

Streszczenie

Wstęp

W ostatnich latach nastąpił bardzo dynamiczny rozwój radioterapii, w szczególności możliwości technologicznych realizowania leczenia. Coraz częściej terapia statycznymi wiązkami zastępowana jest przez techniki dynamiczne. Nowe techniki w większości sytuacji klinicznych pozwalają na uzyskanie bardziej jednorodnego rozkładu dawki w objętości tarczowej oraz lepszą konformalność. Dawki otrzymywane w narządach krytycznych są zwykle niższe, aczkolwiek ten wniosek nie zawsze jest prawdziwy. W szczególności zastosowanie technik dynamicznych prowadzi do ekspozycji dużych objętości tkanek prawidłowych na tzw. niskie dawki, nie przekraczające 5 Gy. Konsekwencją absorbowania niskich dawek jest wzrost ryzyka indukcji popromiennych nowotworów. Stosowanie tych zaawansowanych technik napromieniania wymaga znacznego nakładu pracy na etapie przygotowania leczenia. Popęlnione błędy lub nawet niedokładności w przygotowaniu i realizacji napromieniania technikami dynamicznymi może w znaczący sposób ograniczyć zysk ze stosowania tych technik. Dlatego wdrożenie każdej nowej techniki wymaga starannej analizy zysków, strat i zagrożeń związanych z ich stosowania.

Cel pracy

Zasadniczym celem pracy była ocena zasadności stosowania obrotowych technik dynamicznych w terapii pacjentek po mastektomii. Pracę wykonano, uwzględniając wszystkie aspekty przygotowania i realizacji radioterapii, które mogły mieć wpływ na uzyskany efekt leczenia. W tym celu podjęto następujące kroki:

1. Zaprojektowano system zapewniający odtwarzalną pozycję pacjentek i oceniono wpływ tego systemu na odtwarzalność ułożenia pacjenta.
2. Porównano parametry rozkładu dawki uzyskane w planach leczenia wykonanych w technice VMAT i w technice f-IMRT. Celem porównania było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy promowane obecnie dynamiczne techniki obrotowe pozwalają uzyskać lepszy rozkład dawki tzn. lepszą konformalność w obszarze tarczowym przy jednoczesnej wymaganej ochronie tkanek zdrowych.
3. Przeanalizowano wpływ ruchów oddechowych oraz dokładność odtworzenia zaplanowanego izocentrum na rozkład dawki w obszarach tarczowych i narządach krytycznych.

4. Przeprowadzono dozymetryczną weryfikację planów leczenia, aby upewnić się, czy realizacja planu leczenia jest zgodna z komputerowym rozkładem dawki. Techniki VMAT wymagają bardzo precyzyjnego sterowania generowaniem wiązki terapeutycznej w przyspieszacz liniowym. Obliczony rozkład dawki w systemie planowania leczenia reprezentuje bowiem jedynie wirtualną, komputerową rzeczywistość.

Materiały i metody

Materiał kliniczny stanowiły cztery grupy pacjentów po lewo i prawostronnej mastektomii napromieniane w Zakładzie Teleradioterapii COI w Warszawie przy ul. Wawelskiej 15, leczonych z użyciem zaprojektowanego przez autorkę unieruchomienia, napromienianych dwiema różnymi technikami.

W latach 2007 – 2008 w celu poprawy odtwarzalności ułożenia pacjentów z nowotworem piersi autorka zaprojektowała nowe unieruchomienie, które zostało wykonane w warsztatach COI. Badanie pilotażowe mające na celu ocenę zaprojektowanego unieruchomienia przeprowadzono dla grupy 65 pacjentek (zwanej dalej I grupą). Po przeprowadzeniu badania pilotażowego wprowadzono do praktyki klinicznej wewnętrzny protokół kontroli realizacji napromieniania (WP). Protokół ten został zweryfikowany na grupie 65 pacjentek (II grupa) leczonych w 2008 roku. W latach 2007 – 2012, w których w naszym Zakładzie nie była jeszcze dostępna technika VMAT, stosowana była opracowana przez autorkę tej pracy technika f-IMRT. Technikę f-IMRT oceniono dla 60 pacjentek leczonych w latach 2010 – 2012 (III grupa). Dla tej techniki oceniono rozkłady dawki uzyskiwanych z zastosowaniem techniki f-IMRT. Czwartą grupę stanowiły pacjentki leczone techniką VMAT w latach 2014-2015. Porównano rozkłady dawki uzyskiwane z zastosowaniem techniki VMAT ze stosowaną techniką f-IMRT.

Oceniono wpływ ruchów oddechowych na parametry rozkładu dawki określono w oparciu o TK wykonaną w trzech fazach oddechowych.

Oceniono także wpływ zmiany położenia izocentrum na rozkład dawki w obszarach tarczowych i w narządach krytycznych

Wyniki

Dla pierwszej pilotażowej grupy pacjentów w celu oceny jakości naszego systemu unieruchomienia oraz w celu porównania dwóch protokołów wprowadzania korekt ułożenia pacjenta mNAL i WP, przeanalizowano wielkość systematycznych i przypadkowych błędów. Wyniki uzyskane dla

obydwu protokołów porównano z wynikami jakie uzyskano by dla napromieniania bez zastosowanej jakiegokolwiek metody korekcji ułożenia.

Wprowadzenie protokołu mNAL dla kierunku lewa-prawa zmniejszyło błąd systematyczny z wartości 2,4 mm, gdy nie były stosowane żadne korekty do wartości 1,6 mm, a dla kierunku głowa-nogi z 2,8 mm do 1,5 mm. Zastosowanie protokołu WP zmniejsza błędy systematyczne do wartości 1,7 mm dla kierunku l-r i 2,1 mm dla kierunku c-c. Protokół WP zapewnia poprawę odtwarzalności ułożenia

Dawka średnia w PTV była większa o 0.8% dla techniki VMAT niż dla f-IMRT. Różnica ta jest istotna statystycznie. Technika VMAT pozwala na dużo lepsze pokrycie objętości tarczowej. Dla pacjentek napromienianych po lewej stronie parametr $V_{95\%}[\%]-V_{107\%}[\%]$ dla PTV wyniósł 87% dla f-IMRT i 98.6% dla VMAT (różnica statystycznie istotna) . Podobne wyniki uzyskano dla pacjentek napromienianych po prawej stronie. Również indeksy jednorodności HI i pokrycia CovI świadczą, że plany VMAT zapewniają bardziej jednorodną dawkę w zaplanowanym targecie. Dla planów VMAT CovI wyniósł 0,71 (v. 0,56 dla f-IMRT – różnica istotna statystycznie), CI wyniósł 0,78 (v. 0,62 dla f-IMRT), natomiast HI indeks zmalał o połowę w stosunku do planów f-IMRT (0,08 dla VMAT versus 0,17 f-IMRT).

W grupie pacjentek napromienianych po stronie lewej techniką VMAT, dawka średnia w płucu lewym wzrosła o 1Gy w porównaniu z techniką f-IMRT natomiast parametr $V_{20Gy}[\%]$ miał podobną wartość i wynosił 35,5%. W technice VMAT większa była również objętość płuca prawego otrzymującego dawkę powyżej 5 Gy i wniosła 17,8%, podczas gdy w technice f-IMRT ta wartość wynosiła 11,1 %.

W sercu dla techniki VMAT dawka średnia wyniosła 7Gy, zaś dla f-IMRT 6,6 Gy. Dla techniki VMAT parametr $V_{5Gy}[\%]$ nieznacznie wzrósł (47% versus 40,3 % dla f-IMRT) przy jednoczesnym obniżeniu parametru $V_{20Gy}[\%]$ (6,6% VMAT versus 8,9% f-IMRT).

Dla techniki VMAT dla pacjentek po lewostronnej mastektomii dawka maksymalna w piersi prawej wyniosła 22,8Gy (v. 36,0 f-IMRT). Zmniejszyła się objętość, która otrzymuje dawkę nie wyższą niż 5Gy. $V_{5Gy}[\%]$ wynosił 9,9% dla planów wykonanych techniką VMAT zaś 17,2% dla f-IMRT – różnice istotne statystycznie. Dawka średnia dla piersi w technice VMAT wyniosła 3,3 Gy a w technice f-IMRT 4,0 Gy.

Dawka średnia dla tarczycy w planach VMAT wyniosła 29,26 Gy zaś w planach f-IMRT 36,82 Gy. Różnica ta jest istotna statystycznie.

Obliczone średnie objętości tkanek zdrowych otrzymujących dawki powyżej 5Gy jest większa dla planów VMAT niż dla techniki f-IMRT (6642cm³ versus 6520cm³). Obserwuje się zmniejszenie objętości otrzymującej dawki wyższe. Objętość otrzymująca dawki powyżej 30 Gy dla techniki VMAT wyniosła 2836cm³ versus 3229cm³ dla f-IMRT, zaś objętość tkanek zdrowych otrzymujących dawki powyżej 40 Gy wyniosła 1882 cm³ versus 2294 cm³ dla f-IMRT – różnica istotna statystycznie. Wyniki te pokazują, że w technice VMAT większe objętości tkanek zdrowych otrzymują niskie dawki, ale obszary dawek wysokich są bardziej ograniczone.

Przeanalizowano rozkłady dawek dla trzech przypadków: swobodny oddech, wydech i głęboki wdech. Różnice dawek dla swobodnego oddechu i wydechu nie różniły się. Natomiast obserwowano kilkuprocentowe różnice w przypadku głębokiego wdechu.

Oceniono zmiany parametrów rozkładu dawki dla PTV i płuca po leczonyj stronie i serca przy zmianie położenia izocentrum o 5 mm dla każdego kierunku dla techniki f-IMRT i VMAT. Różnice w dawkach średnich we wszystkich zasymulowanych sytuacjach nie przekraczają 1%., natomiast znacznie obniża się jednorodność dawki w obszarze PTV. Dla płuca przesunięcie izocentrum powoduje zmianę w $D_{50\%}$ [Gy] średnio o 1,5 Gy oraz zmianę w $V_{20Gy}[\%]$ średnio o 3.5%. Dla serca przesunięcia izocentrum zmianę w $D_{50\%}$ [Gy] średnio o 1 Gy dla techniki VMAT i średnio o 2Gy dla f-IMRT oraz zmianę w $V_{20Gy}[\%]$ średnio o 2,3% (VMAT) i 0,7 % (f-IMRT)

Wnioski

Zastosowanie techniki VMAT

1. Pozwala na bardzo dobrą konformalność rozkładu dawki w obszarze PTV przy jednoczesnej dobrej ochronie narządów krytycznych i tkanek zdrowych.
2. Zwiększa objętość tkanek otrzymujących dawki powyżej 5 Gy ale zarazem zmniejsza objętość tkanek otrzymujących dawki wyższe od 20Gy i 30Gy.
3. Znacznie skraca czas napromieniania w stosunku do techniki „Step and shoot”. Z tego względu realizacja napromieniania jest bardziej komfortowa dla pacjentów. Im krótszy czas leczenia tym mniejsze się ryzyko przemieszczenia się obszaru tarczowego w trakcie podawania dawki.

4. Ze względu na wysoką konformalność planów VMAT znacznie istotniejsze jest dokładne wrysowanie objętości tarczowej i narządów krytycznych, a także bardzo ważna jest odtwarzalność ułożenia pacjenta. Uzasadnione jest stosowanie unieruchomień zapewniających wysoką odtwarzalność ułożenia pacjenta. Taką rolę spełniło unieruchomienie zaprojektowane przez autorkę tej pracy.

Przeprowadzone obszerne porównanie techniki dynamicznej VMAT i dotychczas stosowanej techniki f-IMRT wskazuje na wyższość techniki dynamicznej