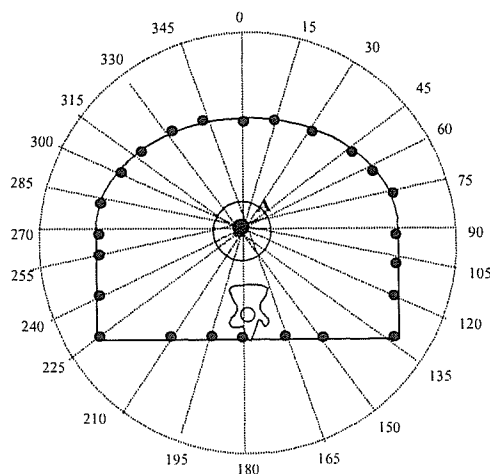


(3) オープン照射野における回転照射法

中部食道に8×5cmの長方形の病巣が存在するとする。腹部の厚さは22cmで、腫瘍の中心は腹壁から11cmの部に存在するとする。この病巣に、リニアックのエネルギー10MVのX線を用い、架台回転範囲360°の回転照射を行う。この場合、入射ビーム軸上の投与線量基準点Aに吸収線量2Gyを照射する場合のモニタ単位数を求める。基準点Aをアイソセンタとする回転照射である。図に示す体輪郭から得られる15°間隔の線束中心軸上の深さは次の通りとする。ただし、左右対称である。

線束角度	深さ cm	TMR
0°	11	0.796
15	11	0.796
30	11.5	0.783
45	13	0.745
60	13.5	0.732
75	15	0.696
90	15.5	0.684
105	16	0.673
120	16.5	0.662
135	16	0.673
150	14	0.720
165	12	0.769
180	11	0.796
平均	13.5	0.733



この照射法における注意点  
1. 絞り開度が8cm×5cmと長方形であり、かつモニ

タ線量計と平坦化フィルタに近い上絞りが狭い

照射野であるため、コリメータ反転効果を考慮しなければならない。

2. 深さの変化に伴うTMRの変化が急激な場合には、深さの平均値に対するTMRを回転照射全体のTMRとすることは問題がある。このようなことによって生じる問題を避けるために、基本的には各深さに対するTMRを求め、それらのTMRの平均値を最終的TMR値とする。

《線束1の照射条件》

照射野（オープン）=8cm×5cm

Dose（一回線量）=200cGy

TF（トレー係数）=1.000

other factors=1.000

重みづけ：1

K（1cGy/MU校正）=1.000

WF（くさび係数）=1.000

○ MU数の計算（A点）

1. コリメータ散乱係数  $S_c$  の算出

$S_c$  の等価正方形の辺  $c_e$  は次式により得られる。

$$c_e = \frac{(1+k)X \cdot Y}{k \cdot X + Y}$$

ここで、 $k$  はコリメータ反転効果補正係数であり、一般的には1.5～2.0程度の値をもつが、加速器のヘッド構造に依存する係数であるので、各装置で実測により最適な  $k$  の値を決定する必要がある。ここでは、仮に  $k=1.7$  とする。したがって、

$$c_e = \frac{(1+1.7) \times 8 \times 5}{1.7 \times 8 + 5} = 5.8$$

となる。これより、 $S_c(5.8)=0.970$  とする。

## 2. ファントム散乱係数 $S_p$ の算出

正方形照射野において求めた全散乱係数  $S_{cp}$  とコリメータ散乱係数  $S_p$  より、次式により  $S_p$  を事前に用意しておく。

$$S_{cp}(s) = S_c(s) \cdot S_p(s)$$

この例題における等価正方形の辺  $s$  は、いわゆる A/P 法 (2A/P) である次式より得られる。

$$s = \frac{2X \cdot Y}{X+Y} = \frac{2 \times 8 \times 5}{8+5} = 6.2$$

これより、 $S_p(6.2)=0.952$  とする。

## 3. 平均 TMR の算出

TMR 等の深部関数に対する照射野はファントム散乱係数における等価照射野と同じ手法によって得られる。そこで、6.2cm×6.2cm の照射野の各深さに対する TMR の値を前述の表の第3欄に示す。この例では左右対称な深さの変化であるので、片側の平均処理が全範囲の平均と同じである。これらの TMR の平均値を最終的な TMR とする。

この例では、深さの平均値 13.5cm に対する TMR と TMR の平均値との間には、0.1%程度 of 相違に過ぎない。その理由は、深さの変化範囲が比較的狭いということである。深さの変化が大きい場合には、ここに示した方法によって TMR を求める方が精度は高い。

以上によって得た値より、モニタ単位数は次式で得られる。

$$\begin{aligned} MU &= \frac{\text{Dose} \cdot 100 \cdot \text{ratio}}{K \cdot S_c(c_e) \cdot S_p(s_e) \cdot \overline{TMR}(s_e, d) \cdot WF \cdot TF \cdot (\text{other factors})} \\ &= \frac{2 \times 100 \times 1}{1 \times 0.970 \times 0.952 \times 0.733 \times 1 \times 1 \times 1} \\ &= 295.5 \\ &= 296 \end{aligned}$$

《キーポイント》

360° 回転照射の場合、15° ごとの 24 方向の多門照射として計算すれば良い。線量計算の深さは角度ごとの深さの平均をとる。また、振子照射の場合も、任意の角度ごとの照射方向の多門照射として計算すればよい。尚、この場合、照射装置の回転速度、線量率は変動がなく、一定していると仮定する。

#### (4) 不整形照射野

鎖骨上窩から前縦郭に対する T 字形照射野（下図参照）による前方一門照射である。不整形照射野はシャドートレー上に載せた鉛ブロックにより形成する。投与線量基準点はビーム中心軸上で皮膚より 5 cm の深さにある。4MV の X 線を用いて、2Gy の投与線量が処方されている。基準点に対するモニタ単位数を求める。

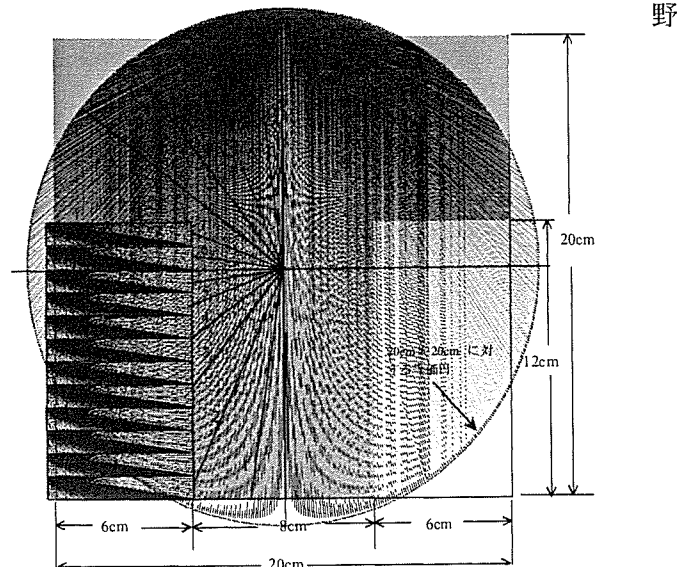
不整形照射野の計算における等価照射

不整形照射野のモニタ単位数の手計算による検証は、等価照射野を正方形ではなく円形で処理するのが合理的である。正方形から円形への変換は次の二つの変換式がある。いずれを用いても良い。

$$r = \frac{2 \ln(1 + \sqrt{2})}{\pi} s = 0.5611s \quad (1)$$

$$2r = 1.123s - 0.00067s^2 \quad (2)$$

正方形の辺  $s$  に対して得られている  $S_{cp}$ 、 $S_p$  および TMR を円の半径  $r$  の関数となるように、上式を用いて変数変換するので、新たな測定は必要がない。



#### 《線束 1 の照射条件》

上下絞り照射野：20cm×20cm

重みづけ：1

基準点の深さ：5 cm

Dose=2Gy

$K(1cGy/MU \text{ 校正})=1.000$

$TF=0.980$

$WF=1.000$

other factors=1.000

#### ○ MU 数の計算

##### 1. コリメータ散乱係数の評価

上下絞りによる照射野サイズは、20cm×20cm であるので、式(8.2.2)より  $k=1.7$  と仮定して、

$$c_e = \frac{(1+k) \cdot X \cdot Y}{k \cdot X + Y} = \frac{(1+1.7) \times 20 \times 20}{1.7 \times 20 + 20} = 20$$

の等価正方形で評価する。この例では元々 20cm×20cm の正方形であったので、上記のように計算するまでもなく等価正方形の辺は 20cm であることが明らかである。コリメータ散乱係数  $S_c$  のデータより、

$$S_c(c_e) = S_c(20) = 1.018$$

である。

##### 2. ファントム散乱係数の評価

まず、図に示した T 字形照射野を、基準点のあるコリメータ回転軸を中心にした  $15^\circ$  間隔の放射状直線によって扇形に分割する。この放射状直線の中心から照射野端までの距離  $r$  を求める。この不整形照射野は左右対称であるので、この作業は片側のみで十分である。各半径  $r_i$  での  $S_p$  を求め、その平均を T 字形照射野の  $S_p$  とする。結果を下記の表に示す。T 字形照射野の  $S_p$  は、この表の平均  $S_p$  であるので、1.012 となる。

角度	半径 $r_i$	$S_p(r_i)$	$TMR(r_i, d)$	$TMR(r_i, d) \cdot S_p(r_i)$
0°	10	1.025	0.913	0.793
15	10.6	1.027	0.915	0.796
30	10.3	1.026	0.914	0.793
45	6.8	1.008	0.898	0.745
60	5.3	0.999	0.887	0.717
75	4.0	0.989	0.877	0.689
90	4.0	0.989	0.877	0.689
105	4.0	0.989	0.877	0.689
120	4.0	0.989	0.877	0.689
135	11.2	1.030	0.916	0.802
150	10.8	1.028	0.915	0.798
165	10.3	1.026	0.914	0.793
180	10	1.025	0.913	0.793
総和		13.150		9.786
平均	7.8	1.012	0.899	0.753
$\overline{TMR}(r, d) = \frac{\sum [TMR(r_i, d) \cdot S_p(r_i)]}{\sum S_p(r_i)}$				0.744

### 3. TMR の算出

不整形照射野の TMR はファントム散乱係数において行った照射野の扇形分割処理を用いて、次式によって得られる。

$$\overline{TMR}(r, d) = \frac{\sum_{i=1}^n [TMR(r_i, d) \cdot S_p(r_i)]}{\sum_{i=1}^n S_p(r_i)}$$

したがって、上記の表の値を用いると、

$$\overline{TMR}(r, d) = \frac{9.786}{13.150} = 0.744$$

となる。

### 4. MU 数の計算

以上の処理によって得られた値をもとに、次のように T 字形照射野の MU 数は得られる。

$$\begin{aligned} MU &= \frac{\text{Dose} \cdot 100 \cdot \text{ratio}}{K \cdot S_c(c_e) \cdot S_p(r) \cdot TMR(r, d) \cdot WF \cdot TF \cdot (\text{other factors})} \\ &= \frac{2 \times 100 \times 1}{1 \times 1.018 \times 1.012 \times 0.744 \times 1 \times 0.980 \times 1} \\ &= 266.3 \\ &= 266 \end{aligned}$$

### 《キーポイント》

不整形照射野の計算において A/P 法に準じた面積と周囲長を、不整形の輪郭から単純に求めるような

ことをしてはならない。上記のような散乱線の変化を考慮した手法を用いなければならない。ここに示した手法は一見複雑な作業を要求するように見えるが、 $S_p$ とTMRを円形照射野の半径の関数に変換しておき、それを多項式回帰で推定する形式にしておけば、単純なスプレッドシート（Excel）によって簡単に求めることができる。

不整形照射野の遮蔽領域が広い場合には、上記1で示したコリメータ散乱係数の評価を行うことが必須となる。これは鉛ブロックや第3段マルチリーフコリメータを用いた不整形照射野について云えることである。

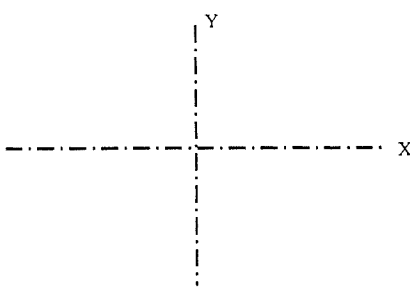
参考9 X線治療におけるモニタ単位数の検証

9.1 手計算による方法

手計算用			
治療計画システムのモニタ単位数の検証シート (X線固定オープン照射用)			
患者名			
患者ID		治療計画ID	
検証計算の担当者			
検証日			
ビーム #			
上下絞り開度	下絞り		上絞り
照射野サイズ (cm)	I1=	I2=	I1= I2=
部分遮蔽の無視	有		無
等価正方形の辺 (cm)	(加速器Aのコリメータ反転効果補正係数 $k=1.7$ )		
コリメータ散乱係数 $S_c$ の $C_p$		ファントム散乱係数 $s$ の $S_p$	
コリメータ散乱係数 $S_c$		ファントム散乱係数 $s$	
深さ (cm)	物理的深さ		実効深
TMR	物理的深さ		実効深
基準点線量 (Gy/fx)			線量加重比
くさびフィルタ	有・無	くさび角度	° くさび係数
シャドートレー	有・無	トレイ #	トレイ係数
モニタ単位 (MU) 数/門	$MU = \frac{\text{Dose} \cdot 100 \cdot \text{ratio}}{K \cdot S_c(c_e) \cdot S_p(s) \cdot TMR(s,d) \cdot WF \cdot TF \cdot (\text{other factors})}$		
RTPSのMU数	不均質補正あり		
	不均質補正なし		
RTPSとの差 (%)	不均質補正あり		
	不均質補正なし		
採用MU数			
コメント			
確認者		確認日	

RTPSと手計算のMU数の差 (%) のデータ解析用パラメータ					
照射野形状	1	2	3	4	
(いずれかを囲む)	オープン	正方形	上絞り狭い長方形	下絞り狭い長方形	
治療部位		不均質の程度	1. 多い・2. 少ない	斜入	有・無

9.2 実測による方法

実測用					
治療計画システムのモニタ単位数の検証シート (X線固定オープン照射用)					
患者名			処方線量 cGy		
患者ID			治療計画ID		
検証計算の担当者			検証日		
ビーム #			線質		
上下絞り開度	下絞り			上絞り	
照射野サイズ(cm)	X1=	X2=	Y1=	Y2=	
部分遮蔽	有・無	鉛ブロック	有・無	MLCファイル名	
測定深部	cm (Farmer 形電離箱の幾何学中心)				
ファントム	水・水等価ファントム	水等価固体ファントム補正	有・無	補正の内容	
照射野形状概観と線量計配置図					
測定点	軸上・軸外	測定点から直近の照射野端までの距離			cm
電位計			電離箱		
$N_{DS}$	$N_c$	$k_{D,X}$	$k_Q$		
$k_{pol}$	$k_s$	$k_{elec}$	$k (cGy/MU)$		
設定モニタ単位数 (MU) 数	RTPSのMU数		手計算のMU数		
RTPSのMU数での測定					
測定値 $M_{raw}$ nC				$M_{raw}$	
手計算のMU数での測定					
測定値 $M_{raw}$ nC				$M_{raw}$	
温度 °C		気圧 hPa	$k_{TP}$		
RTPSのMU数による吸収線量 cGy			$Dose = \overline{M}_{raw} \cdot k_{TP} \cdot k_{pol} \cdot k_s \cdot k_{elec}$ $\times N_c \cdot k_{D,X} \cdot k_Q \cdot K$		
手計算のMU数による吸収線量 cGy					
処方線量とのdif. %	RTPSのMU数	%	手計算MU数	%	

## 参考10 指示票、照射録の書式例

指示箋と照射録は、照射部位ごとに作成し、同一場所にファイリングしなければならない。この記録様式には様々な形式があるが、個々に施設に合ったものを用いる必要がある。以下に、代表例を参考に示す。

### 10.1 指示票の記載例

指示票の内容	
ア) 各科記入項目	
1)	患者ID
2)	患者氏名
3)	性別
4)	年齢
5)	生年月日
6)	治療登録番号
7)	臨床診断名と診断者
8)	組織診断（決定・検査中・未採取）、標本、病理番号、診断者
9)	経過処置
10)	治療依頼事項
ロ) 放射線治療記入項目	
1)	放射線治療実施の有無
2)	線種・線質
3)	方法1 <input type="checkbox"/> 1門照射 <input type="checkbox"/> 対向2門照射 <input type="checkbox"/> 非対向2門照射 <input type="checkbox"/> 3門照射 <input type="checkbox"/> 4門照射 <input type="checkbox"/> 運動照射 <input type="checkbox"/> 原体照射
4)	方法2 <input type="checkbox"/> Conventional <input type="checkbox"/> Hyperfractionation
5)	線量      [            ] Gy/1回
6)	総線量      [            ] Gy/ [            ] 回/ [            ] 週



10.2 照射録の記載例

放射線治療録	
治療登録番号：	_____
患者ID：	_____
患者氏名：	_____
生年月日：	_____
性別：	男      ・      女
治療部位名：	_____
治療計画年月日：	_____
治療開始日：	_____
担当医師：	_____
担当技師：	_____
品質管理責任者：	_____

10.3 線量計算の書式例

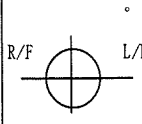
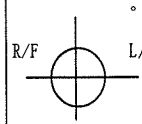
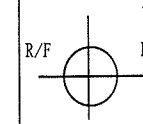
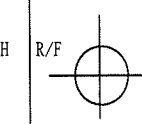
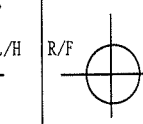
線量計算

ビーム番号					
装置	第1・第2	第1・第2	第1・第2	第1・第2	第1・第2
線種	X・E	X・E	X・E	X・E	X・E
線質	MV (MeV)	MV (MeV)	MV (MeV)	MV (MeV)	MV (MeV)
投与線量/beam	cGy	cGy	cGy	cGy	cGy
不均質補正	無・有 ( )	無・有 ( )	無・有 ( )	無・有 ( )	無・有 ( )
物理的深さ	cm	cm	cm	cm	cm
実効深	cm	cm	cm	cm	cm
絞り照射野	X1= cm X2= cm Y1= cm Y2= cm	X1= cm X2= cm Y1= cm Y2= cm	X1= cm X2= cm Y1= cm Y2= cm	X1= cm X2= cm Y1= cm Y2= cm	X1= cm X2= cm Y1= cm Y2= cm
等価正方形の辺 (cm)					
出力係数 ( $S_c \times S_p$ )					
TMR					
くさび係数					
トレー係数					
その他係数					
RTPSのMU数					
手計算のMU数					
採用MU数					
確認者サイン					

※手計算シートによる計算後、記入すること。

10.4 装置セットアップ情報の書式例

装置セットアップ情報

ビーム番号					
線種・線質					
絞り照射野	X1=	cm	X1=	cm	X1=
	X2=	cm	X2=	cm	X2=
	Y1=	cm	Y1=	cm	Y1=
	Y2=	cm	Y2=	cm	Y2=
SAD/SSD					
SAD/SSD距離					
固定/ARC					
固定ビーム角度					
					
Arc角度	~	~	~	~	~
コリメータ角度	°	°	°	°	°
トリミング	無・Pb・MLC	無・Pb・MLC	無・Pb・MLC	無・Pb・MLC	無・Pb・MLC
シャドートレイ	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
MLCファイル名					
マイラー板	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
Center spine 板抜き	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
くさびフィルタ	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
くさびの種類	物理・Dynamic	物理・Dynamic	物理・Dynamic	物理・Dynamic	物理・Dynamic
くさび角度					
Insert field (電子線)					
ポークス	mm	mm	mm	mm	mm
モニタ単位数					

## 10.5 患者セットアップ情報の書式例

患者セットアップ情報

体位	仰臥位・腹臥位・右下側臥位・左下側臥位	枕番号	
腕	体側・胸・腹・挙上	抑制	無・胸・腹・大腿・下肢・
膝	膝伸展・膝屈曲	固定具	
足	足枠・フリー	その他	介助・ <input type="checkbox"/> 要 <input type="checkbox"/> 不要
頭	正面・右向き・左向き		<input type="checkbox"/> 独歩 <input type="checkbox"/> 車椅子 <input type="checkbox"/> ストレッチャー

○患者セットアップ写真

《治療計画時》

《初回照射時》

《治療部位俯瞰》

《注意事項（申し送り事項）》

10.6 照射記録の書式例

照射録

患者名		患者ID	
プランID		照射部位	
1回線量		総線量	Gy
化学療法	有 ( 時間以内) 無	化学療法終了時刻	

年 (1回/1日・2回/1日) 照射日: 月・火・水・木・金

総線量		Beam 1		Beam 2		Beam 3		Beam 4		署名		担当医名
cGy		cGy		cGy		cGy		cGy				( )
回数	月日	1回線量	累積線量	1回線量	累積線量	1回線量	累積線量	1回線量	累積線量	技師	医師	備考
1	/											
2	/											
3	/											
4	/											
5	/											
6	/											
7	/											
8	/											
9	/											
10	/											
11	/											
12	/											
13	/											
14	/											
15	/											
16	/											
17	/											
18	/											
19	/											
20	/											
21	/											
22	/											
23	/											
24	/											
25	/											
26	/											
27	/											
28	/											
29	/											
30	/											
31	/											
32	/											
33	/											
34	/											
35	/											

## 参考11 放射線治療患者の被ばく事故の危険度の判断基準の参考値

クラス I の危険とは、USA FDA によって致死性的あるいは重大な障害の原因となり得る状況として定義されたものである。AAPM TG35<sup>36)</sup>では、タイプ A の危険は生命を脅かすような合併症を生じさせる場合、タイプ B の危険は容認できないような治療結果（合併症や腫瘍の制御ができない場合）が発生する可能性がある場合である<sup>36)</sup>。判定基準は、1 回線量 2Gy で総線量 40-60Gy の代表的な線量配分にあてはめており、1 週間以内に治療計画の誤りや治療機器の誤動作が発見できるように週ごとの品質管理が行われているという仮定に基づくものである。

今後、わが国においても、誤照射による放射線治療患者の被ばく事故の危険度の判断基準、および放射線治療過誤の基準等を放射線治療関連学会等で検討する必要がある。また、これらの判断基準は、わが国の放射線治療の実情に合わせ、臨床的かつ物理的な量を判定指標に取り入れて作成する必要がある。

---

### AAPM TG-35 における放射線治療の危険度の基準

---

● Class I: 死亡または重篤な障害をもたらす事故

- Type A : 患者に重篤な合併症を発症させる場合  
要注意臓器の耐容線量の 25% 以上の過剰照射の場合に該当
- Type B : 患者の生命の危険性はないが、生命に合併症をもたらす場合、  
及び腫瘍の制御が不能となる場合  
各臓器の耐容線量の 5~25% の過剰照射の場合に該当  
過少照射の場合にも該当
- B-1 総線量と治療部位から、重篤な障害が発生しうると考えられる場合
- B-2 総線量と治療部位から、重篤ではないが障害が発生しうると考えられる場合
- B-3 障害が発生しうると考えられたが、障害が発生する前に、原疾患のために死亡したと考えられる場合

● Class II: 重篤な障害のリスクが低い事故

---

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

著 書

該当するものではありません。

雑 誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表雑誌	巻 号	ページ	出版年
	該当するものではありません。				

#### IV. 研究成果の刊行物

該当するものではありません。