ノート

原体照射法線量補正用多分割可変フィルタの基礎的特性

櫻井 康雄・近藤 悟・阿部 真治

青山 裕一・成田 憲彦・山口 宏

小幡 康範*・津坂 昌利*・小山 修司*

名古屋大学医学部附属病院放射線部

*名古屋大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科

(論文受理 1994年12月1日)

(最終論文受理 1995年6月17日)

(Code No. 431)

Key words: Multi-leaf moving filter, Conformation technique, Dosimetry, Beam hardening

**BASIC CHARACTERISTICS OF MULTI-LEAF MOVING FILTERS TO COMPENSATE FOR
ABSORBED DOSE OF A CONFORMAL BEAM**

YASUO SAKURAI, SATORU KONDOH, SHINJI ABE

YUUCHI AOYAMA, NORIHIKO NARITA, HIROSHI YAMAGUCHI

YASUNORI OBATA*, MASATOSHI TSUZAKA*, SHUJI KOYAMA*

Department of Radiology, Nagoya University Hospital

*Department of Radiological Technology, Nagoya University College of Medical Technology

Summary

It is already known that the absorbed dose changes due to the degree of leaf opening during irradiation with multi-leaf collimator. To compensate for this dose difference, 11 pairs of thin wedge filters corresponding with multi-leaf collimators are installed in a beam shaping apparatus of a linear accelerator at Nagoya University Hospital. Basic characteristics of the filter such as filter thickness, maximum field size, the change in the beam energy and the filter factor are measured.

The usable range of the filter position and field size is limited to each other.

TPR increases to 0.96% with 6 MV and to 0.68% with 10 MV X-ray at the reference point, so the beam energy increases to about 7~10% at 6 MV and 10 MV X-ray.

Filter factors are the same at different field sizes and depths with 6 MV and 10 MV X-ray, respectively.

1. はじめに

多分割絞りをを用いた原体照射法においては、絞りの開

度により深部線量に差が生じ、開度の大きな部分に比較して開度の小さな部分では与えられる線量が減少することが避けられない¹⁾。

我々の施設では、これを補正するためそれぞれの絞りに対応して対向する楔状のフィルタを組み合わせ、絞りの開度が大きくなる場合には対向するフィルタの重なりを大きくし合計の厚さを増して、線量を減弱し全体の線量を均一にすることを意図してライナックの照射口に多分割可変フィルタを装着した (Fig. 1)。

絞りの開度の変化についてその都度深部線量を測定して可変フィルタの厚さを決めることは煩雑で実際的ではない。絞りの開度に対して計算により必要な可変フィルタの厚さが求められれば治療時に自動的にフィルタの位置の設定が可能となる。そのため、その計算の基礎となる可変フィルタの位置設定値と厚さの関係、可変フィルタの位置と可能な最大照射野を求め、フィルタによるビームのエネルギー変化、フィルタによる深部線量の変化などの基礎的特性について今回測定を行った。

Fig. 1 The multi-leaf moving filter and multi-leaf collimator in the linear accelerator.

2. 多分割可変フィルタシステム

2.1 多分割可変フィルタ

可変フィルタは MEVATORON DX77 (シーメンス社製ライナック) の絞り部に装着され、対向した楔状で多分割原体絞り装置と同様11対で構成される (Fig. 2)。

可変フィルタの材質は黄銅 (銅と亜鉛の合金、いわゆる真鍮) で、その形状と実寸法は Fig. 3(a)に示されるごとく、最大厚は10 mm である。

Source-axis distance (以下 SAD と略す) 100 cm にお

Fig. 2 Beam shaping apparatus of a linear accelerator. Geometrical relationship between the moving filter and multi-leaf collimator.

Fig. 3 Schematic of the shape of the moving filter and the relationship between the filter position and the maximum field size.

- (a) Slightly closed position
- (b) Almost closed position

Fig. 4 Block diagram of a linear accelerator with a moving filter and its controller.

Fig. 5 Relationship between the filter position and filter thickness or the maximum field size. The usable range exists under the line.

いて可変フィルタの開閉範囲は可変フィルタの強度の理由からフィルタの先端が20mmに相当する分だけカットしてあるために、フィルタポジションはその先端がビーム中心にあると-20, 中心を越えて最大に閉じると-200, 最大に開いた時が+200と表示される。

2.2 可変フィルタ制御部

可変フィルタ11対の羽根はJ-3100(東芝社製パーソナルコンピュータ)を用いてそれぞれ単独に制御され、架台角度2度毎に設定されたデジタルデータにもとづき開閉制御される(Fig. 4)。

可変フィルタ開度計算部とのインターフェース機能を有し、多分割原体絞り羽根開度量の受信、補正フィルタ羽根開度量の計算結果の送信、および、補正フィルタ羽根開度量の実際値の受信ができる。また、補正フィルタ開度量の実際値と設定値の比較を行い、その差が一定以上の場合インタロック信号を出力し、照射を停止することができる。

2.3 フィルタ厚及び最大照射野

フィルタ位置に対するフィルタ厚と最大照射野の関係はFig. 3に示されるごとく、左右のフィルタ位置が決まればフィルタの厚さはそれぞれの楔状フィルタの厚さの合計となる。フィルタが対称的に開く場合、フィルタ位置とフィルタ厚との関係はFig. 5に示される。-200のとき厚さ11.45 mm, -110のとき厚さ7.72 mmとなっている。Fig. 3よりわかるようにお互いのフィルタが重なった範囲は一定の厚さとなるが、それより外方は厚さが変化してしまうため、フィルタの位置により設定できる照射野の最大値が規定されてしまう。この大きさは理論的には相対するフィルタの位置の符号を変えて合計したものになる筈であるが実際にはそれぞれのフィルタの先端がSAD 100 cmにおいて20 mmに相当する部分がカットされているため幾何学照射野は40 mm狭く、フィルタ位置が共に-200のとき360 mm, -110のとき180 mmとなっている。又、逆に照射野が決まるとフィルタの最小厚が決まり、それ以上薄くしようとフィルタを広げると中央部は予定の厚さとなるが、照射野の両端部ではフィルタが重ならず中央部と厚さが異なる。結局、フィルタ位置と照射野についてはFig. 5に示される直線より下の部分が有効な範囲となる。照射野が小さければフィルタの厚さの可変範囲は広くとれるが照射野が大きくなればフィルタはほとんど閉じた状態で動かせないということになる。

3. 可変フィルターによるビームエネルギーと深部線量の変化

3.1 測定装置

検出器は0.6 cc 指頭型電離箱(応用技研C-110, CAPINTEC PR-06 C), 平行平板型電離箱(CAPINTEC

PS-033) を使用し、ファントムはポリスチレンを用いた。

3.2 Tissue-peak ratioの測定によるエネルギーの変化

フィルタ全閉状態および全開状態における tissue-peak ratio (以下 TPR と略す) を測定し、それぞれX線エネルギーは吸収線量の標準測定法²⁾に示される次式を用いて計算した。

$$\overline{\text{TPR}} = \text{TPR}(20, 10 \times 10) / \text{TPR}(10, 10 \times 10) \quad (1)$$

$$\lambda = -778.93 + 3660.7 \overline{\text{TPR}} - 5737.0 \overline{\text{TPR}}^2 + 3015.0 \overline{\text{TPR}}^3 \quad (2)$$

$$\lambda' = 0.5493 \exp(0.1787 d_{0.7}) \quad (3)$$

まず、6 MVX線のフィルタ有無によるTPR測定の結果はFig. 6(a)に示すごとくでフィルタなしの場合、 $\text{TPR}(10, 10 \times 10) = 0.782$, $\text{TPR}(20, 10 \times 10) = 0.528$, $\overline{\text{TPR}} = 0.675$ となり $\lambda = 5.4(\text{MV})$, $\lambda' = 5.9(\text{MV})$ であった。

フィルタ有りの場合

Fig. 6 Comparison of TPR for an open field (filter position: +200) and the filtered field (filter position: -200) at a field size of 10×10 cm.
(a) 6 MV X-ray (b) 10 MV X-ray

$\lambda=5.8$ (MV), $\lambda'=6.3$ (MV) となり, フィルタを入れることにより $\lambda:7.4\%$, $\lambda':6.8\%$, X線エネルギーが高くなった。また, 10 MV X線の結果は Fig. 6 (b) に示した。

フィルタなしの場合, $\lambda=11.23$ (MV), $\lambda'=12.62$ (MV) フィルタ有りの場合, $\lambda=12.09$ (MV), $\lambda'=13.83$ (MV) で同様に $\lambda:7.7\%$, $\lambda':9.6\%$ X線エネルギーの上昇がみられた。

3.3 フィルタによる深部線量の変化

照射野 5×10 cm, 10×10 cm, 15×10 cm それぞれについて, 三種類の深さ (ピーク深, 5 cm, 10 cm) においてフィルタの補正係数を測定した。

Fig. 7 に照射野 10×10 cm, 深さ 5 cm, 6 MV と 10 MV のエネルギーで測定した結果を示す。フィルタの入らない状態 (フィルタ位置 +200) の線量を 1 として正規化すると, 6 MV, 10 MV, それぞれ, 他の照射野 5×10 cm, 15×10 cm, 他の深さピーク深 (6 MV: 1.8 cm, 10 MV: 3.0 cm), 10 cm 測定結果も若干ばらつきがあるものの照射野 10×10 cm, 深さ 5 cm のものとほぼ同じであった。

4. 考 察

可変フィルタの制御は現段階のソフトでは照射野の開度により決定され, フィルタの先端と対側のコリメータの開度の位置を一致させることは簡単に設定できるが, これで補正されるのはある限定された範囲に留まり³⁾, 実際においては同じ照射野開度であっても他のリーフの開度による散乱線の影響は種々様々でありより高次の制御が必要と考えられる。

可変フィルタの性質上, フィルタ位置と照射野それぞれ一方を決めると他方に限界があることがわかった。しかし, 一般に照射野による線量変化は小照射野領域で激

しく照射野が大きくなるにつれ緩やかになるためリーフ開度の大きな領域において可変フィルタの制御に破綻をきたすようなことは少ないと考えられる。

種々の報告にあるように今実験においてもフィルタの挿入により TPR の変化がみられた^{4)~8)}。フィルタを用いることにより線質が若干硬化したためと考えられる。

可変フィルタの挿入による TPR の変化は深さ 10 cm において 6 MV で 0.96%, 10 MV で 0.68% であったが, その差がたとえ僅かであったとしてもそのまま投与量の誤差となる。本装置のフィルタは可変であるため TPR もその厚さにより変化すると考えられるがすべてのフィルタポジションに対する TPR を求めることは困難である。

フィルタによる深部線量の変化は 6 MV, 10 MV のそれぞれで照射野, 深さを変化させても一致しているの, 可変フィルタの補正係数はそれぞれ照射野 10×10 cm, 深さ 5 cm のデータで代表できると考えられる。フィルタポジション -40 ~ 0 でフィルタファクタの変化が単調でなくなっているが, これはフィルタの設定範囲外で照射野内にフィルタが均一にかかっていないためであると考えられる。

植田の報告⁹⁾によれば比較的規則的に絞りの開度が階段状に変化した照射野で 6 MV X線において深部線量の差は 5% 以内, 極端に照射野幅を変化させた照射野で 10% 以内であるから可変フィルタの使用により照射野内の線量変化は補正可能である。

今回可変フィルタの基礎的特性を測定したが多分割原体照射の線量の不均一性の原因は二つに分けられる。一つは回転照射のため体輪郭の前後径, 左右径に差があり深さが変化すること, もう一つは絞りの開度により線量に差が出ることである。

可変フィルタではこの両者の補正を考える必要があり, それぞれは全く独立なので, 今後, それぞれ個別に補正の方法を決め, 最終的には統合して補正をすることが必要になる。

5. 結 語

可変フィルタを使用するにあたり, 可変フィルタの制御可能範囲, 基礎的なビームのエネルギー変化およびフィルタファクタを測定した。

1) 可変フィルタ位置と最大可能照射野には, 一方を決めると他方に限界が生じるが, 一般に照射野が大きい場合フィルタを厚くするように設定されるため制御に破綻をきたすことは少ない。

2) 可変フィルタの使用により, 最大フィルタ厚でエネルギーは 6 MV X線, 10 MV X線で 6.8~9.6% 高くなり, TPR の変化は深さが増加するに連れ大きくなるが深さ 10 cm においてそれぞれ 1% 以下であった。

Fig. 7 Changes in the filter factor with the filter position at a field of 10×10 cm and depth 5 cm

3) 可変フィルタによる深部線量の変化はそれぞれ 6 MV, 10 MV X 線のエネルギーでは照射野, 深さを変化させても一致していた。

本研究は文部省科学研究費補助金一般研究(C) (課題番号 006670915) の援助を受けた。なお, 本論文の要旨は第 51 回日本放射線技術学会総会学術大会(1995 年 4 月, 名古屋)において発表した。

参 考 文 献

- 1) 植田俊男: 原体照射法の技術と応用, 日放技学誌, **32**(3), 217-248, (1976)。
- 2) 日本医学放射線学会物理部会編: 放射線治療における高エネルギー X 線および電子線の吸収線量の標準測定法, 通商産業研究社, 東京 (1986)。
- 3) Kobayashi H, Sakuma S, Kaii O, et al.: Computerassisted conformation radiotherapy with a variable thickness multi-leaf filter, Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., **16**(6), 1631-1635, (1989)。
- 4) Wilfred Sewchand, Faiz M. Khan, Jeffrey Williamson,: Variations in depth-dose data between open and wedge fields for 4-MV X-rays., Radiology, 127, 789-792, (1978)。
- 5) 北海道部会治療専門委員会: 4 MV 直線加速器 X 線エネルギーの検討 (第 2 報) ウェッジフィルタが線質に及ぼす影響, 日放技学誌, **42**(6), 770, (1986)。
- 6) Fred G. Abrath, James A. Purdy,: Wedge design and dosimetry for 25-MV X-rays., Radiology, 136, 757-762, (1980)。
- 7) Patomäki LK, Kiuru A: Depth dose distributions in wedge fields of Co-60 beams., Strahlentherapie, 147, 611-618, (1974)。
- 8) 中田 学, 野原弘基, 湯川 豊, 他: 補償フィルタを用いた場合の深部線量, 日放技学誌, **45**(1), 16-22, (1989)。