

高エネルギー放射線治療装置三菱医療用 ライナック ML-6 MA 形の性能について

後藤 義男, 佐藤 護, 高橋 秀治

はじめに

最近の医療技術の進歩には目覚ましいものがあり、それぞれの分野で使用される装置、器具に関しても改良というよりは、新しい機種の出現といった方が適切なものも多い。

放射線治療の分野でも、従来よりはるかに多様かつ正確さを増した画像診断情報を基にして癌の治療が試みられるようになったが、治療装置自体にも深部X線やテレコバルト時代と比較して格段の進歩がとげられてきている。本院の移転に伴い新たに設置された、直線型粒子加速器（以下ライナックという）は、わが国でも既に20年近く癌の放射線治療に利用されているが、機種によって電子線のエネルギーに4 MeV から20 MeV と性能に差がみられる。中～高エネルギーの装置ではX線と電子線の2つの放射線を利用できるものが普通である。本院のライナックは三菱電機製で6 MeV の小～中型機に属するが、X線と電子線の両方の利用が可能であり同社製のこのクラスでは第1号機にあたる。本院に設置されてのち、その実績が高く評価されたこともあって、以来各地の病院に納入され順調に稼動していると聞いている。

そこで今回は本院のライナック（三菱ML-6MA形装置）の機構、性能について簡単に紹介すると共に、果してその公称通りのX線、電子線が発生しているかについて実測し、患者に照射した際の体内線量分布をみるために人体模型（ファントム）を用い実用試験を実施したので、その結果を報告する。

尚これらのデータは今後本ライナックの性能維

持の原点ともなるもので、記録しておく必要があると考えたからでもある。

医療用ライナック ML-6MA 形装置の概要

医療用ライナック ML-6MA 形装置は、従来の基本設計思想の粋を集めた小～中型機として最新のエレクトロニクス技術を駆使し、信頼性の向上、コンパクト化、操作の簡便さ、および放射線防護の安全性と医療事故防止に充分留意して製作された装置である。



図1. ML-6 MA 形ライナック照射部

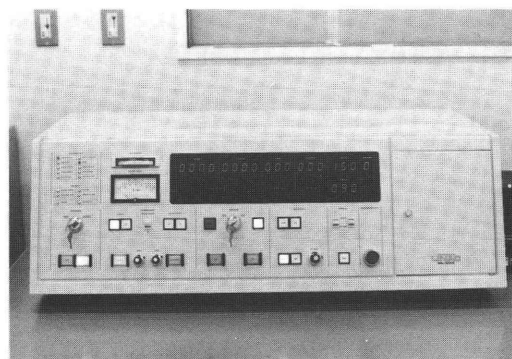


図2. 操作器

図1は照射部本体で、図2は操作卓(デスクトップ形)の外観を示す。

2-1 ML-6MA形装置の特長

1) X線治療(6 MeV)と電子線治療(6 MeV, 4 MeV)の併用機で、いずれの線種もボタン操作で選択できる。

2) 焦点-アイソセンタ間距離(SAD: source-axis distance)は100 cmとなっている。

3) 加速された電子ビームは270°アクロマティックベンディングマグネットの採用により、従来に比べて軟X線の含有量が少なく、更に平坦度の向上に偉力を発揮している。

4) 従来のマグネトロン使用機種のような出力の回転照射時の不安定さがなく、いずれのガントリー角度においても放射線出力の安定性と、再現性が高い。

5) 独立2系統の線量モニタ(主, 副構成形), バックアップタイマをはじめ線量率インタロック機構等最新の安全対策が施されている。

6) 全面IC化により信頼性が一段と向上した。

7) 定在波形加速管を採用し、よりコンパクト化された。

8) 操作卓からの固定, 回転照射が容易に行える。

9) 撮影用X線(ライナックグラフィ)の操作が簡単に行える。

10) 最大30 cm×30 cmの照射部に対し、広い領域にわたりX線出力分布に平坦性を有する。

11) 数字表示がデジタル化され見やすい。

2-2 主な性能

1) X線出力

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| a) 公称X線エネルギー | 6 MeV |
| b) 出力線量率 (SAD 100 cmにおいて) | 50~300 R/min |
| c) 出力安定度 | ±3%以下 |
| d) X線焦点の大きさ | 3 mmφ以下 |
| e) 照射野の平坦度 (24 cmφの照射部で) | ±3%以下 |
| f) 照射野の大きさ | 30 cm×30 cm~0 cm×0 cm |

2) 電子線出力

- | | |
|---------------------------|---------------------|
| a) 電子線エネルギー | 4, 6 MeV |
| b) 出力線量率 (SAD 100 cmにおいて) | |
| 4 MeV | 160~900 R/min |
| 6 MeV | 200~1,000 R/min |
| c) 出力安定度 | ±3%以下 |
| d) 照射野(最大) | 10 cm×18 cm又は15 cmφ |

3) 機構的仕様

- | | |
|----------------------|--------------|
| a) 焦点-アイソセンタ距離 (SAD) | 100 cm |
| b) アイソセンタ床上高 | 128 cm |
| c) 回転角度範囲 | 390° |
| d) 回転速度 | 0.2, 0.6 rpm |
| e) 回転時ビーム中IC精度 | 2 mmφ以内 |
| f) 照射ヘッド回転範囲 | 270° |
| g) 治療台上下移動(電動) | 床上75~130 cm |

装置の構成

この装置は加速管で加速された約8 MeVのエネルギーの電子線を270°偏向させ、アイソセンタ方向に向けターゲット又はスキッターに衝突させて、それぞれX線、電子線を取り出す機構を有しているガントリー部、各部に電源を供給している電源部、装置の操作制御を行なう操作器、および治療台、付属品等より構成されている。以下簡単に記す。

1) 電子加速と偏向系

電子の発生, 加速, 偏向を行なう部分。

2) 照射ヘッド部

加速, 偏向された電子線を, 治療モードにより, X線として, あるいは電子線として治療に適した分布の放射線を取り出す。

3) マイクロ波システム系

電子を加速管で高エネルギーに加速するために必要な大電力のマイクロ波を発生, 伝送を行うシステム

4) 真空系

電子加速偏向系内を, 高真空状態にする。

5) 冷却系

ライナックの冷却を必要とする部分は水冷となっている。加速管は冷却すると同時に、その温度を一定に保つ必要あり、専用の温度コントロールが出来る冷却ユニットを備えている。

6) パルス変調部

マグネトロンと、電子銃に大電力の高電圧パルスを提供する装置。

7) 本体駆動部

本体の回転筐体（ガントリー）を回転させる機構、およびその駆動電源から構成される。

8) 操作器

ライナックの運転、操作をする制御器。

9) 手持操作器

患者を治療する場合、位置合せ等を行う時に使用し、通常は治療台に取り付けられている。

装置の性能

1) X線エネルギー

X線の標準測定法に基づいて、SSD (source-surface distance) 100 cm, 照射野 10 cm×10 cm の条件下において深部量百分率曲線を求め、この曲線のピーク深 1.5 cm (最大平衡点), および 50% 深部量となる深さの測定によるエネルギーを推定する。ピーク深 $1.5+0.2$ cm, 50% 深部量となる深さ 15.4 ± 0.4 cm の数値が実測(図3)の結果得られたことにより、本装置のX線エネルギーは 6 MeV と考えてよい。

尚試験方法としては、特に注意すべき項目に関し以下に示す。水ファントム又は Mix-DP, 較正用線量計を用いる試験の測定条件、および測定

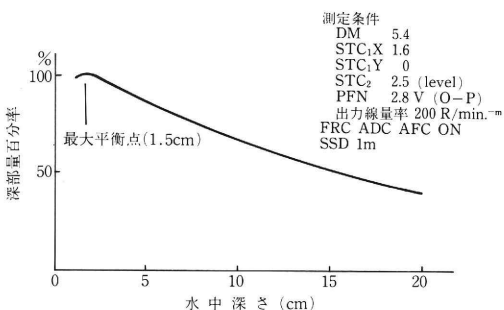


図3. 6 MeV X線深部率曲線

器具は次の通りである。

線源表面間距離 (SSD): 100 cm

照射野: X線 10 cm×10 cm, 電子線 10 cm×10 cm ツープス。

ピーク深: 深部量百分率曲線のピークとなる深さ。

水ファントム: 30 cm×30 cm 立方以上の水体積があること。

Mix-DP: 線束中心軸に対し, 30 cm×30 cm 以上の面積を持ち, 高さは 20 cm 以上とする。

較正用線量計: RADOCON555, およびプローブ 100HA あるいは 100MA, 又は当該施設指定の線量計。

2) 電子線エネルギー

前記測定条件に従い、電子線の実用飛程の測定を行い、この測定結果を(1)式に代入して電子線のアイソセンタにおけるエネルギー (E_{po} =水ファントム表面における最頻エネルギー)が求まる。

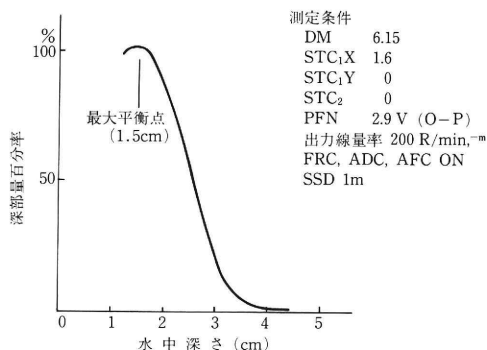


図4. 6 MeV 電子線深部率曲線

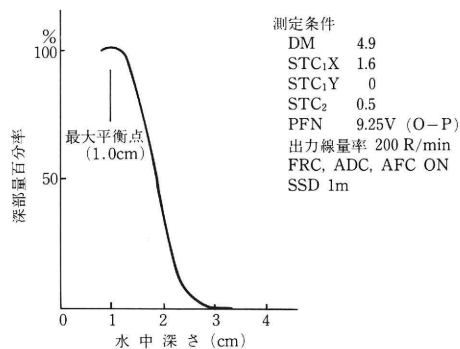


図5. 4 MeV 電子線深部率曲線

$$E_{p0} = \frac{R_p - 0.2}{0.53} \quad [\text{MeV}] \quad (1)$$

但し R_p : 水ファントーム中における電子線の実用飛程 cm。

以上の実測の結果、6 MeV ピーク深 1.5 cm, 4 MeV ピーク深 1.0 cm となっている。(図 4, 5)

3) X線, 電子線出力線量率

前記測定条件に従って、Mix-DP ファントームを重ね、線束中心軸上ピーク深に較正線量計をおき出力線量率を測定する。その結果 X線 6 MeV 70~392 R/min, 電子線 6 MeV 200~1,060 R/min, 4 MeV 160~900 R/min が得られ、電子線照射では短時間内の大線量照射を行うことも可能である。

4) 医療データ

ML-6MA 形ライナックで得られた医療用データの中で重要な深部量百分率, 等線量分布, コー

ン比等については図 6~図 12 に示す。前記測定法に基づいて深部百分率, 照射野係数, およびコーン比の測定を行い, 等線量曲線は Mix-R ファントームにフィルム (コダック RP/V) をはさみ, フィルムの黒化度と深部量百分率から求めた。又平坦度特性はプローブを X 方向, Y 方向に走査させ, 種々の照射野において記録測定した。

但し図 6, 7, 8 測定において, フィルムはコダック Rp-V, さくら PBI-10 等濃度曲線記録装置を使用した。また, 図 9, 10 測定においては, 東芝製

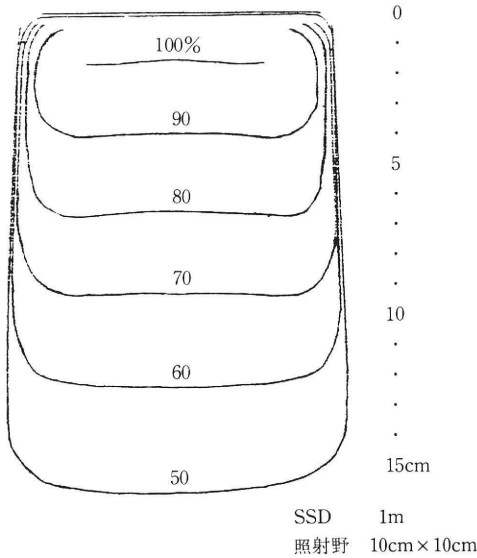


図 6. 6 MeV X 線等線量分布曲線

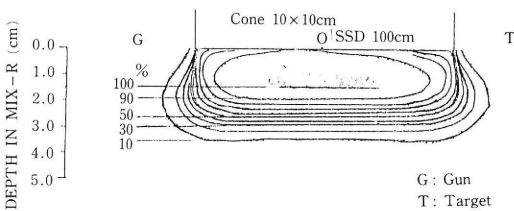


図 7. 6 MeV 電子線等線量分布曲線

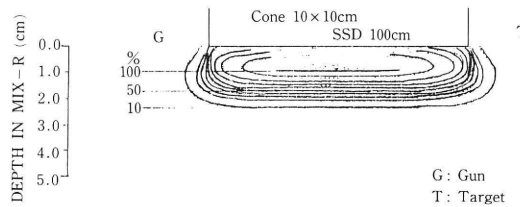


図 8. 4 MeV 電子線等線量分布曲線

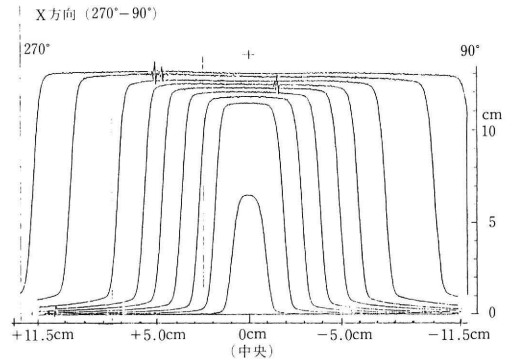


図 9. X 方向 (270°-90°) 6 MeV X 線平坦度特性

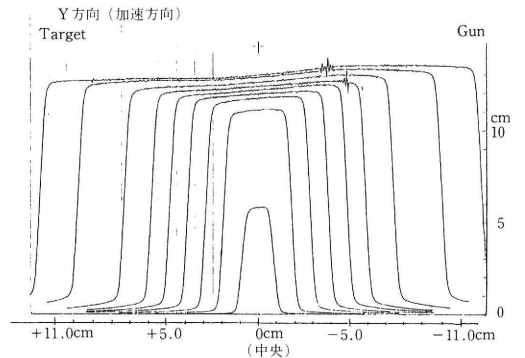


図 10. Y 方向 (急速方向) 6 MeV X 線平坦度特性

A. 照射野係数(Fa)		B. Wedge Factor (Wf)	
照射野	Fa	Wedge No.	Wf
2×2	0.691	No. 1	0.486
4×4	0.935	No. 2	0.498
6×6	0.967	No. 3	0.495
8×8	0.986	(誤差: ±0.2%)	
10×10	1.000		
12×12	1.012		
15×15	1.026		
20×20	1.042		
24×24	1.049		

(誤差: 0.2%)

6MeV-X線 ; 250 R/min, Register ; 100

測定点; 水ファントム 1.5 cm深

測定器; FAMER DOSEMETER, TYPE 2502/3

Ser. No. 412

Chamber 0.6cc Ser. No. 3723

図11 6MeV-X線, 照射野係数およびWedge Factor

直読型線量計, および X, Y レコーダ, TOAX-YR-2A 使用。

む す び

医療用ライナック ML-6MA 形装置についての構成, 性能並びに医療用データについて簡単に報告した。本装置は高エネルギー放射線治療装置の小~中型機として開発された。当初電子線治療時にビームダクトのチタン窓の破損による真空系のみだれ等, 1号機として開発上予期せぬこともあったり, 又X線 6 MeV の出力エネルギーを得ることを主体とした為に 4 MeV の電子線出力にやや難があるように思われたりもした。

現在治療に用いている 6 MeV X 線, 6 MeV 電子線は安定した状態で順調に稼動しており, 4

A. 6MeV電子線		B. 4MeV電子線	
コーン	コーン比	コーン	コーン比
10×10	1.000	10×10	1.000
10×18	1.029	10×18	1.075
14×14	1.026	14×14	1.096
6×8	0.902	6×8	0.831
15φ	1.006	15φ	1.051
10φ	0.965	10φ	0.941
8φ	0.886	8φ	0.819
6φ	0.753	6φ	0.648
3φ	0.856	3φ	0.745
2.5φ	0.723	2.5φ	0.594

単位: cm

誤差: ±0.2%

電子線; 出力 400 R/min, Register 200

測定器; 応用技研 RADMETER AE-131DW

Chamber A.

SSD, 測定点; SSD 100 cm

測定点; アクリル 1 cm深さの点

単位: cm

誤差: ±0.2%

図12 6 MeV 電子線, 4 MeV 電子線コーン比

MeV 電子線についても, 種々のデータを得ながら今後の治療に対処して行きたいと思っている。本装置は全体のコンパクト化, IC化された制御系, 放射線防護対策等全般的にその目的を十分に生かされている装置と思われる。今後装置の保守管理にあたっては, 現在の性能を確実に維持する必要がある, 測定機器の整備が望まれる。

謝辞: 今回のライナックの医療データ測定, 資料作成に際して, 放射線科部長菊池 章先生のご指導, および東北大学附属病院放射線部治療室の高橋勇守, 浅野茂夫, 針生俊一各技師の多大なご協力を得たことに深く感謝します。

文 献

三菱電機株式会社 ML-6MA 形装置検収成績書

(昭和 58 年 8 月 15 日 受理)