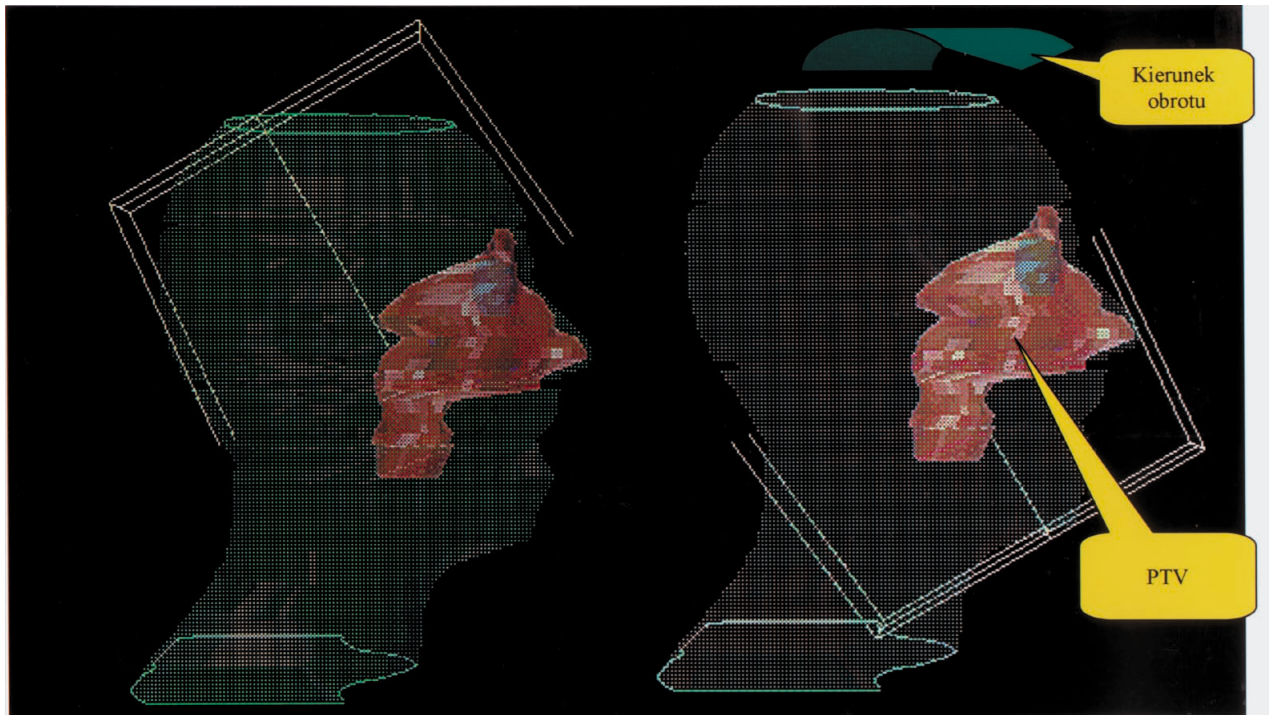
Obrót źródła promieniowania w płaszczyźnie strzałkowej i poprzecznej oraz ruch listków kolimatora wielolistkowego w czasie jednej frakcji, pozwala na ukształtowanie izodozy terapeutycznej (95% planowanej dawki frakcyjnej) w formę odpowiadającą kształtom PTV (Ryc. 6).

Przykład 2: Rak przełyku

Ten przypadek kliniczny został wybrany ze względu na częste stosowanie w przeszłości dla tej lokalizacji nowotworu techniki obrotowej. Aparatami terapeutycznymi były w tym czasie źródła kobaltowe. Rozkład dawki terapeutycznej w PTV był do zaakceptowania, jednak obciążenie narządów krytycznych było znaczne. Późniejsze zaniechanie tej techniki było związane z rozwojem aparatów terapeutycznych, przede wszystkim możliwością stosowania wyższych energii promieniowania. Współczesne aparaty terapeutyczne mogą wytwarzać wysokie energie oraz zmieniać położenie kolimatora w czasie seansu tera-



Ryc. 3. Klasyczna technika napromieniania zatoki szczękowej trzema polami stacjonarnymi, promieniowaniem fotonowym o energii 6 MV



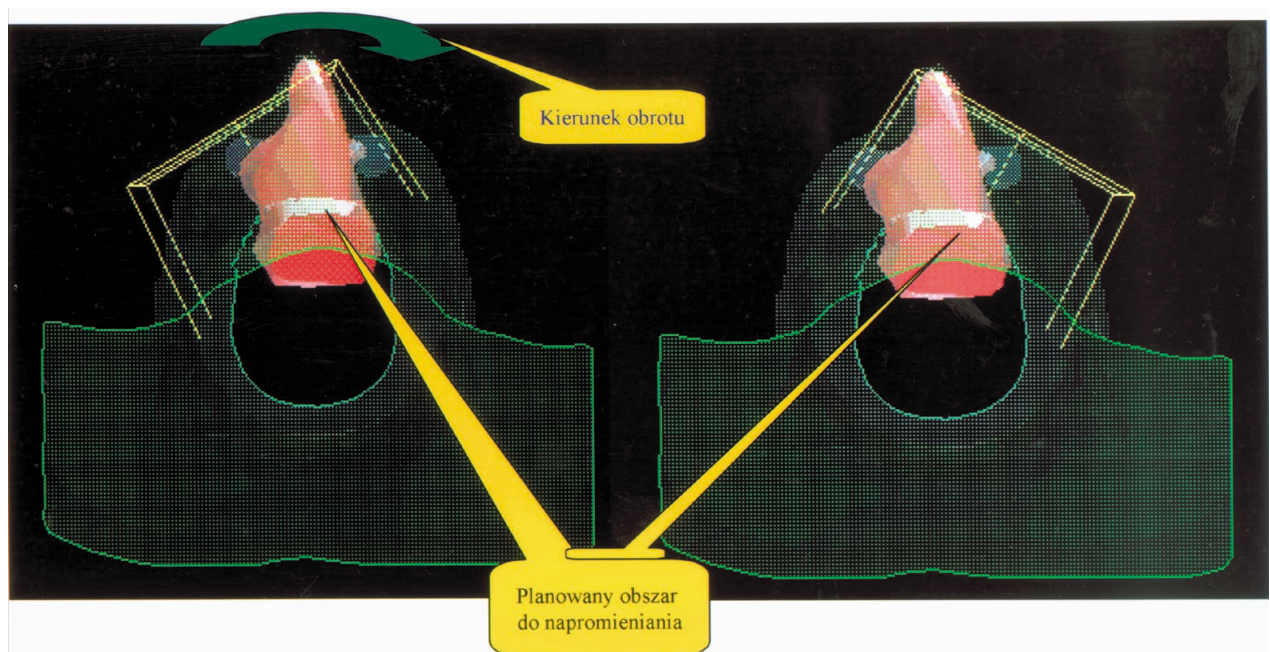
Ryc. 4. Terapia obrotowa wzdłuż płaszczyzny strzałkowej, z zastosowaniem dynamicznego kolimatora wielolistkowego, obrót stołu terapeutycznego o 90°

peutycznego. Zaproponowano napromienianie raka przełyku techniką obrotową, wiązkami wysokoenergetycznymi z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym. Porównano trzy techniki napromieniania:

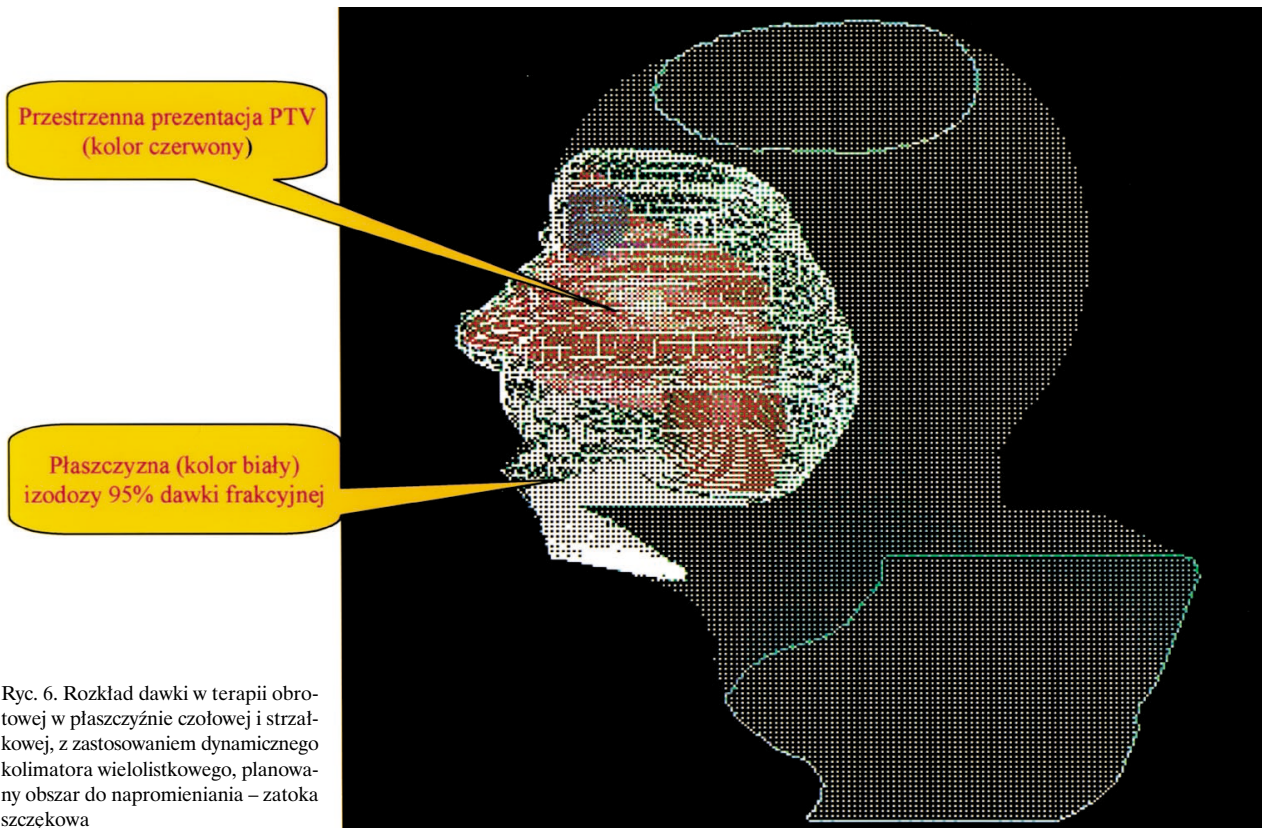
- trójpolową z zastosowaniem kolimatora wielolistkowego,
- obrotową klasyczną – bez kolimatora wielolistkowego,
- obrotową z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym.

Trójpolowa technika napromieniania, z zastosowaniem kolimatora wielolistkowego lub osłon indywidual-

nych, jest prosta w przygotowaniu planu leczenia i terapii (powtarzalność układania chorego na aparacie terapeutycznym). Istnieją jednak obszary w tkance płucnej, które otrzymują dawkę znacznie przekraczającą dawkę, która może wywołać powikłania. Jest to efekt niepożądany, jednak akceptowany ze względu na brak innych rozwiązań. Inne narządy krytyczne (np. rdzeń kręgowy) są ochronione w wystarczający sposób. Jeżeli aparat terapeutyczny nie jest wyposażony w opcję dynamicznego kolimatora wielolistkowego, wówczas ten sam rozkład dawki można

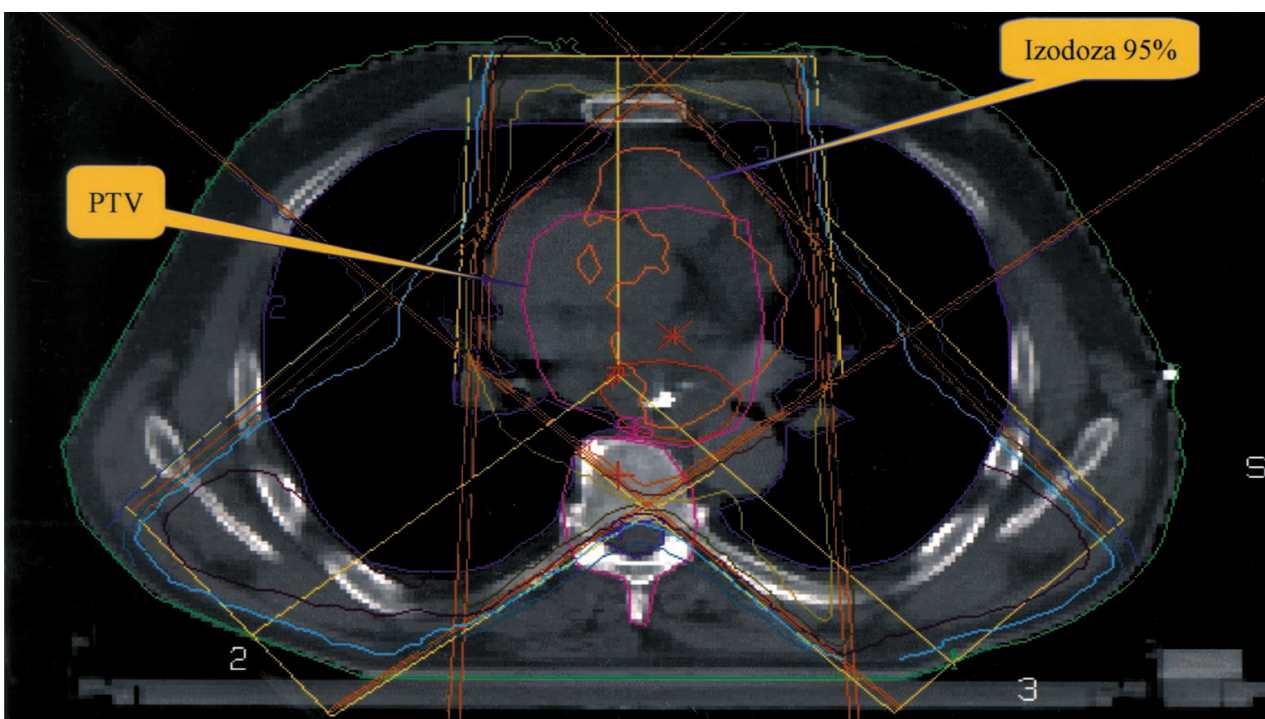


Ryc. 5. Terapia obrotowa w płaszczyźnie poprzecznej, z zastosowaniem dynamicznego kolimatora wielolistkowego, położenie stołu terapeutycznego 0°

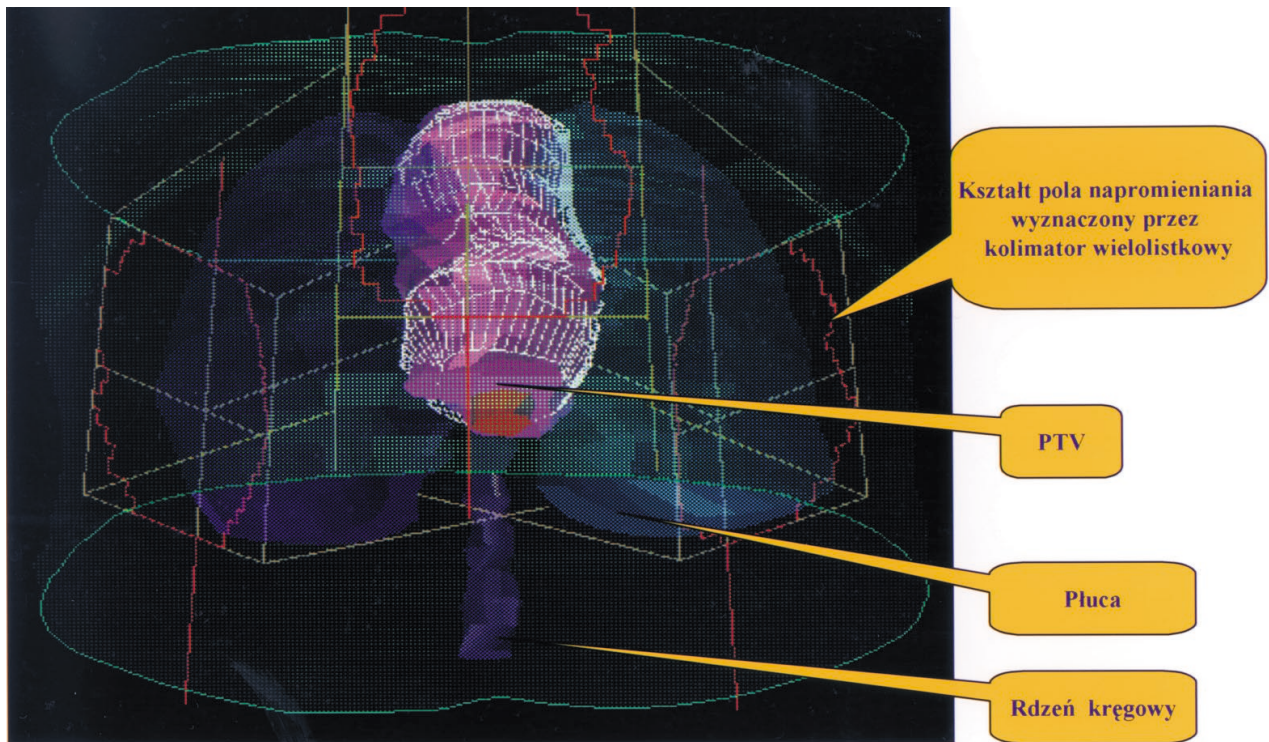


otrzymać stosując osłony indywidualne. Wydłuża się jednak czas przygotowania chorego do leczenia. Tę technikę napromieniania oraz rozkład dawki przedstawia Rycina 7 – prezentacja dwuwymiarowa, a Rycina 8 tę samą technikę napromieniania jako obraz trójwymiarowy.

Zmniejszenie maksymalnej dawki w tkance płucnej można osiągnąć stosując technikę obrotową (bez kolimatora wielolistkowego), która daje możliwość zwiększenia dawki w PTV, nie zwiększając dawki w rdzeniu kręgowym (tkance krytycznej).



Ryc. 7. Napromienianie raka przetyku, techniką trzech pól stacjonarnych z zastosowaniem kolimatora wielolistkowego; wysokoenergetyczne promieniowanie fotonowe. Rozkład dawki przedstawiony jest w postaci izodoz. Izodoza terapeutyczna 95% nie obejmuje całego PTV. Cyfry 1, 2 i 3 oznaczają pola napromieniania

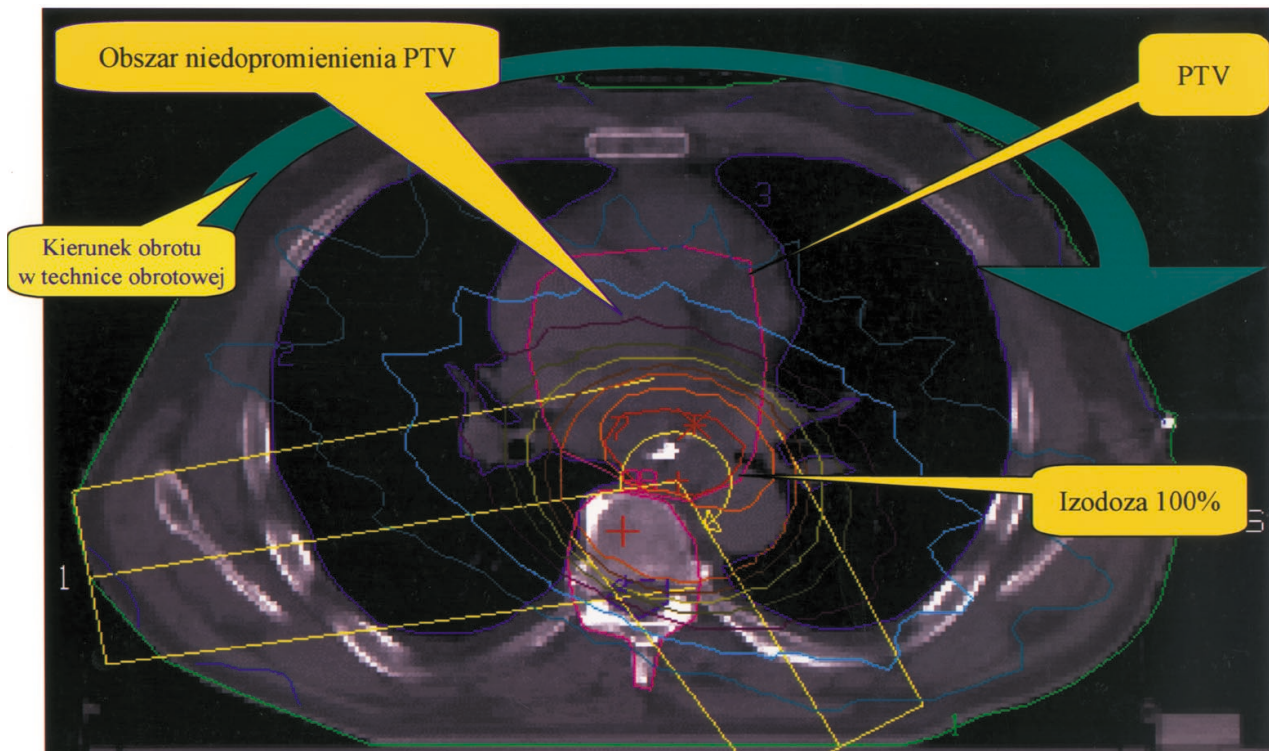


Ryc. 8. Przestrzenny rozkład izodozy 90%, która nie obejmuje w całości PTV. Prezentacja rozkładu dawki w technice 3D znacznie ułatwia ocenę wykonanego planu napromieniania

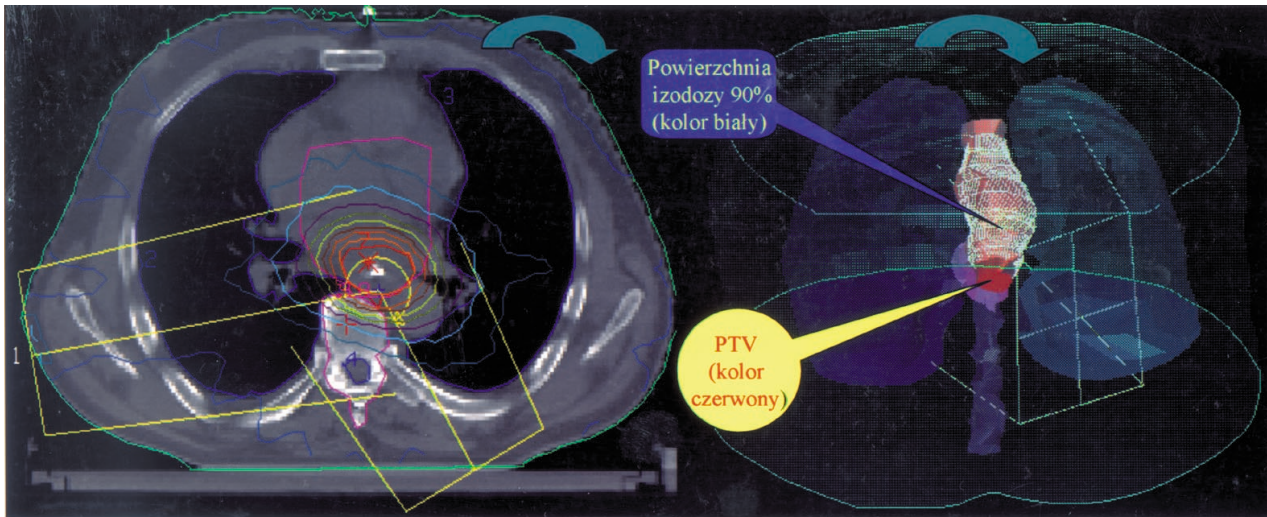
Kąty: początkowy (od którego rozpoczyna się ruch ramienia akceleratora) i końcowy oraz pole wiązki są tak wybrane, aby zmniejszyć dawkę maksymalną w tkance płucnej, zwiększając jednak objętość płuc, któ-

ra otrzymuje dawkę mniejszą. Rozkład dawki w płaszczyźnie poprzecznej prezentuje Rycina 9.

Dysponując odpowiednią aparaturą i oprogramowaniem można zastosować dynamiczny kolimator wielo-



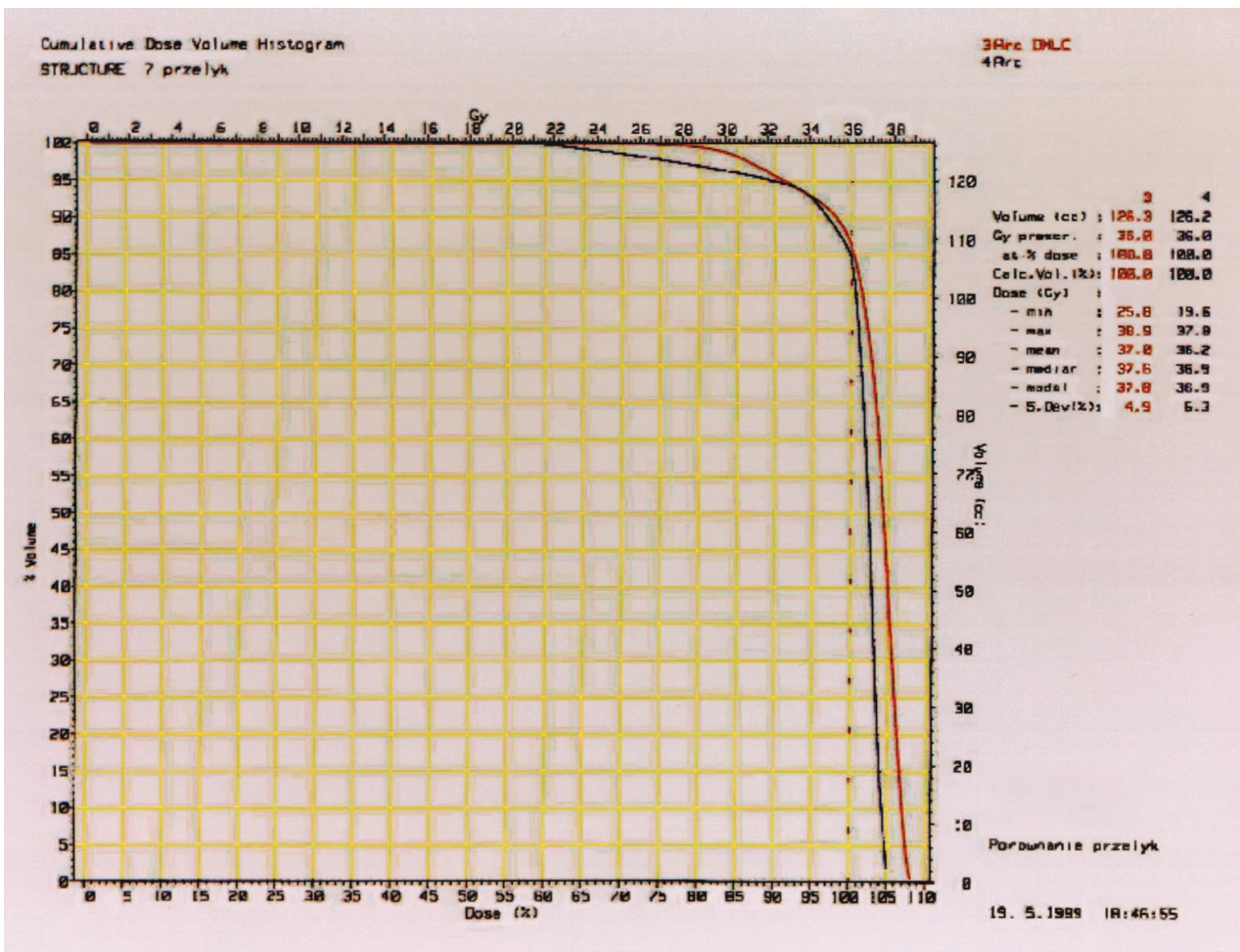
Ryc. 9. Rozkład dawki w tarczycy, radioterapia klasyczna, technika obrotowa bez kolimatora wielolistkowego. Dawka maksymalna w tkance płucnej jest mniejsza od 90%, jednak większa objętość płuc otrzymuje dawkę powyżej 20% planowanej dawki



Ryc. 10. Rozkład dawki w tarczycie (rak przelyku), radioterapia konformalna, obrotowa z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym. Rozkład przestrzenny dawki (rysunek z prawej strony) pozwala na zaprojektowanie formy przestrzennej izodozy 90% całkowitej obejmującej PTV

listkowy w technice obrotowej. Zachowując te same parametry wiązki promieniowania, tzn. początkowy i końcowy kąt obrotu ramienia akceleratora, wymiary pola pro-

mieniowania, położenie stołu terapeutycznego w czasie napromieniania, energię i rodzaj promieniowania co w technice obrotowej bez kolimatora wielolistkowego,



Ryc. 11a. Histogram skumulowany dla techniki obrotowej z (kolor czerwony) i bez dynamicznego kolimatora wielolistkowego (kolor czarny)

można otrzymać rozkład dawki, który swoim kształtem jest dopasowany do formy przestrzennej PTV. Sytuację tę przedstawiono na Rycinie 10.

Porównując Ryciny 9 i 10, które przedstawiają rozkład dawki frakcyjnej w technice obrotowej bez MLC (Ryc. 9) i z DMLC (Ryc.10), widać, że rozkład dawki w PTV jest porównywalny. Jednak objętość tkanki płucnej, która pochłania dawkę większą od 30% planowanej dawki, jest mniejsza w radioterapii obrotowej z zastosowaniem dynamicznego kolimatora wielolistkowego w stosunku do klasycznej techniki obrotowej. Oznacza to, że obciążenie płuc niekorzystnym działaniem promieniowania, jest mniejsze w przypadku stosowania techniki obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym.

W systemie planowania leczenia (CadPlan-Varian) istnieją opcje, które umożliwiają porównywanie rozkładów dawek. Jedną z tych możliwości jest histogram objętościowy, czyli przedstawienie na wykresie zależności objętości od dawki. Na Rycinach 11a 11b zostały przedstawione histogramy dawek w PTV dla radioterapii obrotowej bez i z MLC. Wykresy są wykonane jako histogramy skumulowane i różniczkowe. Te dwa sposoby prezentacji histogramów mogą wyjaśnić wątpliwości dotyczące interpretacji rozkładu dawki przestrzennej.

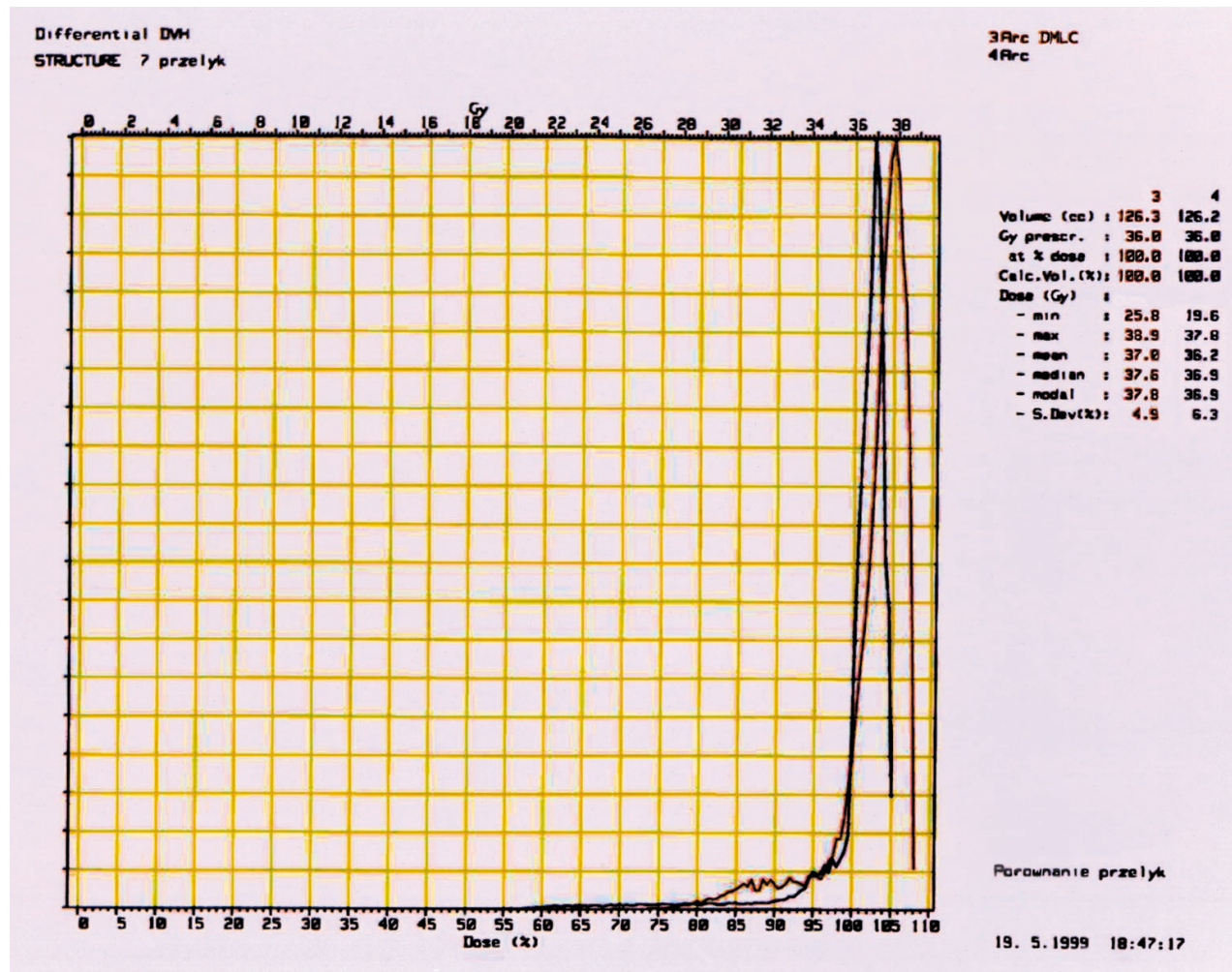
Z przedstawionych histogramów wynika, że rozkład dawki w PTV jest porównywalny i do zaakceptowania. Dlaczego więc stosować dynamiczny kolimator wielolistkowy? Rycina 12 przedstawia histogram dawki w rdzeniu kręgowym, a Rycina 13 w płucu prawym.

Z histogramów wynika, że średnia dawka w rdzeniu kręgowym wynosi 4 Gy w przypadku radioterapii obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym i 17 Gy bez kolimatora wielolistkowego. Dawka maksymalna odpowiednio 11 Gy (z DMLC) i 34 Gy (bez MLC). Podobna sytuacja występuje w obszarze płuc.

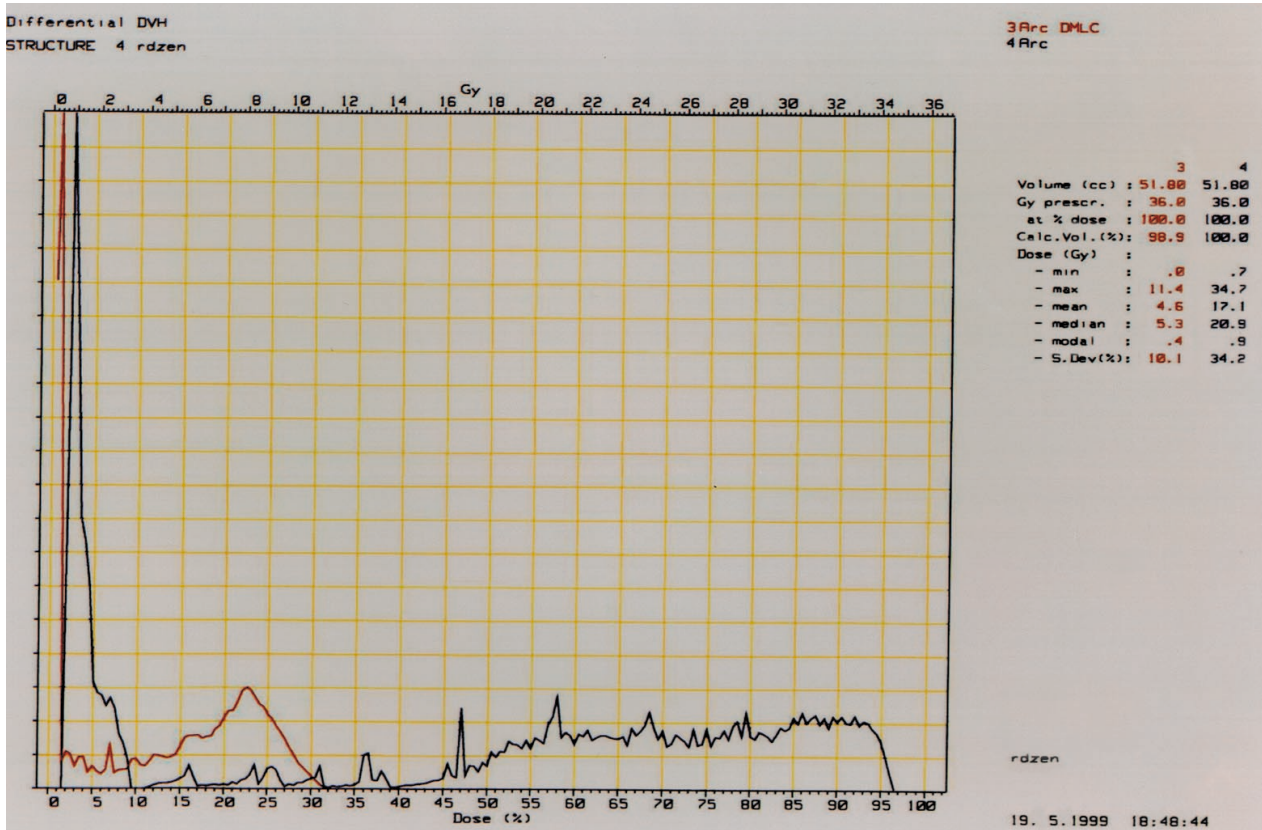
Procedury i czas potrzebny na ich wykonanie

Wprowadzając nowe techniki napromieniania w radioterapii, należy w organizacji pracy Zakładu Radioterapii uwzględnić różnice, jakie wynikają z przygotowania pacjenta do leczenia w radioterapii klasycznej i konformalnej. Procedury, jak i czas potrzebny na ich wykonanie w radioterapii klasycznej, konformalnej z zastosowaniem osłon indywidualnych i kolimatora wielolistkowego przedstawiono w Tabeli I.

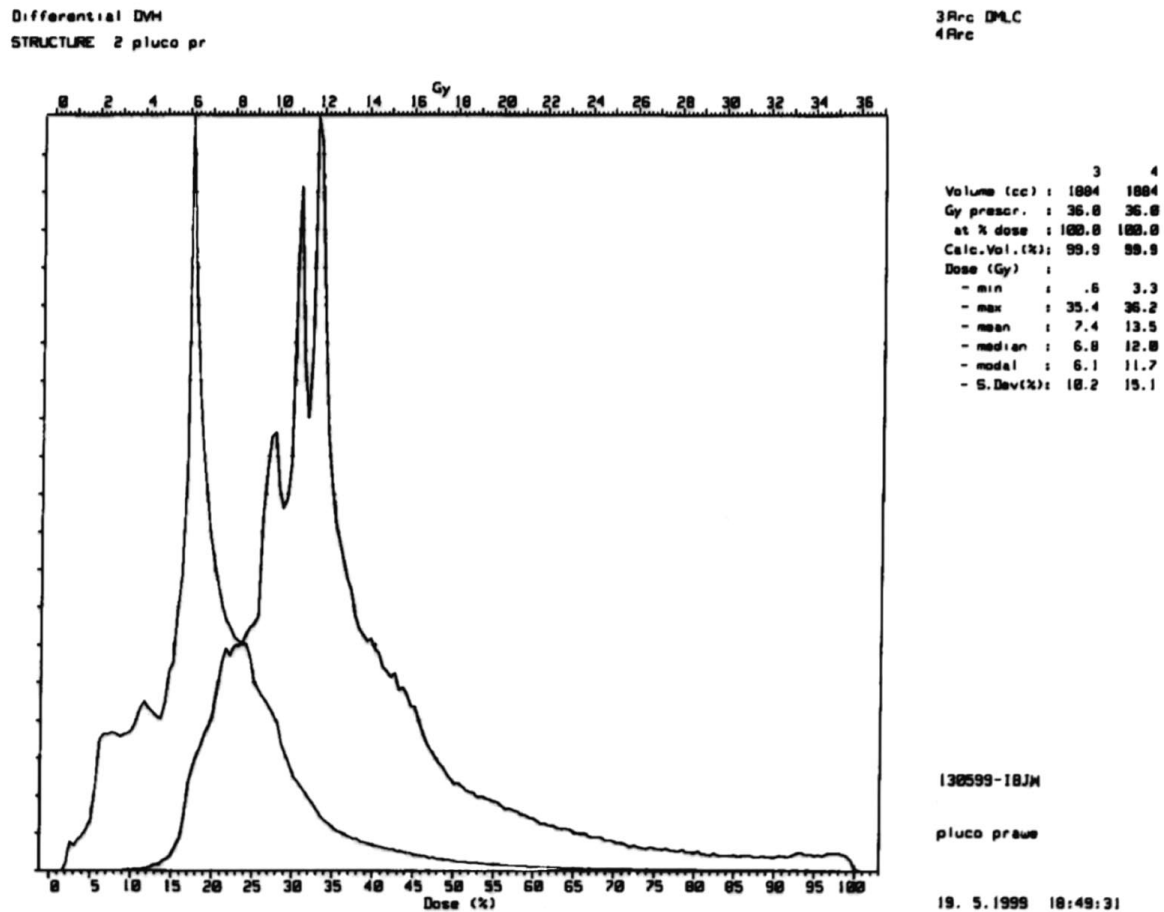
Z tabeli wynika, że liczba procedur planowania leczenia w radioterapii klasycznej i konformalnej jest porówny-



Ryc. 11b. Histogram różniczkowy dla techniki obrotowej z (kolor czerwony) i bez dynamicznego kolimatora wielolistkowego (kolor czarny)



Ryc. 12. Histogram różniczkowy rozkładu dawki w rdzeniu kręgowym dla techniki obrotowej z i bez dynamicznego kolimatora wielolistkowego.



Ryc.13. Histogram różniczkowy rozkładu dawki w płucu prawym dla techniki obrotowej z i bez dynamicznego kolimatora wielolistkowego

walna. Czasy potrzebne na przygotowanie chorego do radioterapii klasycznej lub konformalnej są różne. Różnica ta dochodzi do 50% [6]. Wprowadzenie planowania 3D (rozkład dawki obliczony jest w trzech wymiarach) wymaga określenia przestrzennej formy obszaru do napromieniania i struktur tkanek krytycznych. Dlatego czas wymagany na przygotowanie planu leczenia ulega wydłużeniu. Jest to wydłużenie czasu w konformalnej radioterapii w stosunku do klasycznej radioterapii z planowaniem 2D (plan rozkładu dawki obliczony jest tylko w jednej płaszczyźnie). Techniki konformalnej radioterapii (C-RT) zwiększają precyzję napromieniania, co umożliwia zwiększenie dawki w obszarze PTV, bez wzrostu dawki w obszarze tkanek krytycznych. Ponieważ prawdopodobieństwo sterylizacji komórek nowotworowych jest wprost proporcjonalne do wartości dawki, dlatego zwiększenie pochłoniętej dawki promieniowania jonizującego powoduje wzrost prawdopodobieństwa zniszczenia komórek nowotworowych. Jest więc wielce prawdopodobny wzrost prawdopodobieństwa miejscowego wyleczenia.

Dyskusja

Zastosowanie w radioterapii techniki obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym pozwala na zaplanowanie rozkładu dawki w sposób optymalny, tzn. na zminimalizowanie dawki w zdrowych tkankach i podwyższenie dawki w planowanym obszarze do napromieniania, poprzez np. zmniejszenie pól napromieniania. Należy jednak pamiętać, że wprowadzenie konformalnej radioterapii wymaga precyzyjnego określenia obszaru napromieniania.

Nie można również zapominać o ruchomości narządów wewnętrznych, związanych z czynnościami życiowymi, jak również o braku stabilnej pozycji chorego w czasie seansu terapeutycznego [7-9]. W radioterapii klasycznej niedokładność 2-3 mm określenia wymiaru PTV jest często nieistotna. Wymiar pola napromieniania, którego kształt jest kwadratem lub prostokątem, jest określony przez największą średnicę (przekątną) rzutu PTV – wymiary pola prostokątnego są większe od rzutu PTV. Dlatego prawdopodobieństwo niedopromienienia części PTV jest małe. Przeciwnie, w radioterapii konformalnej, ze względu na dopasowanie kształtu pola do projekcji PTV w polu wiązki promieniowania, wyżej wymieniona niedokładność (2-3 mm) może prowadzić do wzrostu prawdopodobieństwa niedopromienienia części PTV. Dlatego konieczne jest wykorzystanie możliwości graficznych na wszystkich etapach planowania i leczenia chorego, w celu wyeliminowania niedokładności w określeniu wymiaru, jak i położenia PTV. Weryfikacja graficzna obszaru do napromieniania jest wykonywana na etapach:

- definiowania PTV, w czasie którego porównuje się badanie tomograficzne z badaniem wykonanym rezonansem magnetycznym;
- planowania rozkładu dawki, w czasie którego stosowana jest technika prezentacji widoku pola napromieniania z pozycji źródła promieniowania;
- symulacji, w czasie której porównywane jest pole symulacyjne z planowanym;
- leczenia, w czasie którego porównuje się pole napromieniania z symulacyjnym.

Tab I. Procedury i czas potrzebny na ich wykonanie w radioterapii klasycznej i konformalnej z zastosowaniem osłon indywidualnych i kolimatora wielolistkowego

LP	Procedura	Radioterapia klasyczna	Radioterapia konformalna z osłonami indywidualnymi	Radioterapia konformalna z kolimatorem wielolistkowym
1	Przygotowanie stabilizacji chorego (tzw. „maska”)	30 min.	30 min.	30 min.
2	Symulacja rtg	30 min., jeżeli badanie TK, lub 0 min.	30 min.	30 min.
3	Badanie TK	Jeżeli TAK 15 min.	30 min.	30 min.
4	Wprowadzenie obrysów do komputerowego systemu planowania leczenia (zewnętrznych, PTV oraz narządów krytycznych)	45 min.	75 min.	75 min.
5	Komputerowe planowanie rozkładu dawki	60 min.	180 min.	180 min.
6	Akceptacja planu leczenia	15 min.	45 min.	45 min.
7	Weryfikacja czasu napromieniania	15 min.	30 min.	30 min.
8	Symulacja rtg	30 min.	45 min.	30 min.
9	Przygotowanie osłon indywidualnych	NIE	180 min.	NIE
10	Zaprojektowanie kształtu pola napromieniania, stosując MLC	NIE	NIE	10 min.
11	Przygotowanie bolusa, kompensatora	180 min.	180 min.	180 min.
12	Wprowadzenie danych do komputerowego systemu administracji ruchem chorych	15 min.	30 min.	45 min.
Razem:		ok. 6 godz.	ok. 14 godz.	ok. 11 godz.

Czas przygotowania chorego do leczenia promieniowaniem jonizującym, weryfikacji poprawności przebiegu napromieniania w radioterapii konformalnej jest dłuższy niż w radioterapii klasycznej. Jednak w przypadku radioterapii obrotowej, czas potrzebny na obliczenie rozkładu dawki z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym jest porównywalny z czasem wymaganym w klasycznej radioterapii obrotowej. Rozkład dawki w PTV w technice obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym (Arc-DMLC) jest porównywalny z rozkładami w klasycznych technikach, stosowanych w radioterapii. Przewagą Arc-DMLC w planowaniu rozkładu dawki nad klasycznymi technikami napromieniania jest zmniejszenie dawki w tkankach zdrowych, które otaczają guz nowotworowy. Zmniejszenie dawki w tkankach zdrowych w sposób oczywisty wpływa na możliwości podwyższenia dawki w PTV.

Wprowadzając konformalną radioterapię do praktyki klinicznej należy zwrócić szczególną uwagę na:

- obieg informacji graficznej związany z określeniem planowanego obszaru do napromieniania oraz obszarami tkanek krytycznych;
- zgodność pól planowanych, symulacyjnych i terapeutycznych;
- zgodność dawek planowanych i terapeutycznych;
- zgodność informacji terapeutycznej zawartej w dokumentacji elektronicznej i kartach leczenia.

Tylko spełnienie tych wymogów może zagwarantować spełnienie oczekiwań jakie związane są z konformalną radioterapią, której szczególnym przypadkiem jest Arc-DMLC.

Wnioski

1. Zastosowanie w radioterapii, dla wybranych przypadków klinicznych, techniki obrotowej z dynamicznym kolimatorem wielolistkowym, pozwala na zmniejszenie obciążenia zdrowych tkanek krytycznych.
2. Zastosowanie technik konformalnych w radioterapii wydłuża czas przygotowania chorego do napromieniania w porównaniu do wymaganego czasu w radioterapii klasycznej.

Dr Krzysztof Ślosarek
Zakład Fizyki Medycznej i Planowania Leczenia,
Pracownia Planowania Leczenia
Centrum Onkologii-Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie
ul. Wybrzeże AK 15, 44-101 Gliwice
e-mail: slosarek@onkol.instonko.gliwice.pl

Piśmiennictwo

1. Ślosarek K. Dynamiczny kolimator wielolistkowy – nowe możliwości konformalnej radioterapii. *I Zjazd Polskiego Towarzystwa Radioterapii Onkologicznej*; 27-29 Maj 1999; Kraków; s. 49.
2. De Neve W, De Gerssem W, Derycke S i wsp. Clinical delivery of intensity modulated conformal radiotherapy for relapsed or second-primary head and neck cancer using a multileaf collimator with dynamic control. *Radiotherapy and Oncology* 1999; 50; 301-314.
3. Shirato H, Shimizu S, Bo X i wsp. Four-Dimensional Radiation Treatment Planning: Organ Motion in Conformal Radiotherapy of Extracranial Tumors; 3 Dimensional Conformal Radiotherapy. *The 2 edn S. Takahashi Memorial International Workshop*; 11-13 December 1998; Nagoya; Japan; 1998; 70-73.
4. Zackrisson B, Karlsson M. PVI derived errors implementation in treatment planning. *Eight Varian European Users Meeting*; 27-30 April 1997; Vilamoura, Algarve-Portugal, 1997, 60-63.
5. Gerstner N, Watchter S, Knocke TH i wsp. The benefit of Beam's eye view based 3D treatment planning for cervical cancer. *Radiotherapy and Oncology* 1999; 51; 71-78.
6. Panten T, Hoss A, Bohsung J. Time requirements in conformal radiotherapy treatment planning (Technical note). *Radiotherapy and Oncology* 1999; 51; 211-214.
7. Fuks Z. Dose Escalation with 3D Conformal Radiotherapy Affects the Outcome in Early Stage Prostate Cancer; 3 Dimensional Conformal Radiotherapy. *The 2 edn S. Takahashi Memorial International Workshop*; 11-13 December 1998; Nagoya; Japan; 1998; 54-55.
8. Brizel DM, Light K, Zhou S-M, i wsp. Conformal radiation therapy treatment planning reduces the dose to the optic structures for patients with tumors of the paranasal sinuses. *Radiotherapy and Oncology* 1999; 51; 215-218.
9. Bedford JL, Khoo VS, Oldham M. A comparison of coplanar four-techniques for conformal radiotherapy of the prostate. *Radiotherapy and Oncology* 1999; 51; 225-236.

Otrzymano: 11 listopada 1999 r.
Przyjęto do druku 30 maja 2000 r.