

Accelerator room shielding in radiotherapy units where IMRT and TBI techniques are applied

Jan Lesiak, Michał Waligórski

Współcz Onkol (2002), vol. 6, 8, 551-554

WSPÓŁCZESNA ONKOLOGIA 2002 VOL. 6; 8 (551-554)

WSTĘP

Ze względu na korzyści wynikające ze śródmiejskiej lokalizacji ambulatoryjnych ośrodków radioterapii, coraz częściej wymagane jest lokalizowanie bunkrów akceleratorów medycznych w bezpośrednim sąsiedztwie wielokondygnacyjnych budynków innego przeznaczenia. Równocześnie, w ośrodkach tych do rutynowej działalności klinicznej coraz powszechniej wdrażane są nowe techniki naświetlania pacjentów, w tym napromienianie wiązką o modulowanym natężeniu (*Intensity Modulated Radiation Therapy* - IMRT) czy napromienianie całego ciała (*Total Body Irradiation* - TBI), powodujące znaczne zwiększenie obciążenia roboczego akceleratora. Zastosowanie technik IMRT i TBI w sposób znaczący zwiększa udział promieniowania ubocznego, przenikającego przez głowicę akceleratora w kierunku ścian i stropów kabiny naświetlań. Równocześnie zaostrzeniu ulegają przepisy dotyczące osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące. Wkrótce, na podstawie obowiązującej od 2002 r. w Polsce ustawy *Prawo atomowe* [1], wydane będzie rozporządzenie zmniejszające limity dawki skutecznej i dawki równoważnej. W celu spełnienia wymagań ochrony radiologicznej w odniesieniu do osób narażonych zawodowo, pracowników szpitala oraz osób postronnych, należy w obliczeniach grubości osłon stałych pracowni uwzględnić zwiększone obciążenie akceleratora, spowodowane stosowaniem technik IMRT i TBI. Zagadnienie to zostało już podjęte w opracowaniach zagranicznych [2, 3]. Celem pracy jest ocena, za pomocą przykładowych obliczeń, wpływu wprowadzenia do praktyki klinicznej wysoko specjalistycznych technik napromieniania na grubości osłon stałych bunkrów akceleratorów medycznych.

Dla przyjęcia podstawowych założeń do obliczeń, posłużymy się przykładem napromieniania nowotworu techniką wielopolową wiązkami promieniowania X o energii 6 MV. Dla jednej z wiązek, przedstawionej na rycinie, środek guza znajduje się na głębokości 10 cm.

Przy standardowej kalibracji wiązki (1 cGy/1 jednostkę monitorową), dostarczenie za pomocą tej wiązki dawki o wartości 100 cGy do guza wymaga ustawienia na pulpicy aparatu ok. 150 jm (jednostek monitorowych). Zastosowanie techniki IMRT, dla której stosunek liczby jednostek monitorowych do dawki w izocentrum (wyrażonej liczbą cGy) zawiera się w zakresie od 2 do 10 [2], pociąga za sobą konieczność znacznego zwiększenia liczby jednostek monitorowych (od 300 do 1 500 jm, a nawet do wyższych wartości [3], zależnie od przyjętego sposobu napromieniania). W przypadku techniki TBI, dla uzyskania dużego pola naświetlania konieczne jest odsunięcie pacjenta od głowicy aparatu na odpowiednią odległość, zwykle ograniczoną położeniem ściany bunkra, w stronę której kierowana jest wiązka (2-5 m od izocentrum). Aby podać pacjentowi przepisaną dawkę należy więc zastosować 9-36 razy większą liczbę jednostek monitorowych, od tej stosowanej przy typowym napromienianiu pacjenta w odległości izocentrum (1 m).

OBLICZANIE GRUBOŚCI OSŁON AKCELERATORA

Polska Norma PN-86/J-80001 [4] nie obejmuje wysokoenergetycznych akceleratorów liniowych, dlatego obliczenia osłon stałych bunkrów akceleratorów wykonywane są najczęściej w oparciu o normę niemiecką DIN 6847 [5]. Norma DIN 6847 podaje przepis na obliczenie grubości osłon przed każdym rodzajem promieniowania jonizującego, które wytwarzane jest podczas eksploatacji akceleratora medycznego. Grubość osłony można obliczyć za pomocą ogólnego wyrażenia [5]: gdzie:

wzory w niniejszym artykule proszę zobaczyć w PDF

i - rodzaj składowej promieniowania jonizującego,

s - grubość osłony mierzona prostopadle do powierzchni osłony, cm,

z - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia, cm,

W - obciążenie robocze w ciągu tygodnia - obliczane na podstawie liczby naświetlań w ciągu tygodnia i średnich dawek dla poszczególnych energii, odniesionych do izocentrum (w odległości $a_0 = 1$ m od punktu wyjścia wiązki promieniowania użytecznego), mGy,

H_w - dawka tygodniowa, mSv,

U - współczynnik określający prawdopodobieństwo skierowania wiązki promieniowania w stronę obliczanej osłony,

T - współczynnik określający prawdopodobieństwo przebywania ludzi w osłanianym miejscu,

K - współczynnik redukcji mocy promieniowania - równy stosunkowi mocy dawki dla promieniowania, które ma być ekranowane do mocy dawki dla promieniowania użytecznego w odległości odniesienia $a_0 = 1$ m,

q - współczynnik jakości promieniowania.

OBLICZANIE TYGODNIOWEGO OBCIĄŻENIA AKCELERATORA PRZY PRACY TECHNIKAMI STANDARDOWYMI

Tygodniowe obciążenie akceleratora przy standardowym napromienianiu pacjentów można obliczyć zakładając, np.:

a) czas pracy jednej zmiany - 5 godz.,

b) liczbę zmian pracy - 3,

c) obciążenie robocze akceleratora w ciągu godziny, wynikające z przewidywanego wykorzystania aparatu:

- przyjmując maksymalną liczbę napromienianych pacjentów w ciągu godziny - 4, zaś średnią dawkę podawaną pacjentowi na zmianę nowotworową w ciągu jednego dnia - 2 Gy,

- zakładając, że nowotwór położony jest średnio na głębokości 10 cm, i że dawka zaabsorbowana na

tej głębokości stanowi ok. 70 proc. dawki na głębokości d_{\max} - dawka wlotowa potrzebna do podania planowanej dawki 2 Gy na guz wynosi wtedy ok. $1/0,7 \times 2 \text{ Gy} = 3 \text{ Gy}$.

Tygodniowe obciążenie robocze akceleratora przy pracy technikami standardowymi wynosi dla personelu zawodowo narażonego na promieniowanie jonizujące (symbol Z: 25-godzinny tydzień pracy):

$$W_{\text{STAND}}(Z) = 25 \text{ godz.} \times 4 \text{ pacjentów} \times 3 \text{ Gy} \\ = 0,30 \times 10^6 \text{ mGy, (2)}$$

zaś dla pozostałych osób zatrudnionych w ośrodku onkologicznym (symbol N: 40-godzinny tydzień pracy):

$$W_{\text{STAND}}(N) = 40 \text{ godz.} \times 4 \text{ pacjentów} \times 3 \text{ Gy} \\ = 0,48 \times 10^6 \text{ mGy, (3)}$$

natomiast dla osób zamieszkałych w sąsiedztwie ośrodka onkologicznego - symbol O (przy trzymianowej pracy akceleratora):

$$W_{\text{STAND}}(O) = 3 \times 25 \text{ godz.} \times 4 \text{ pacjentów} \times 3 \text{ Gy} \\ = 0,90 \times 10^6 \text{ mGy. (4)}$$

Przy standardowych technikach napromieniania wartość tygodniowego obciążenia roboczego akceleratora (decydująca o grubości osłon stałych) jest taka sama dla promieniowania pierwotnego, rozproszonego i ubocznego. Na wymaganą grubość każdej osłony wpływają również inne czynniki: rodzaj promieniowania, przed którym osłona ta ma chronić, częstość emisji promieniowania w kierunku danej osłony, czy czas przebywania osób za daną osłoną. Natomiast wykorzystanie akceleratora do pracy z użyciem nowych technik może znacząco zwiększyć jego tygodniowe obciążenie robocze.

OBLICZANIE TYGODNIOWEGO OBCIĄŻENIA AKCELERATORA PRZY PRACY TECHNIKĄ TBI

Obciążenie to można oszacować przyjmując, że:

- a) w ciągu tygodnia jest napromienianych średnio 2 pacjentów,
- b) każdemu pacjentowi zostaje podana dawka ok. 1 200 cGy,
- c) pacjenci podczas ekspozycji znajdują się w odległości 5 m od źródła promieniowania.

Wtedy dodatkowe tygodniowe obciążenie akceleratora ze względu na stosowanie TBI wyniesie:

$$W_{\text{TBI}} = 2 \times 1200 \text{ cGy} \times 5^2/1^2 \\ = 0,6 \times 10^6 \text{ mGy. (5)}$$

Ponieważ w technice TBI wiązka z reguły kierowana jest w stronę jednej i tej samej osłony, zwiększone obciążenie akceleratora ma bezpośredni wpływ na wymaganą grubość tej osłony pierwotnej oraz na grubości osłon przed promieniowaniem ubocznym. W omawianym przykładzie, przy niezmienionym obciążeniu akceleratora technikami standardowymi, zastosowanie techniki TBI wymaga pogrubienia rozważanej osłony pierwotnej odpowiednio:

- o 0,48 z (z - grubość warstwy dziesięciokrotnego osłabienia), gdy ta osłona chroni osoby zawodowo narażone,
- o 0,35 z, gdy chroni pozostałe osoby zatrudnione w ośrodku,
- lub o 0,22 z, gdy zabezpiecza przed promieniowaniem jonizującym osoby zamieszkałe w sąsiedztwie ośrodka.

OBLICZANIE TYGODNIOWEGO OBCIĄŻENIA AKCELERATORA PRZY PRACY TECHNIKĄ IMRT

Zastąpienie napromieniania standardowego napromienianiem techniką IMRT nie wpływa na wymagane grubości osłon pierwotnych, gdyż fluencja promieniowania docierającego do tych osłon (proporcjonalna do dawki dostarczanej do objętości tarczowej) jest prawie taka sama. Natomiast w sposób znaczący wzrasta obciążenie akceleratora związane z emisją promieniowania ubocznego (obciążenie jest proporcjonalne do liczby jednostek monitorowych generowanych w akceleratorze). Obciążenie robocze akceleratora spowodowane pracą techniką IMRT w odniesieniu do osłon przed promieniowaniem ubocznym można oszacować przyjmując, że:

- a) technika IMRT jest stosowana u 30 proc. spośród wszystkich napromienianych pacjentów,
- b) średni stosunek liczby jednostek monitorowych do dawki (wyrażonej liczbą cGy) w izocentrum wynosi 6.

Wtedy tygodniowe obciążenie akceleratora z punktu widzenia osób zawodowo narażonych na promieniowanie jonizujące (Z) wynosi:

$$W_{IMRT}(Z) = 0,3 \times W_{STAND}(Z) \times 6, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} W_{IMRT}(Z) &= 0,3 \times 0,30 \times 10^6 \text{ mGy} \times 6 \\ &= 0,54 \times 10^6 \text{ mGy}, \quad (7) \end{aligned}$$

dla pozostałych osób zatrudnionych w ośrodku (N):

$$\begin{aligned} W_{IMRT}(N) &= 0,3 \times 0,48 \times 10^6 \text{ mGy} \times 6 \\ &= 0,864 \times 10^6 \text{ mGy}, \quad (8) \end{aligned}$$

zaś dla osób zamieszkających w sąsiedztwie ośrodka onkologicznego (O):

$$\begin{aligned} W_{IMRT}(O) &= 0,3 \times 0,90 \times 10^6 \text{ mGy} \times 6 \\ &= 1,62 \times 10^6 \text{ mGy}. \quad (9) \end{aligned}$$

Wartości tygodniowego obciążenia akceleratora, które należy użyć do obliczenia grubości osłon przed promieniowaniem ubocznym w rozważanym przez nas przykładzie, wynoszą odpowiednio: dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie jonizujące:

$$W_U(Z) = 0,7 \times W_{STAND}(Z) + W_{IMRT}(Z), \quad (10)$$

$$W_U(Z) = 0,7 \times 0,30 \times 10^6 \text{ mGy} + 0,54 \times 10^6 \text{ mGy} = 0,75 \times 10^6 \text{ mGy}, \quad (11)$$

dla pozostałych osób zatrudnionych w ośrodku:

$$W_U(N) = 0,7 \times 0,48 \times 10^6 \text{ mGy} + 0,864 \times 10^6 \text{ mGy} = 1,20 \times 10^6 \text{ mGy}, \quad (12)$$

zaś dla osób zamieszkających w sąsiedztwie:

$$W_U(O) = 0,7 \times 0,90 \times 10^6 \text{ mGy} + 1,62 \times 10^6 \text{ mGy} = 2,25 \times 10^6 \text{ mGy} \quad (13)$$

Stosowanie techniki IMRT w podanym zakresie wiąże się z koniecznością pogrubienia osłon przed promieniowaniem ubocznym o 0,4 grubości warstwy dziesięciokrotnego osłabienia.

W skrajnym przypadku napromieniania wyłącznie techniką IMRT przy stosunku liczby jednostek monitorowych do liczby cGy równym 10 wymagane jest pogrubienie osłon przed promieniowaniem ubocznym jedną warstwą dziesięciokrotnego osłabienia, np. dla promieniowania X 25 MV oznacza to dodatkową warstwę:

- 47 cm betonu zwykłego (gęstość $2,3 \text{ g cm}^{-3}$), albo

- 31 cm betonu barytowego (gęstość $3,1 \text{ g cm}^{-3}$).

WNIOSKI

Napromienianie pacjentów techniką TBI za pomocą akceleratora zainstalowanego wewnątrz pomieszczenia przewidzianego do stosowania standardowych technik naświetlań może wymagać pogrubienia odpowiedniej osłony pierwotnej.

Rutynowe napromienianie techniką IMRT w kabinie, której projekt nie obejmował tego rodzaju naświetlań, może być uwarunkowane koniecznością pogrubienia osłon wtórnych, przy czym wielkość tego pogrubienia zależy będzie od rodzaju wdrażanej techniki IMRT oraz procentowego udziału pacjentów napromienianych tą techniką.

Wykonując projekt ochrony radiologicznej nowej pracowni akceleratora należy uwzględnić możliwość stosowania w niej technik IMRT i TBI.

Alternatywą wymaganego pogrubienia osłon stałych przy stosowaniu technik IMRT i TBI może być ograniczenie liczby wszystkich napromienianych pacjentów.

PIŚMIENNICTWO

1. Prawo atomowe, Dziennik Ustaw z 2001 r., Nr 3, poz. 18.
2. Rodgers JE. Radiation therapy vault shielding calculational methods when IMRT and TBI procedures contribute, J Appl Clin Med Phys 2001; 2: 157-64.
3. Mutic S, Low DA, Klein EE, et al. Room shielding for intensity-modulated radiation therapy treatment facilities. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2001; 50: 239-46.
4. Norma polska PN-86/J-80001: Materiały i sprzęt ochronny przed promieniowaniem X i gamma. Obliczanie osłon stałych, 1986.
5. Norma niemiecka DIN 6847, Teil 2: Medizinische Elektronenbeschleuniger - Anlagen. Strahlenschutzregeln für die Errichtung, 1990.

ADRES DO KORESPONDENCJI

dr n. fiz. **Jan Lesiak**

Zakład Fizyki Medycznej

Centrum Onkologii

Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie

Oddział w Krakowie

ul. Garncarska 11

31-115 Kraków

tel. (012) 423 10 67

e-mail: z5lesiak@cyf-kr.edu.pl