

# 電子線振子照射法の検討

岡山大学医学部附属病院中央放射線部（部長：青野要）

松島紀志夫・小栗宣博・若狭弘之  
中桐義忠・三上泰隆

岡山大学医学部放射線医学教室（主任教授：青野要）

平木祥夫・木本真・橋本啓二  
青野要

岡山大学医学部皮膚科学教室（主任教授：野原望）

藤本巨・小玉肇

（昭和59年10月30日受稿）

**Key words**：放射線治療技術，電子線振子照射法，  
ATL

## 緒言

電子線治療を行う場合，高エネルギーX線及び<sup>60</sup>Co- $\gamma$ 線治療と異なり，照射野は，コーンの大きさによって限られてしまう<sup>1)</sup>という欠点がある。悪性腫瘍の皮膚転移・悪性リンパ腫等，広範囲な照射部位を必要とする場合，通常は何門かに分割して照射しているが，照射野の継ぎ目の線量分布は不均一となり，高線量域や低線量域を生じることが多い。更に弯曲した部位では，ビームの斜入による切線状照射及びSSDの違いによる線量分布の不均一も生じる。われわれは，これらの問題点を解消する1方法として，電子線による振子照射法を試みた。

電子線振子照射法については，既に，菊池ら<sup>2),3)</sup>の報告があるが，照射野をスリット状にする菊池らの方法によると，当院の治療装置では，装置の回転速度の限界及び往復照射が不可能等の理由により，1行程に照射できる線量はかなり少ないものとなって，目的とする線量を照射するのに長時間を要し，患者の苦痛，操作の煩雑

さは大きくなる。

そこで，われわれは既製の固定照射用コーンを短く切った照射野幅6.5cmの回転照射用コーンを作成し，1行程での照射線量を多くした。また，照射野幅を大きくしたことによる振子照射野両端に生じる線量の不均一性は，厚さ5cmの粘土製ブロックを照射野辺縁外側に置くことにより補正した。

線量分布図作成については，治療計画装置 (Modulex) に固有の基礎データを入力した後，CT像により体輪郭を抽出し，固定多門照射として，振子照射に近似させた。

## 方 法

### 1. 使用装置及び器具

照射装置；東芝製 Linac LMR-15A  
治療計画装置；CMS社製 Modulex  
線量測定器；Ionex - 2500/3  
チェンバー；0.6 cc 指頭型電離槽  
0.03 cc シャローチェンバー  
ファントム；Mix-DP, 水, 小麦粘土

濃度測定器；SAKURA PDS-15, PDI-10

自動現像機；SAKURA QX-1200

フィルム；Kodak XV-2 Ready Pack

## 2. 振子照射の為の手順

### a) コーン・ブロック

電子線治療の際、X線及び $\gamma$ 線の場合と異なり照射口にコーンを取り付けなければならない。通常、コーンの長さは30 cmで、これを取り付けるとSSD 90 cmとなり、振子照射を行なう場合、回転中心は100 cmなので、振子中心は体表面近くになり、線量分布は振子中心のまわりにhot spotを生じる。電子線振子照射の目的は、体表面近傍をTargetとし、照射野全体に線量分布を均等にする事で、体内深部にhot spotを生じてはならない。その為には、振子中心を深くしなければならないが、われわれは、既製のコーンを15 cmの長さに切り、切り口で照射野が、6.5 cm $\times$ 13.3 cmの回転用コーンを作成した(図1)。このことで振子中心は深くなり、装置の焦点回転中心間距離100 cmをとっても、コーンが患者皮膚に接触する恐れもなくなった。次に、振子野の両端の線量分布を均等にする為、粘土製ブロックを作成し照射野辺縁外側に置いた。使用エネルギー(10 MeV)を考慮して、ブロックの厚さは5 cmとした(図1)。

### b) コーンの広がり平坦度

前述の様にコーンを短くしたための影響をそ

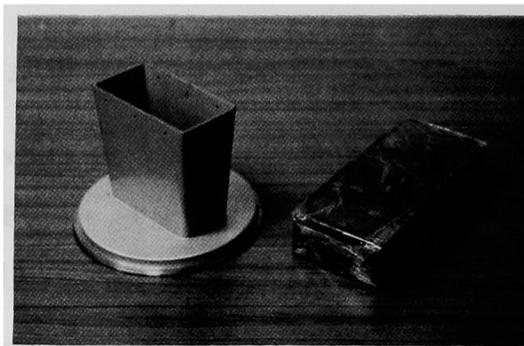


図1. 回転照射用コーンと粘土製ブロック

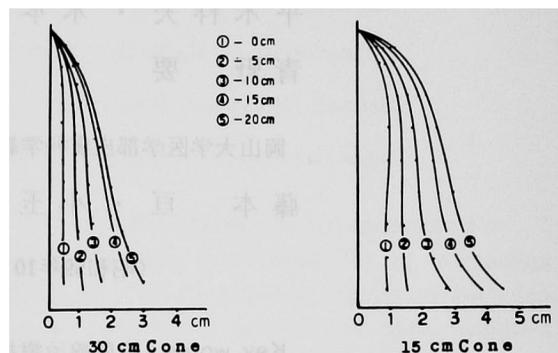


図2. 電子線ビームの照射野外への広がり比較

の広がり平坦度について調べた。従来のコーンと比較し、短く切ったコーンは、皮膚面の80%領域で約1 cm広がっており、臨床的にGT方向についてやや欠点となるが、LR方向つまり、振子方向については、両端にブロックを置くので問題ないと思われる(図2)。

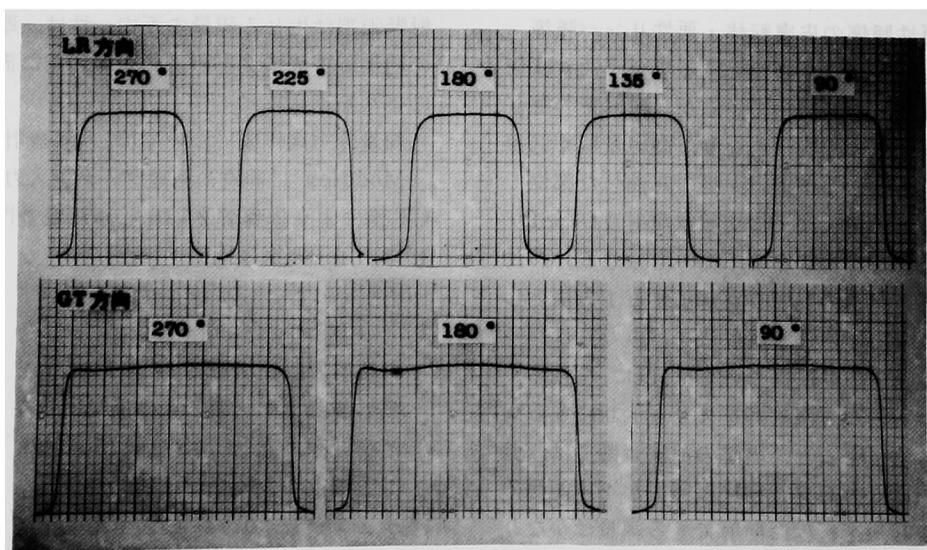


図3. 電子線ビームの平坦度

また、平坦度では、LR 方向、GT 方向とも、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $225^\circ$ 、 $270^\circ$  のどの照射方向についても、コーンを短くしたことによる影響は見られなかった(図3)。

#### c) 照射装置の R/DEG のバラツキ

照射装置で回転照射を選択すると、線量率は  $200 \text{ R/min}$  と一定になり、回転速度即ち R/DEG で照射線量はコントロールされる。そこで、装置の R/DEG の機械的バラツキを調べた。R/DEG スイッチの目盛を  $0.5 \sim 5.0 \text{ R/DEG}$  までの間を任意の角度(例えば、 $90^\circ \sim 180^\circ$ )振り、その時の線量を振り角で除して、真の R/DEG を求めた。それを各々、10回ずつ繰返し、機械的バラツキを調べた(図4)。図4において、実線はスケールと測定値が1対1に対応する線であるが、実測値はこの線よりはずれる傾向にある。各スケールに測定点を3個記しているが、10回繰返し測定した値について、上から最大値、平均値、最小値を示したもので、最も大きなバラツキは  $\pm 0.05 \text{ R/DEG}$  であった。

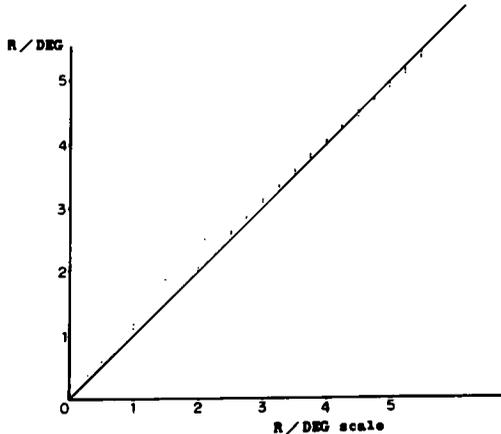


図4. 照射装置の回転速度の機械的バラツキ

#### d) 装置の R/DEG 目盛と線量の関係

次に、この R/DEG 目盛と線量の関係をフィルム法で求めた。使用したフィルム Kodak XV-2を Mix-DP の校正深<sup>5)</sup>( $10 \text{ MeV}$  電子線では  $1.5 \text{ cm}$ ) の位置にはさみ、線量特性を求めた(図5)。次に人体を想定した円筒形ファントムにフィルムを巻きつけ、その上に  $1.5 \text{ cm}$  厚の小麦粘土ボラスをのせた。当院の照射装置の電子線エネルギーの下限が  $10 \text{ MeV}$  と高いため、ボラス

を置き、フィルム表面近傍に最大線量域がくるようにした。そして、ボラス表面までの距離即ち SSD を  $81 \text{ cm}$  とし、 $0.5 \sim 5.0 \text{ R/DEG}$  の間を  $0.5 \text{ R/DEG}$  毎に振子照射を行ない、フィルム濃度を測定し、線量特性曲線より線量変換した(図6)。図6より、仮に SSD  $81 \text{ cm}$ 、深さ  $1.5 \text{ cm}$  の所に  $100 \text{ cGy}$  照射したい場合、装置の R/DEG 目盛を 2.94 に合わせればよいことになる。又、1行程で最大  $208 \text{ cGy}$  の照射が可能であった。

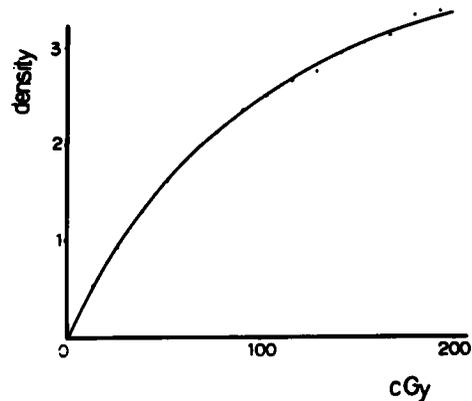


図5. フィルムの線量特性

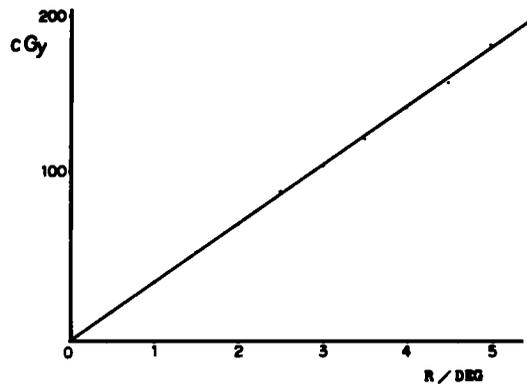


図6. 回転速度と線量の関係

### 3. 治療計画装置へのデータ入力

図7は治療計画装置 Modulex によって、線量分布図を描かせるに必要な線源データの1つである OCR (Off Central Ratio) データを得るための実験配置図である。Mix-DP ファントムにフィルムをはさみ、ビームを垂直に投射する<sup>6),7)</sup>。表面から  $3 \text{ cm}$  の深さまでは、 $0.5 \text{ cm}$ 、以下  $1 \text{ cm}$  間隔で照射し、前述の線量特性と同

時現像した。現像された資料を1枚ずつマイクロデンシトメータで濃度スキャンし、得られた濃度分布曲線を線量変換してOCRデータとした。

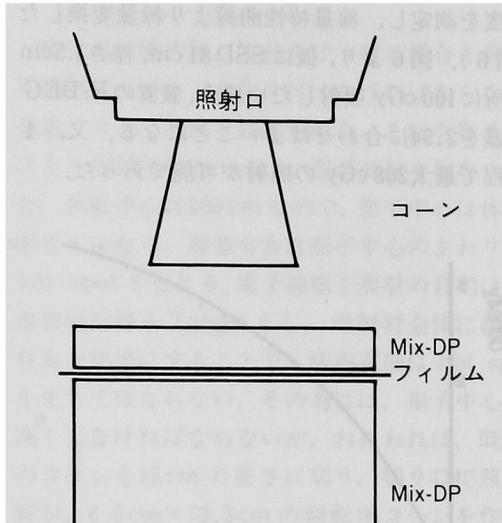


図7. データ測定の設定図

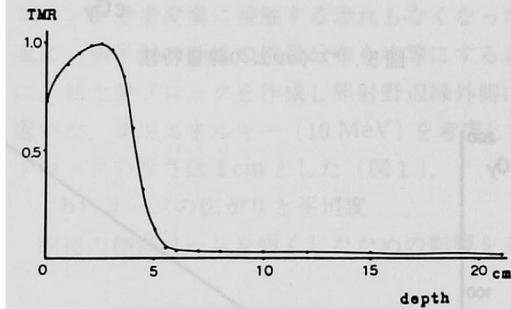


図8. TMR データ

次に、0.03 cc シャローチェンバーを用いて TMR を求めた(図8)。通常、Modulexで電子線の治療計画をする場合、OCRとPDDを用いたSSD法で行なうようプログラミングされているが、振子照射法ではSSDが一定でなく、振子中心が100 cmと固定されているので、OCRとTMRを用いたSAD法で行なう方が便利である。従って、電子線のデータを光子のデータとして、新たに1つのマシンタイプコードを作成し、OCRとTMRのデータを入力した。図9はコンピュータがこのデータをもとに計算し、打ち出したエネルギー10 MeVの等線量曲線である。

4. 振子照射法の実際と線量分布

a) 振子照射法の模式図

図10は、われわれが今回試みた振子照射法の模式図である。まず振子野両端の外側に前述の

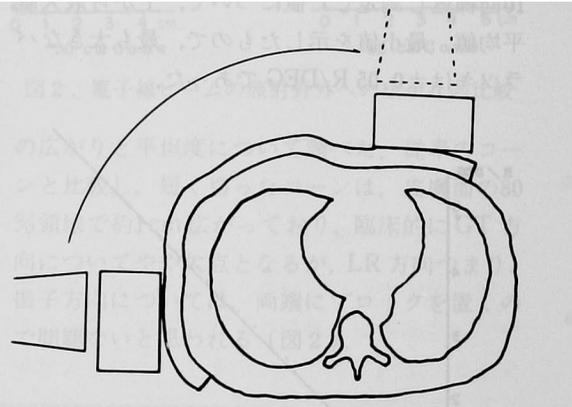


図10. 振子照射の模式図

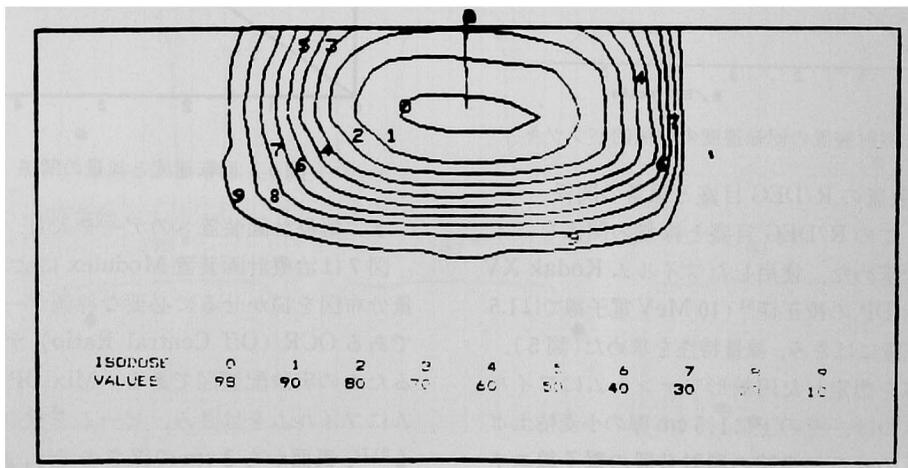


図9. 等線量曲線

粘土製ブロックを置き、ビームを左下のブロックで完全に隠れた位置から、右上のブロックで完全に隠れる所まで振りさせ、振り野両端に cold spot が生じないようにした。焦点からコーンの先端までが75 cm, コーンとブロックの間が1 cm, ブロック厚が5 cm なので, SSD は81 cm となる。焦点回転中心間距離は100 cm であるので, 振り中心は皮膚表面より深さ19 cm の点とした。つまり, 両ブロックの位置で, それぞれ深さ19 cm の点に振り中心を決定し, 振り角度を求めた。

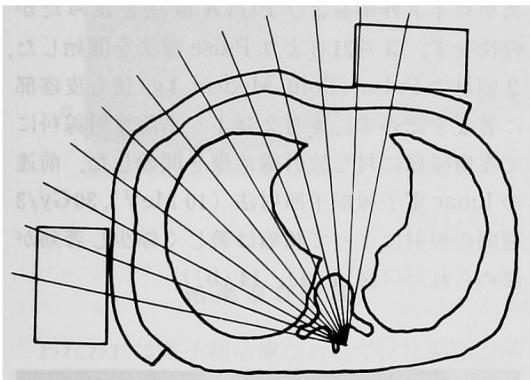


図11. 治療計画時の回転中心とビームの方向

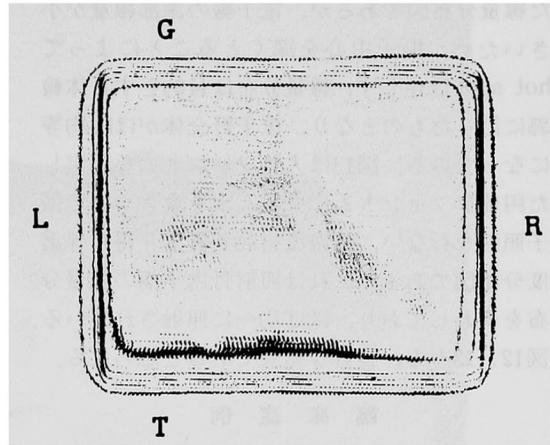


図13. フィルムによる表面の濃度分布図

b) 線量分布図

治療計画装置を用いて線量分布図を描かせるためには, 患者の皮膚表面の照射したい範囲の両端にビニールパイプを貼布してCT スキャンを行ない, 患者の体輪郭を抽出する必要がある。当院の治療計画装置 Modulex には, 振り照射用プログラムがないので, 1 門9°ずつの多門照射を設定し, 振り照射の近似として線量分布を作成した(図11)。図12は Modulex が打ち出し

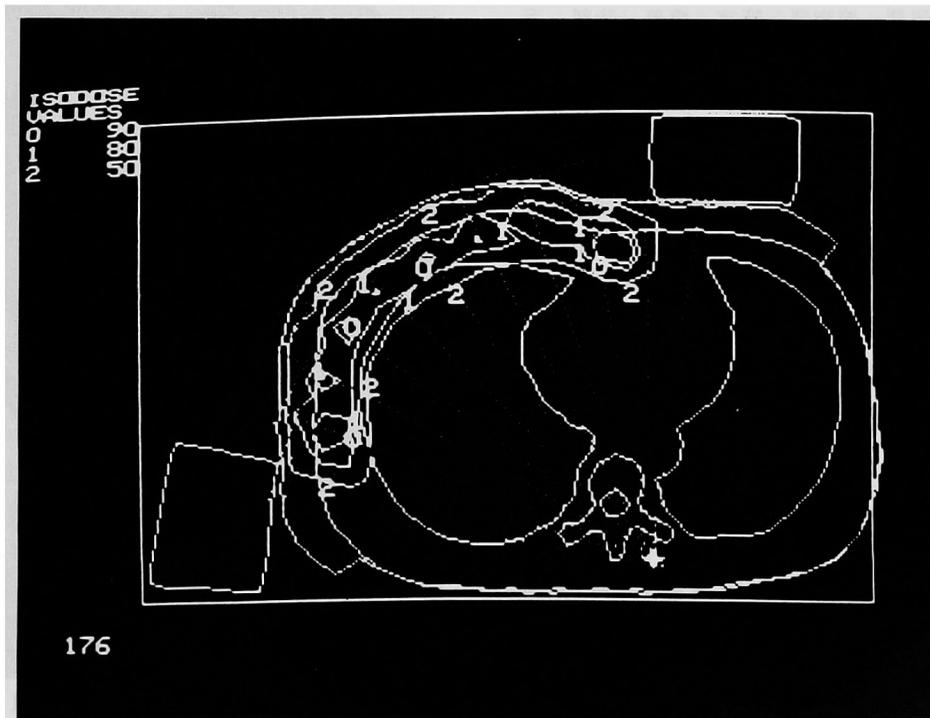


図12. 線量分布図

た線量分布図であるが、電子線の深部線量が小さいため、振子中心を深くとることによって hot spot は生じず、線量分布は目的とする体輪郭に沿ったものとなり、振子野全体がほぼ均等になっている。図13は人体ファントムを想定した円筒形ファントムにフィルムを巻きつけて振子照射を行ない、等濃度自記装置より得た等濃度分布図である。これは照射野内平面の線量分布を表わしており、ほぼ均一に照射されている。図12、13とも、良好な結果であると思われる。

### 臨床症例

43歳，女性，宮崎県北諸県郡三股町生まれ，  
家族歴；特記すべきことなし

既往歴；子宮筋腫の疑いで膣上部切断術

現病歴；昭和58年12月初め，左側背部に大豆大の紅色小結節が出現。徐々に増大し，12月末には胸部にも数個同様疹を認めるようになった。某医にて診断不明といわれ放置していたところ，腹部，腰部，腋窩などにも同様疹が出現してきたため，昭和59年2月24日岡大附属病院皮膚科初診。皮膚生検により悪性リンパ腫と診断され，3月7日同科入院。

現症；頸部，前胸部，腋窩，腹部，背部，下腿後面に大小の結節，紅色丘疹，浸潤性紅斑が散在。表面は平滑で，びらん，潰瘍，痂皮などを伴わない。左側背部には基底部65×80mm，高さ約35mmの硬い赤色腫瘤あり，表面平滑だが中央はや、陥凹し，同部は暗紫紅色調を呈しわずかに痂皮を附着する。左腋窩に示指頭大のリンパ節を2個触知するほかに表在リンパ節を触知しない。肝脾腫も認めない。尚，皮疹部は軽い痒痒を伴うものもあるが，他に自覚症状なし。

入院時検査成績；WBC 4200/ $\mu$ l (Sg 40%，St 6%，Ly 41%，Mo 10%，Eos 3%)，RBC 490×10<sup>4</sup>/ $\mu$ l，血沈9/18，尿所見，血液生化学，免疫グロブリンはいずれも正常範囲。T細胞83%，B細胞8%。ツ反陰性。DNCEB感作不成立。寒冷凝集128倍(64倍まで正常)。ATLA抗体陽性。骨髓生検で異常細胞なし。胸部レ線，Gaシンチ，骨シンチで内臓，骨などに異常陰影，異常集積を認めなかった。

組織学的所見；左前胸部結節；真皮浅層から皮下組織にかけて異型性のあるリンパ球様細胞の稠密な浸潤増殖がみられ，一部で表皮向性も認められた。左腋窩示指頭大リンパ節；異型性のあるリンパ球の浸潤は認められなかった。尚，皮膚に浸潤する腫瘍細胞の表面形質の検索では，Leu 1および Leu 3A，3B で広汎に陽性，Leu 2 および Leu 4 で少数に陽性であった。

診断；Adult T-Cell Leukemia-Lymphoma  
(ATL)

経過および治療；入院当初より皮疹部に対し，ステロイド外用およびPUVA療法を試みたが軽快せず，3月21日よりPulse療法を開始した。2回目のPulse (Solu Medrol 1g)後も皮疹部に著変を認めず，4月2日より当院放射線科にて皮膚腫瘤に対し放射線治療を開始した。前述のLinac電子線振子照射法(10 MeV)，30Gy/3週間の照射によって腫瘤は著しく縮少し著効が認められた(図14(a)，14(b))。

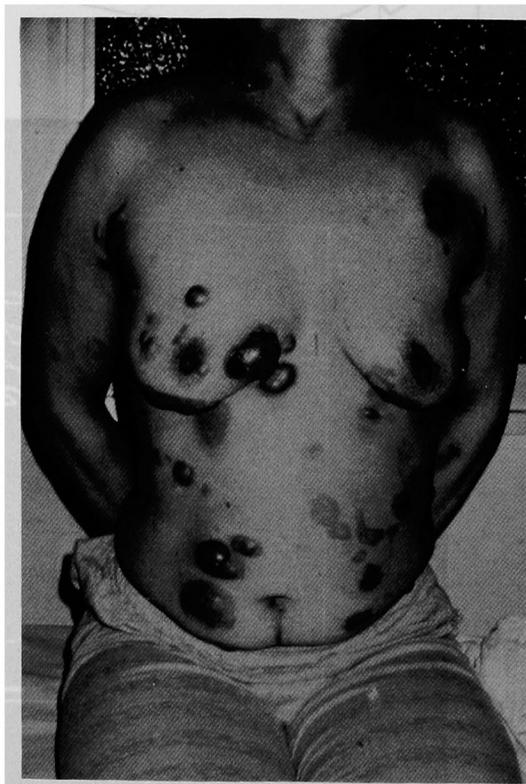


図14. (a) 臨床例 (照射前)

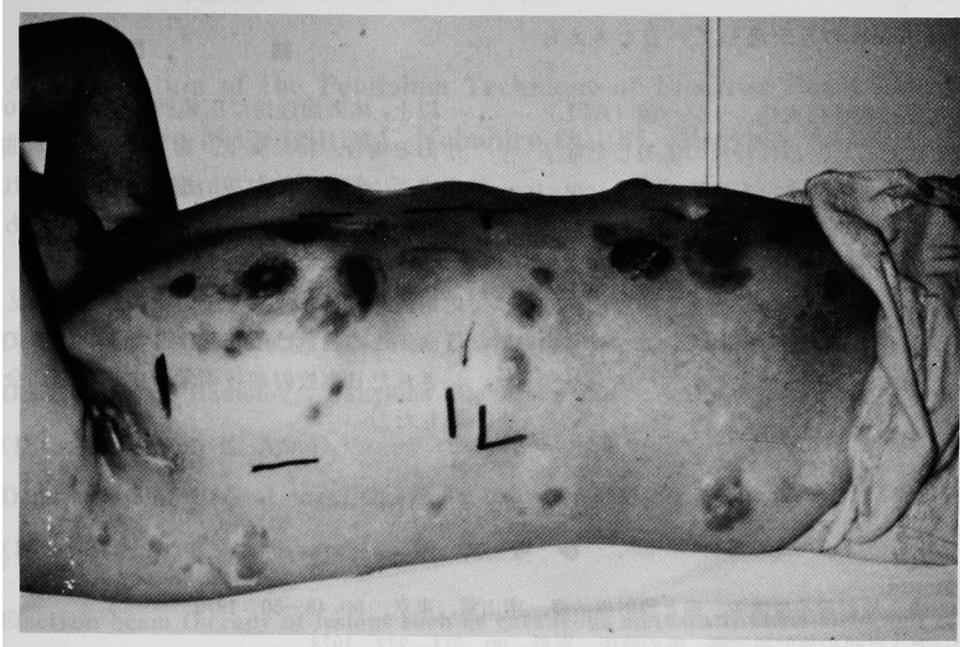


図14. (b) 30 Gy 照射後

### 結果及び考察

われわれは電子線治療において、広範囲な照射部位、特に弯曲した部位に対して、電子線振子照射法を試み、それに伴う種々の問題点について検討した。

1) 電子線振子照射においては、Target volume が皮膚表面近傍に有り、広範囲に亘って均等な線量を照射する必要があること、及び回転中心に hot spot が生じないようにするために回転中心を深くする必要がある。従って電子線コーンは患者に接触しないよう、短くしなければならない。われわれは長さ30 cm の固定照射用コーンを15 cm に切ったものを使用した。

2) 作成したコーンの線束の広がり、平坦度について30 cm コーンと比較した結果、広がりには15 cm の方が80%線量域で約1 cm 大きかった。又、平坦度は良好で回転による方向性の影響は見られなかった。

3) 当院で使用している東芝製ライナック LMR-15A は振子照射の Treatment switch はなく、回転照射のある角度からある角度までの1行程をもって振子照射とする機構である。従って、1行程で照射可能な線量は照射野幅が大きい程多くなる。われわれは幅6.5 cm のコーン

を使用した。1行程最大208 cGy の照射が可能であった。また、コーンの幅が大きくなると、振子野両端部の線量は少なくなり cold spot となるため、照射野の外側に5 cm 厚の小麦粘土製ブロックを置き、振子野内の線量の均一化をはかった。東北大菊池らは電子線ビームをせまく、スリット状にしているが、これによると振子野両端の線量は均一化されるが、当院においては照射装置の機構の違いから自動的な往復運動は不可能で、手動で何行程もくり返すことは患者の苦痛が大きくなり、操作の煩雑さも増す。

4) R/DEG の機械的バラツキについては、スケールと実測値には若干の誤差を認めたが、くり返し操作による回転速度のバラツキは非常に小さく、スケールと照射線量の関係を実験的に求めることで、臨床上十分な精度が期待できた。

5) コンピュータによる線量分布図作成については、治療計画装置に振子照射用プログラムがないことから、中心角9度ずつの固定多門照射法で近似した。データはOCR及びTMRを入力した。通常、電子線治療はSSD法で行なうので、線源データとしてOCR及びPDDを入力するが、振子照射においては焦点回転中心間距離が一定で、SSDは刻々変化するので、

PDD よりも TMR の方が適していると考えられた。

6) 成人 T 細胞性白血病, リンパ腫 (ATL) の皮膚病変に対して, われわれの工夫した電子線振子照射法を試み, 良好な結果が得られた。本法は, 呈示した ATL のほかに皮膚の悪性リンパ腫(菌状息肉腫を含む), 乳癌など悪性腫瘍の皮膚転移のごとき表在性病変で, かつ広範囲な照射野を必要とする場合, 継ぎ目の線量分布の不均一性の問題がなく臨床上有利であった。

## 結 語

以上, 体表面近傍に広範囲な Target volume がある場合, 特に胸壁, 腹壁のように弯曲した皮膚面に対する放射線治療に際して, われわれの方法による電子線振子照射法は有用であると考えられたので, 照射方法, 線量分布図, 臨床応用例を報告し, 併せて若干の考察を加えた。

(尚, この論旨は昭和59年9月, 米子市で開催された日本放射線技術学会中国四国部会で発表した。)

## 参 考 文 献

1. 重松 康: 放射線治療概説, 癌と放射線治療, 南山堂, 東京. pp. 48—50, 1973.
2. 菊池 章: 乳癌の放射線治療, 癌の臨床/別冊, pp. 214—222, 1978.
3. 菊池 章, 高橋 弘: 乳癌術後電子線照射療法とくに早期の再発率からみた治療成績, 癌の臨床, 22, pp. 203—208, 1976.
4. 重松 康: 放射線治療概説, 癌と放射線治療, 南山堂, 東京. pp. 44—46, 1973.
5. 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電子線の吸収線量の標準測定法, 東京. pp. 8—11, 1978.
6. 藤沢伸吉, 森 剛彦, 片岡久雄, 楠本敏博, 小鴨義尚: 電子線治療におけるコンピュータの利用 (第1報) フィルム法における垂直・平行ビームの PDD の変化について, 第38回日本放射線技術学会総会予稿集, 京都. p. 171, 1982.
7. 森 剛彦, 藤沢伸吉, 片岡久雄, 楠本敏博, 小鴨義尚: 電子線治療におけるコンピュータの利用 (第3報) Ionchamber による Film method の補正について, 第38回日本放射線技術学会総会予稿集, 京都. p. 173, 1982.

**An Evaluation of the Pendulum Technique of Electron Beam Therapy**

**Kishio MATSUSHIMA, Nobuhiro OGURI, Hiroyuki WAKASA,  
Yoshitada NAKAGIRI and Yasutaka MIKAMI, Yoshio HIRAKI\*,  
Shin KIMOTO\*, Keiji HASHIMOTO\*, Kaname AONO\*,  
Wataru FUJIMOTO\*\* and Hajime KODAMA\*\***

**Department of Radiology, Okayama University Hospital (Director: Prof. K. Aono)**

**\* Department of Radiology, Okayama University Medical School**

**(Director: Prof. K. Aono)**

**\*\*Department of Dermatology, Okayama University Medical School**

**(Director: Prof. N. Nohara)**

Electron beam therapy of lesions such as cutaneous metastatic carcinoma and reticulum cell sarcoma is performed via multiple portals for a wide irradiation field. However, the dose distribution in border areas is generally uneven, resulting in hot and cold dose areas depending on the intervals of the portals. We performed electron irradiation by the pendulum technique, especially on curved areas, and evaluated the technique in various respects.

Pendulum electron beam irradiation is indicated when the length of the cone must be reduced in order to deliver the target volume near the skin surface as well as to avoid the occurrence of hot spots deep in the body. We prepared a 15cm rotating cone by cutting a 30cm fixed irradiation cone. The modification posed no disadvantages in terms of extent and flatness of the beam, or stability during rotation. After determining the relationship between the rotation speed and the dose, the technique was successfully applied to a patient with adult T-cell lymphoma, at a total of 3000cGy.