

W ośrodkach radioterapii coraz powszechniej do rutynowej działalności klinicznej wdrażane są nowe, wysoko specjalistyczne techniki napromieniania wiązką o modulowanym natężeniu (*Intensity Modulated Radiation Therapy – IMRT*) oraz napromieniania całego ciała (*Total Body Irradiation – TBI*), powodujące zwiększone obciążenie robocze akceleratora. Jednocześnie rozbudowa tych ośrodków i rozwój miast powodują, że bunkry akceleratorów lokalizowane są w bezpośrednim sąsiedztwie wielokondygnacyjnych budynków innego przeznaczenia. Obecnie zastrzeżeniu ulegają również przepisy dotyczące ochrony osób pracujących w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące. Zatem w celu spełnienia wymagań ochrony radiologicznej należy uwzględnić wpływ wzrostu obciążenia roboczego akceleratora na żadaną grubość osłon stałych pracowni.

Celem pracy jest ocena, za pomocą przykładowych obliczeń, zależności wymaganych grubości osłon biologicznych akceleratorów medycznych od zakresu zastosowań wdrażanych do praktyki klinicznej wysoko specjalistycznych technik napromieniania.

Stwierdzono, że założenia do projektu technicznego osłon stałych nowej pracowni powinny uwzględniać zakres planowanego wykorzystania akceleratora do realizacji procedur *IMRT* i *TBI*. Natomiast osłony już istniejące, zaprojektowane i wykonane przy założeniu stosowania jedynie standardowych technik napromieniania, mogą okazać się niewystarczające. W takim przypadku konieczne jest ich odpowiednie pogrubienie. Alternatywą może być planowe ograniczenie liczby pacjentów napromienianych na danym akceleratorze.

Słowa kluczowe: osłony stałe, *IMRT*, *TBI*, promieniowanie uboczne.

# Wielkość osłon stałych w pracowniach radioterapii stosujących techniki *IMRT* i *TBI*

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

Jan Lesiak, Michał Waligórski

Centrum Onkologii Oddział w Krakowie

### 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 zastrzeżeniu 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 grubość 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.

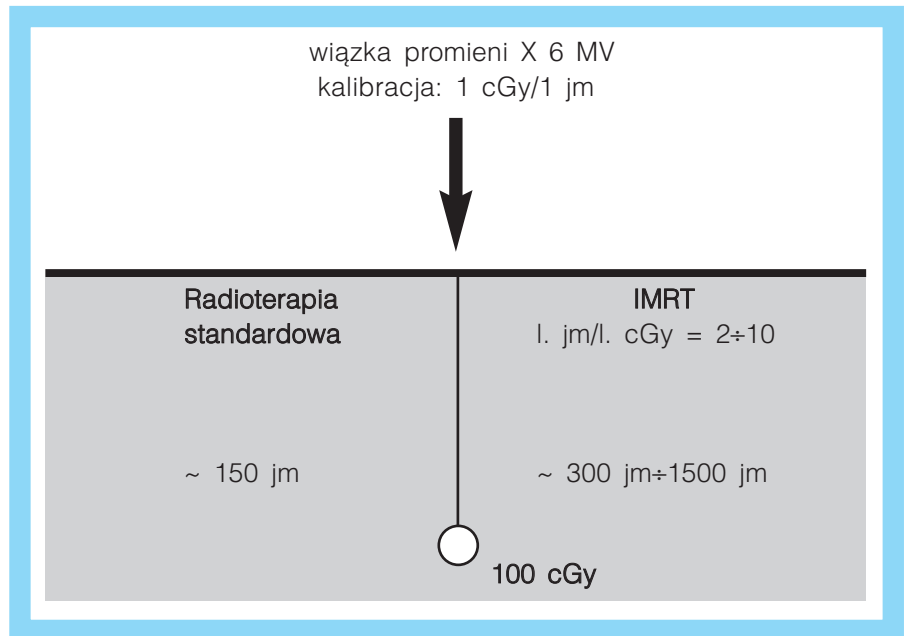
Przy standardowej kalibracji wiązki (1 cGy/1 jednostkę monitorową), dostarczenie za pomocą tej wiązki dawki o wartości 100 cGy do guza wymaga ustawienia na pulpicie aparatu ok. 150 jm (jednostek monitorowych). Zastosowanie techniki *IMRT*, dla której stosunek liczby jednostek monitorowych do dawki

New highly specialized radiotherapy techniques, such as IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy) or TBI (Total Body Irradiation), are being introduced, leading to an increased workload of medical accelerators. At the same time, modern radiotherapy centres are often being located or expanded in close vicinity of buildings serving other purposes. Also, more stringent radiation protection regulations concerning radiation workers are being implemented. Thus, in order to fulfill the requirements of radiation protection, the influence of the increase in the workload of medical accelerators on the thickness of their permanent shielding must be considered.

The aim of this work is to evaluate, using calculated examples, the dependence of the required thickness of permanent biological shielding of the medical accelerator on the range of application of highly specialized radiotherapy techniques, such as IMRT or TBI, performed using this accelerator.

It is concluded that the technical specifications of the design of a new radiotherapy laboratory should include the proposed contribution of IMRT and TBI procedures. Existing shielding in currently operating laboratories which has been designed only for conventional radiotherapy may not be sufficiently thick. In this case, appropriate thickening of the current shielding may be necessary, or, alternatively, a planned limitation of the number of patients irradiated using this accelerator.

Key words: shielding, IMRT, TBI, leakage.



Ryc. Przykład ilustrujący zwiększenie obciążenia akceleratora w wyniku zastosowania techniki IMRT

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:

$$s_i = z_i \times \log_{10} \left( \frac{W \times U \times T \times K_i \times q_i}{H_w} \right) \quad (1)$$

- 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  $a_0 = 1\text{m}$ ,

q – współczynnik jakości promieniowania.

### OBLICZANIE TYGODNIOWEGO OBCIĄŻENIA AKCELERATORA PRZY PRACY TECHNIKAMI STANDARDOWYMI

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

- czas pracy jednej zmiany – 5 godz.,
- liczbę zmian pracy – 3,
- 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  $d_{\text{max}}$  – 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):

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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:

- technika IMRT jest stosowana u 30 proc. spośród wszystkich napromienianych pacjentów,
  - 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:

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

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

dla pozostałych osób zatrudnionych w ośrodku (N):

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

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

$$W_{MRT}(O) = 0,3 \times 0,90 \cdot 10^6 \text{ mGy} \times 6 \\ = 1,62 \cdot 10^6 \text{ mGy}. \quad (9)$$

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:

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

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

dla pozostałych osób zatrudnionych w ośrodku:

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

zaś dla osób zamieszkałych w sąsiedztwie:

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

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