ノート

小照射野領域における照射野係数のフィルム法による検討

池田 郁夫・池崎 廣海・松本 直素

小松 一之・岩本 俊彦・小柳 正道

杏林大学医学部付属病院放射線科

(論文受理 1994年11月14日)

(最終論文受理 1995年9月22日)

(Code No. 430, 800, 850)

Key words: Field factor, Small field, Film dosimetry, Monitor unitFIELD FACTORS FOR SMALL FIELDS MEASURED BY FILM DOSIMETRY
(THE MOST COMMON WAY.)

IKUO IKEDA, HIROMI IKEZAKI, NAOMOTO MATSUMOTO

KAZUYUKI KOMATSU, TOSHIHIKO IWAMOTO and MASAMICHI KOYANAGI

Department of Radiological Technology, Kyorin University Hospital

Summary

Field factor (F_A) for a small field is able to be obtained by film dosimetry with conception of monitor unit (MU) which provides constant density.

Close agreement between F_A measured by film dosimetry and F_A measured by the ionization chamber and the semiconductor detector, could be obtained.

In this method, F_A is able to be measured without converting film density into an irradiated dose.

This method could also be applied to the measurement of F_A for infinitesimally small irradiated fields.

1. はじめに

Stereotactic radiosurgery は $^{60}\text{Co}\gamma$ 線を使用する Gamma unit と高エネルギー X 線を使用する直線加速器による方法が行われている。

直線加速器による radiosurgery には直径 3 cm 以下の小照射野が用いられている。この小照射野領域ではビーム幅が狭いために側方の 2 次電子平衡が成り立たず、従来用いられている電離箱による線量評価が困難であり、個々の施設において独自に行われているのが現状である。

フィルム法による線量評価は黒化度を吸収線量に変換

する特性曲線が必要になる。しかしフィルムに一定の黒化度を与えるモニター指示値 (monitor unit: 以下 MU) を用いることにより相対的評価が可能になる。

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¹⁾による照射野係数 $F_A(A)$ の定義は(1)式により与えられる。

$$F_A(A) = D_r(A) / D_r(A=10 \times 10) \quad \dots(1)$$

$D_r(A)$ は照射野 A における基準点吸収線量である。照射野 A において一定の基準点吸収線量を与えるために必要なモニター線量単位を MU (A_x) とすると次の(2), (3)式が成り立つ。

$$D_r(A) = MU(A_x) \cdot F_A(A) \quad \dots(2)$$

$$D_r(A=10 \times 10) = MU(A_{10}) \quad \dots(3)$$

ここで、 $D_r(A=10 \times 10) = D_r(A)$ とすると

$$F_A(A) = MU(A_{10}) / MU(A_x) \quad \dots(4)$$

即ち、モニター線量単位 $MU(A_{10})$ により照射野 10×10 cm の基準深の吸収線量と同一吸収線量を照射野 A の基準深に与えるモニター線量単位を $MU(A_x)$ とすると照射野 A の照射野係数 F_A は両者の比として(4)式で表される。

我々は高エネルギー X 線の小照射野領域における F_A の測定について、基準深で一定のフィルム黒化度を与えるための MU を求めることで F_A を算出する方法について検討を行った。

2. 方 法

今回使用した装置および各検出器の規格、仕様は次のとおりである。

- 1) 医用直線加速器：MEVATRON 77DX67
- 2) 線量計：応用技研製
 - ① 電位計 AE-132a
 - ② 電離箱 c-110：0.6 ml
内径 6 mm，長さ 22.3 mm，壁厚 0.059 g/cm²
- 3) ダイレクト線量計：スキャンジトロニクス社製 DPD-510
- 4) ダイオード検出器：スキャンジトロニクス社製 EDD-5：p-Si ダイオード
内径 1.5 mm，長さ 0.5 mm，壁厚 0.405 g/cm²
- 5) フィルム：コニカ CS100E（リスコンタクト）
- 6) 濃度計：マイクロデンシトメータ Konica PDM-5
- 7) ファントム：MixDP（40 cm×30 cm）
- 8) 自動現像機：フジ FPM-1300

2.1 再現性について

同一 MU で照射したときのフィルム黒化度のバラツ

きを調べるために以下の測定を行った。

MixDp ファントム中深さ 3 cm（当施設のピーク深）においてビーム軸に垂直になるようにフィルムを挿入し、線源・フィルム間距離（SFD）を 100 cm とし照射野 3.6 cm ϕ および 10×10 cm において各々 10 枚のフィルムに 10 MV X 線（実効エネルギー：11.0 MV）を用いて照射を行った。次にモニター線量計の信頼性を確認するために同一 MU にて繰り返し照射を行った。照射野 10×10 cm 深さ 3 cm における吸収線量をリファレンス線量計にて測定した。チャンバーは JARP 形を使用した。

2.2 線量比の測定

各照射野において照射したフィルムの同一黒化度を与える MU を求める方法は以下の測定を行った。

MixDp ファントム中深さ 3 cm にビーム軸に垂直になるようフィルムを挿入し、SFD を 100 cm とし、正方形照射野 $10 \times 10 \sim 4 \times 4$ cm，および円形照射野 $3.6 \sim 0.9$ cm ϕ において各照射野ごとに各々 4～5 枚のフィルムに 10 MV-X 線にて照射を行った。 MU は今回 1.3 前後の黒化度が得られるように設定した。なおフィルム測定はすべて裸で行った。黒化度測定はマイクロデンシトメータを用い、 $100 \times 100 \mu\text{m}$ のスリットサイズでスキャンを行った。正方形照射野 $4 \times 4 \sim 10 \times 10$ cm では照射野中心から左右 3 mm 間を測定点にとり、その平均黒化度を測定値とした。円形照射野 3.6 cm ϕ においては線量プロフィール平坦部の平均をとって、 2.7 ， 1.8 ， 0.9 cm ϕ ではピークを測定値とした。黒化度と MU の相関を求めるために最小二乗法により近似式を求め各照射野ごとの黒化度- MU 曲線を作成した。この曲線から黒化度 1.3 における MU を求め、前述の(4)式から線量比を算出した。線量比測定の信頼性を確認するため、電離箱およびダイオードを用いて同様の設定条件で測定を行った。

3. 結 果

3.1 再現性について

Table 1 に同一 MU にて 10 回照射されたフィルムの黒化度の平均値と標準偏差²⁾を示す。正方形照射野 10×10 cm および円形照射野 3.6 cm ϕ における標準偏差は 0.017，0.015 であった。両者の変動係数は共に 1 % であ

Table 1 Standard deviation (SD) of film densities irradiated at the same MU .

Field size (cm)	Film density	
	Mean (n=10)	SD* (n=10)
10 x 10	1.566	0.017
3.6 ϕ	1.496	0.015

* SD : Standard deviation

Fig. 1 Microdensitometer (Konica PDM-5).

りバラツキは極めて少なかった。

次に同一 MU にて照射された吸収線量の10回の指示値の平均値は MU が30, 60, 180では31.61, 63.03, 188.95 cGy であり, 各々の標準偏差は0.032, 0.048, 0.053であった。MU が30, 60および180の場合の変動係数は共に0.1%以内であった。

またリファレンス線量計の測定の前平均値と MU 値の比は MU が30, 60, 180において1.054, 1.051, 1.050 cGy/MU であった。モニター線量計の直線性は良好であった

Table 2 Correlation between monitor unit (MU) and absorbed doses.

MU	AD*		AD/MU***
	Mean (n=10)	SD** (n=10)	
30	31.61	0.032	1.054
60	63.03	0.048	1.051
180	188.95	0.053	1.050

* AD : Absorbed Dose measured by reference dosimeter.

** SD : Standard Deviation.

*** MU : Monitor Unit.

Table 3 MU and density according to field size.

Field size(cm)	MU	Density	Field size(cm)	MU	Density
10x10	50	1.631	3.6 φ	49	1.344
	45	1.296		44	1.203
	40	1.267		38	1.077
	35	1.163		33	0.880
	30	0.973	2.7 φ	50	1.339
8x8	46	1.404		44	1.198
	41	1.319		39	1.067
	36	1.145		33	0.880
	31	0.989	1.8 φ	53	1.352
6x6	47	1.408		47	1.193
	42	1.292		41	1.083
	37	1.148		35	0.913
	31	0.989	0.9 φ	65	1.307
4x4	49	1.430		57	1.146
	44	1.314		50	1.128
	38	1.091		43	0.840
	33	0.991			

Table 4 Output factor measured by film dosimetry, ionization chamber and semiconductor detector.

Field size(cm)	Output factor		
	Film	Ionization chamber	Semiconductor detector
10x10	1.000	1.000	1.000
8x8	0.978	0.981	0.977
6x6	0.950	0.955	0.949
4x4	0.918	0.915	0.915
3.6 φ	0.929		0.917
2.7 φ	0.904		0.900
1.8 φ	0.856		0.851
0.9 φ	0.696		0.696

Fig. 2 Density-MU curves.

Fig. 3 MU-field size curve.

(Table 2). フィルム黒化度および MU における繰り返し測定についての再現性は極めて良好であった。

3.2 線量比の測定

① Table 3 に測定した黒化度, MU の値を示す。

② Fig. 2 の各直線は最小二乗法で求めた直線を示す。

③計算した直線から各照射野における同一黒化度を得るに必要な MU 値を算出した。

黒化度1.3における各照射野と MU との計算結果を Fig. 3 に示す。

フィルム黒化度と MU から算出した線量比と電離箱およびダイオード検出器による測定値の比較を Table 4 に示す。正方形照射野10×10 cm～4×4 cm においてはフィルムと MU から求められる線量比と電離箱およびダイオード検出器により測定された線量比の値は極めて良く一致した。また3.6 cmφ 以下の円形照射野においてもフィルムと MU から求められる線量比とダイオード検出器により測定された線量比の値は極めて良く一致した。

4. 考 察

装置のモニター線量計は加速器ヘッド内に取り付けられていることから照射野の大きさに依存すること無く一

定にX線が照射される。照射野が小さくなり2次コリメータによる後方散乱でMUが増加したとしても増加されたMUとリファレンス線量計による測定値から照射野係数は算出される。

フィルム法による線量測定の見誤差は正規分布に従うと考えられる。すなわち測定回数を増やすことにより、より正確な値が得られることを意味する。しかし実験装置ではない医用直線加速器を利用した測定において測定数を増やすことは装置の寿命や日常の業務に影響を及ぼすなどの問題もある。フィルムによる測定の使用範囲は電離箱で測定不能なナロー・ビーム領域に限定されるが、電離箱を基準とした相対測定とすることで誤差を小さくできる。

尾内等³⁾によるとこの測定に使用したリスコンタクトフィルムのエネルギー依存性は小さいとしている。また、測定深を一定としていることで深部における散乱線寄与による誤差は少ないと考えられる。

フィルム法の見誤差の原因については現像処理中に多いという報告がある⁴⁾。現像時の0.1°の温度差が黒化度に1%の見誤差を与えている。しかし現在の自動現像機は小数点一桁まで温度表示がされており、一定の温度でフィルム操作が行える。また特性曲線からの線量変換を行わないため一日で実験を終了させることで現像日時の違いによる変化は避けられる。この様に黒化度に影響を及ぼす因子を除けば、フィルム法の見誤差は低く抑えられる。

今回のフィルムによる線量比測定は黒化度のバラツキ

を十分考慮にあれば簡素化された方法であり、実務上簡便な測定方法として使用可能であると考ええる。

5. 結 語

1. 同一MUにて照射されたフィルムの黒化度の変動係数は約1%であった。

2. フィルムを使用したMUによる線量比の測定値は電離箱およびダイオードの測定値と極めて良く一致した。

3. フィルムを使用したMUによる線量比測定方法はフィルム黒化度を吸収線量に変換することなく線量比の算出が可能である。

4. フィルムを使用したMUによる線量比の測定は、電離箱およびダイオード等で測定不能な極小照射野の測定に使用可能である。

参 考 文 献

- 1) 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，(1989)。
- 2) 市原清志：バイオサイエンスの統計学，南江堂，東京，(1991)。
- 3) 尾内能夫，都丸禎三，入船寅二，他：写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定法の再検討，日医放会誌，**31**，1224-1236 (1972)。
- 4) ICRU Report 35: Radiation dosimetry, Electron beams with energies between 1 and 50 MeV, 92-95, ICRU Bethesda Maryland, (1984)。