



Title	6MeV医療用ライナックの諸特性（医療用直線加速器の利用に関する研究 第1報）
Author(s)	立野, 育郎; 和泉, 長成; 竹田, 勇夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1969, 28(11), p. 1510-1520
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17671
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

6 MeV 医療用ライナックの諸特性

(医療用直線加速器の利用に関する研究 第1報)

国立金沢病院特殊放射線科(医長:立野育郎)

立野 育郎 和泉 長成 竹田 勇夫

(昭和43年5月24日受付)

Mechanical Construction and Performance of 6 MeV Medical Linear Accelerator

By

Ikuro Tatsuno, Naganari Izumi and Isao Takeda

From the Department of Radiotherapy, National Kanazawa Hospital, Kanazawa

(Chief: Dr. I. Tatsuno)

Authors described the outline of the mechanical construction and the details of the performance of the 6 MeV medical linear accelerator installed in the National Kanazawa Hospital, and presented the clinical data obtained with the equipment.

This machine is the serial No. 2 machine manufactured by Mitsubishi Heavy Industries, LTD..

The effective energy for the X-ray which is deduced from a measurement of half value layer with iron was 1.8 MeV. The maximum X-ray output with flattened field was 460 R/min at 1 m from the target. X-ray dose rate was stabilized to less than $\pm 1.5\%$ in fixation and less than $\pm 3\%$ in rotation radiotherapy. The X-ray dose distribution 10 cm below water phantom was $\pm 2.1\%$. Excellent isodose curves with various fields from 30×30 cm to 2×2 cm were obtained. Isodose curves with wedge filter and with lead blocks for field trimming were also made. The focus size of X-ray target was estimated to be about 1 mm diameter using the pin hole and wire penetrometer radiography.

Nominal energy of electron beam is 6 MeV but actual maximum energy was 6.7 MeV. At 21 pulse per second, the output of electron beam using 0.6 mm Al scatterer was 1150 R/min on the axis of irradiation at 1 m.

Penumbra was reduced to almost nothing by setting the inner jaw of collimator parallel to the electron acceleration axis and the light field corresponded to the actual field. The variance of isocenter in rotation therapy was less than ± 0.5 mm. The speed and angle of rotation showed stabilized performance. The leakage dose of X-ray was below permissible level.

Tumor air ratio (TAR) was calculated for several field sizes and depths which is very convenient and useful for calculating the air dose.

Failure status of machine for one year after opening of treatment operation were tabulated. The table shows only 3 days interruption of therapeutic service.

Further, basic studies on the electron therapy and clinical data on superhigh voltaige radiography (linacgraphy) will be presented in the forth-coming paper of Nipp. Act. Radiol..

1. まえがき

癌の放射線治療には、 ^{60}Co 装置が広く用いられている。その γ 線エネルギーが体深部の病巣の照射に適した線量分布を示すからである。しかし ^{60}Co では、線量率を大きくするためには線源を大きくしなければならず、そのための半影が問題となる。又、装置よりの γ 線漏洩のため、従事者は十分時間をかけて、体位の固定、照準を行い難いのが欠点である。エネルギーが ^{60}Co に匹敵し、半影の少ないX線束は線形加速器又はベータトロンより得られる。線量率はベータトロンでは低いので、線量率と半影の点から線形加速器が一番すぐれていると考えられる。

既に医療用線形加速器として、外国製品には Varian (米), Vickers Research (英), Mullard (英), A.E.I. (英), High Voltage (米) の各社のものがあり、本邦では、Varian 社と技術提携の日本電気、三菱重工、東芝放射線が何れも製品を完成し、すでに納入された国産線形加速器につい

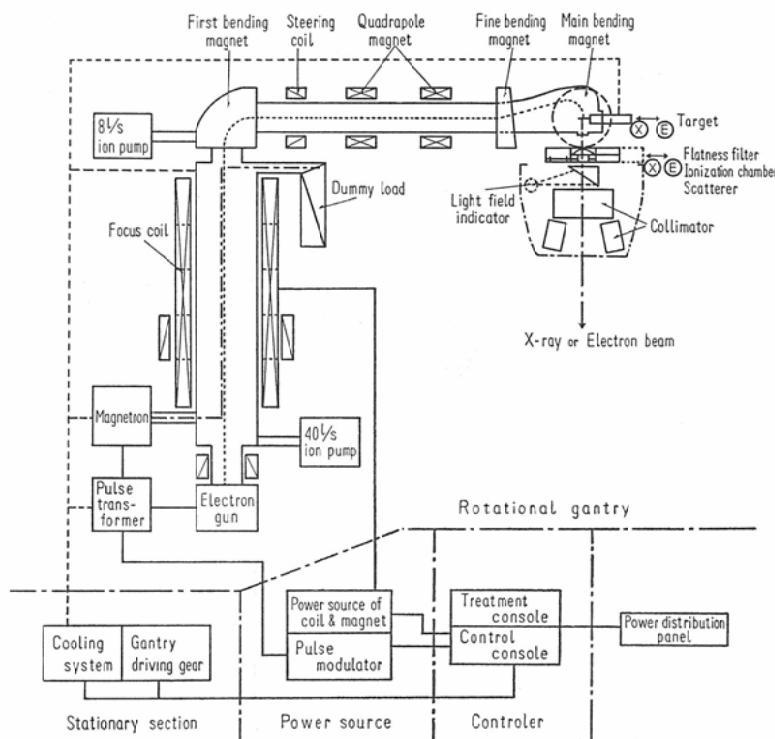
ての性能はすでに発表されており¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾、我々も、三菱重工の線形加速器 LAS-M 2型の実用性能を発表したが⁶⁾、LAS-M 2型の使用 1 年間で諸性能の詳細を知ることが出来、又、これによる電子線治療の諸問題、超高圧X線撮影（ライナックグラフィー）の開発に関する研究を行つたので、これらについて順を追うて発表する。

2. 装置の概要

本装置は大体、パルス発生部分の電源部とそれを制御および調整する操作部から成り立っている。本体は回転筐体部と固定部からなり、回転筐体部には電子加速系、磁石系、真空系、与圧系およびX線ヘッドが入つておらず、固定部には冷却系、筐体の回転駆動機構部および電源の一部が入つている。図1にライナック (LAS-M#2) の系統を示す。

本器は、2,998Mc/s の周波数帯で S-バンドのマイクロ波パルス大電力によって、矩形導波管から加速管へパルス状の高周波が導かれる。

Fig. 1. Block diagram of 6 MeV Linac (LAS-M#2)



マイクロ波発信管はマグネットロン（E.E.V.社製）を用い、熱電子加速用マイクロ波を発生させる。熱電子はカーボナライズされたトリタン製ポンバード型電子銃から -60KV のパルス電圧で加速され、全長 1.4m の加速管（三菱重工製）に 0.45C の初速度で入射された電子流をとらえ、高周波頭にのせて位相変化により連続的に 1°C 近くまで加速する。このようにして得られた超高エネルギー電子流は加速管を出ると、第1偏心磁石で 90° 偏心を行ない、ステアリングコイル、4極磁石を通り、精と主偏心磁石によつて更に 90° 偏心される。このように 180° 偏心された電子流はタンクステン製X線ターゲットを叩きX線に変えられ、電離箱（上下2層）を経て、コリメーターでビームを整形して患部に照射される。電子線照射の場合は、ターゲット、イコライザーおよび電離箱をモーターで外側に引き出し、金属窓、スキヤッターラーを通して放射される。照射野は $0 \sim 30 \times 30\text{cm}^2$ まで連続的に調節できる。

真空系には $40_1/\text{s}$ と $8_1/\text{s}$ の2器のイオンポンプを稼動させ、冷却系は加速管の冷却温度を $40^\circ \pm 0.3^\circ\text{C}$ の蒸溜水（ $70_1/\text{s}$ ）で制御している。

3. 諸特性と医用データ

3.1 X線実効エネルギー：本装置は公称 6MeV であるが、ライナックのX線は非常に大きなパルス状ビームであるから測定が難しいので、我々はX線の半価層を求め、これを実効エネルギーとした。

半価層測定材料として鉄板を用い、線源一吸収材一検出器の間隔をそれぞれ 60cm とし、小照射野3種について減衰曲線を求め⁷⁾図2を得た。これ

Fig. 2. X-ray absorption characteristics by iron layer

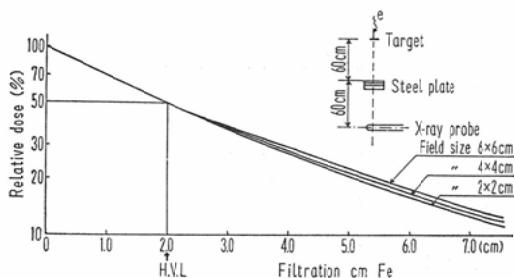
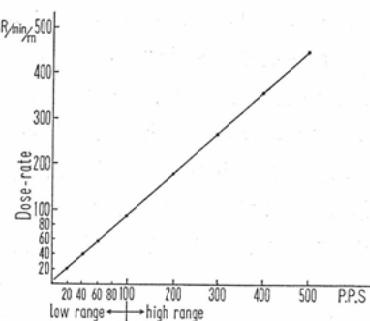


Fig. 3. Calibration of pulse repetition (p.p.s.) and dose rate (R/min/m)

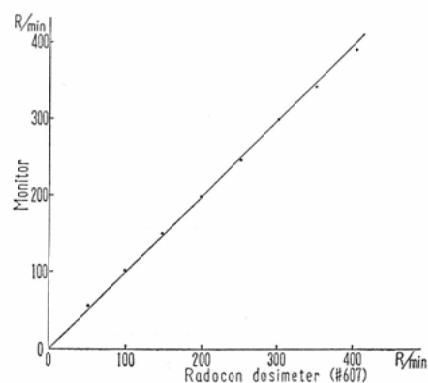


から半価層は鉄 20mm となり、線吸収係数は 0.347 cm^{-1} で、この値を実効エネルギーに換算すると 1.8MeV となる。 6MeV X線の実効エネルギーとしては妥当な値であつた^{8,9)}。

3・2 X線出力：X線量電離箱は放射窓の下に取り付けられ、上下2層の平板電離層からできている。この電離箱の各層から独立の信号が取り出され、上層は積算線量計へ指示を伝え、上下各層の指示は独立した信号となり、線量率計に伝わり別個の線量率となつて操作盤上で読みとることができる。

X線コリメーターを全開（焦点から 1m の距離で $30 \times 30\text{cm}^2$ ）とし、X線焦点—照射野中心間を 1m とし、この位置にラドコン線量計 575型のプローブ 607にアクリルキップ（ 1.5g/cm^2 ）を被せ、空中に固定して線量を測定した。図3にその時のパルス繰返数とX線量率計の指示値の関係を

Fig. 4. Calibration of X-ray dosimeter(monitor) and Radocon dosimeter (# 607)



示した。最高X線線量率は460R/minであつた。

線量率計（モニター）の指示値とラドコン線量計の指示値を前記と同実験で比較して、線量率計の信頼度を検討した。結果は図4に示すように両者の値はほぼ一致した値となり、実用上差し支えないものと思われる。

3・3 線量安定度：X線照射中は線量率の変動の少ないことが理想であるので、線量率の安定性について調べた。本装置には安定性確保のために、自動周波数制御（A•F•C）、自動線量率補正、水温自動制御の各機構を装備している。照射野30×30cmで、照射野の中心とアイソセンターが一致する点にラドコン・プローブ607にアクリルキャップを被せて空中に固定し、ラドコンからの出力を記録計（YEW-PRO-12）に取り入れ、X線出力を記録させた。

a：固定照射時の時間的変動、照射線量率を196R/minとし、20分間記録させた結果は図5のよう

Fig. 5. Stability of dose rate at isocenter

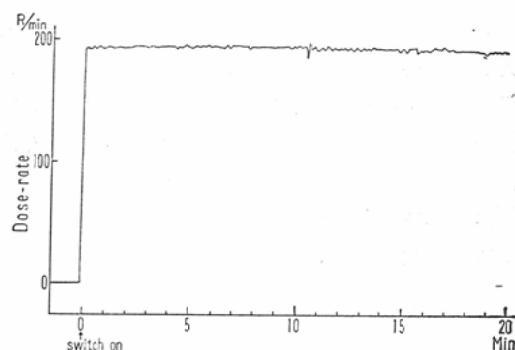


Fig. 6. Stability of dose rate under rotation (0.5 r.p.m.)

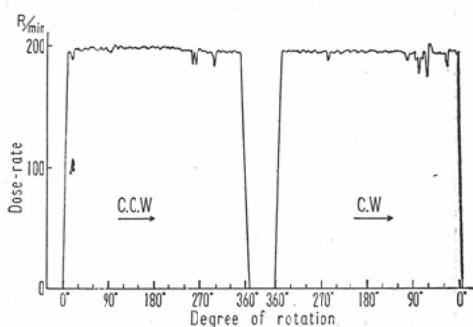
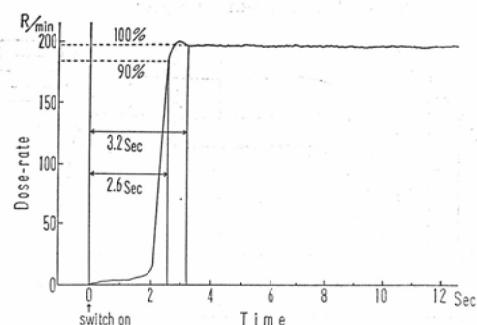


Fig. 7. Stability of dose rate, transient.



に11分、17分附近にマグネットロンの放電があるが、これを除くと線量率の変動は±1.5%である。

b：廻転照射時の安定度、本体を廻転速度0.5r.p.m.で廻転照射した場合の安定度を、固定時と同じ記録条件にして時計方向（C.W.）反時計方向（C.C.W.）へ廻転させた場合を測定した。図6で示すように反時計方向、時計方向廻転の両方向共に90°、270°附近にマグネットロン放電があるが、出力変動は±3%以内であつた。

c：立上り過渡特性、X線照射開始スイッチオン直後から規定線量値に達するまでの時間を測定した結果、図7のように規定線量の90%に達するまで2.6sec 規定線量に達するまで3.2sec かかつたが、このことは実用上は問題がないものと考えられる。

3・4 X線平坦度：本装置のイコライザーは鉄製で中央部の厚さ14.1mmの半卵形であるが、この形状は、水中10cmの面において線量分布に均一性をもたらすために作製されたものである。

実際に、水中10cmでX線平坦度がどれ位であるかを調べた。焦点から1mの距離で、照射野30×30cmとし、水中10cmにおける照射野の中央と、中央から本体およびヘッド側へそれぞれ10cm隔つた面の3カ所、即ち、照射野内の中央部28cmφ（20×20cmに相当）の平坦度を測定した。図8中のA•B•Cはそれぞれの測定位置を示す、図から平坦度は、±2.1%以内となつた。

3・5 等線量曲線：測定はラドコン・プローブ602（壁厚89mg/cm²ナイロン製）に防水処置を施し、水ファントム中を駆動させて、照射野30×30

Fig. 8. X-ray dose distribution in maximum field size (10cm depth in water)

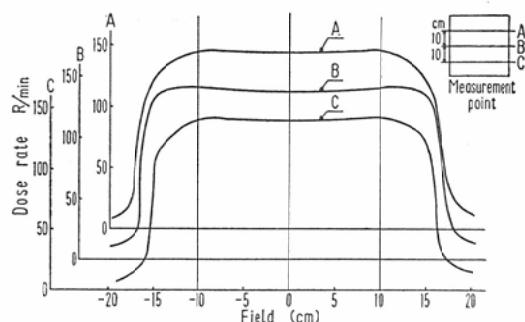


Fig. 9. Isodose curve in water

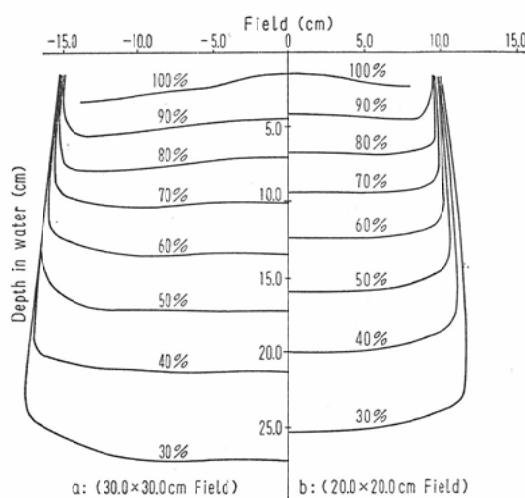


Fig. 9. Isodose curve in water

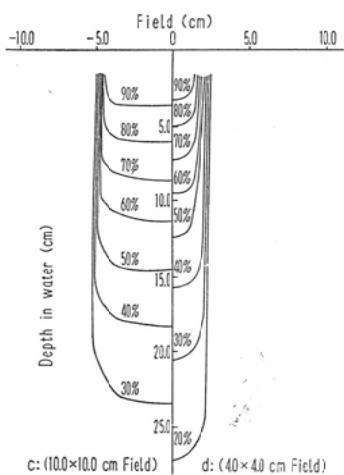


Fig. 10. Isodose curve in water (with 45° wedge filter, 10.0×10.0 cm field)

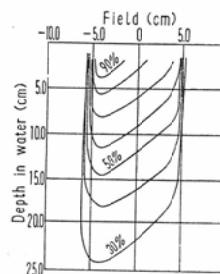
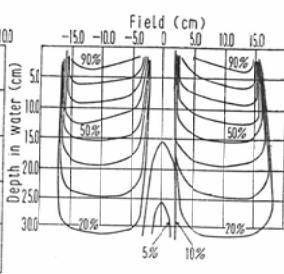


Fig. 11. Isodose curve in water (with 5.0 cm width Pb block, 30.0×30.0 cm field)



cmから 2×2 cmまでの間で、中間12ケースについて、X線線量分布を記録計(YEW-PRO-12)に記録させた。そのデータから逆算して図9(a・b・c・d)のような等線量曲線を求めた。又、ウェジ・フィルター(鉄製)を装着した場合(図10は45°ウェジ・フィルター)とシャドウ・トレイを用い、照射野トリミングのための、鉛ブロック(厚さ50mm)の遮蔽効果(図11)を東芝製アイソドーズ・プロッターでスキャンした。

3・6 焦点の大きさ：焦点の大きさを測定する方法には種々あるが、我々は次の2法を行つた。

a：ピンホール写真法、5mm厚の鉛板に0.5mm径のピンホールを開けて使用した。この鉛板を焦点から60cmの所に置き、鉛板からフィルムまでの距離を60cmにして撮影した。図12から焦点径は約1mmと推定された。

Fig. 12. Radiography of focus size, see arrow (pin hole method)

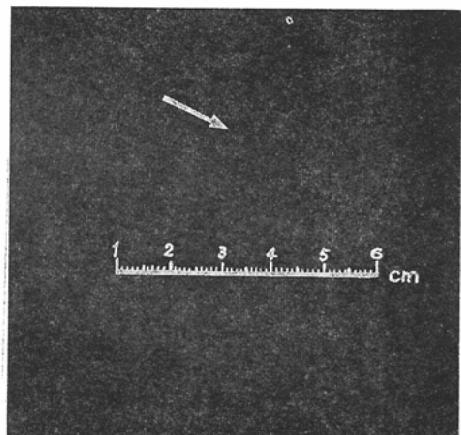
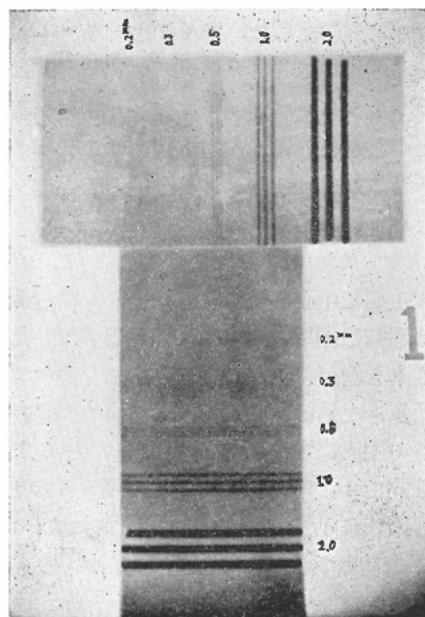


Fig. 13. Radiography of focus size measurement
(wire penetrometer method)



b : 線ペネトメーター法, 線径が 2, 1, 0.5, 0.3, 0.2mm のタンクステン線をそれぞれ 3 本あて線径と同間隔で, 平行にアクリル板(厚さ 30mm)に埋込んだペネトメーター¹⁰⁾を直角 2 方向に置いて撮影した。このときの焦点とペネトメーターの距離を 60cm, ペネトメーターとフィルム間の距離を 40cm とし, 小見山の方法¹¹⁾に従つて解析した結果, 約 1 mm 径であった。図 13 に示すような写真になつた。

3・7 照射野指示: 照射野の指示は, ライトロカライザーによつて指示される。この指示照射野と実照射野の一一致は, 治療器として非常に重要なことである。本装置に着装されている X 線ヘッドのコリメーターは, 直角 2 方向の inner jaw と outer jaw の 2 組からなつている。

まず, 電子流の加速軸にたいして inner jaw を垂直方向(前後)に, outer jaw を平行(左右)におくと, 照射野内の前後方向に半影が出易い。

次に, 電子流の加速軸にたいして, inner jaw を平行に, outer jaw を垂直方向に位置させると, 照射野内の半影は殆んど無くなり, 実照射野との一致をみた。

Fig. 14. Coincidence of X-ray field and optical field

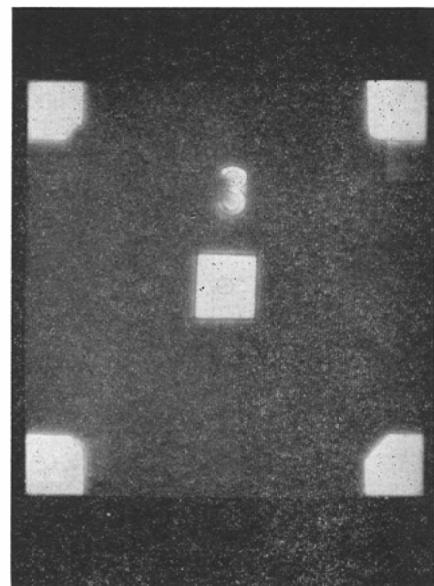


Fig. 15. Electron depth-dose curve

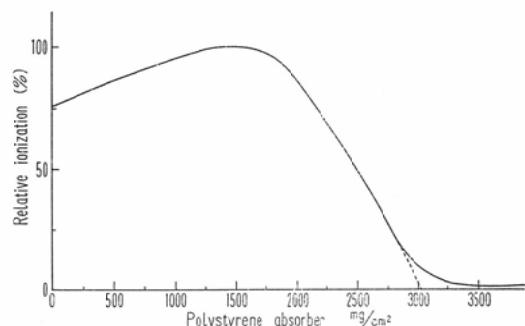


図 14 は, 指示照射野内の 4 隅と中心を鉛板で印を付け, X 線照射した写真である。図示のとおり, 指示照射野と実照射野は完全に一致した。

3・8 電子線のエネルギー・平坦度ならびに線量: エネルギーは公称 6 MeV であるが, 実際のエネルギーを調べた。Al 0.6mm のスキヤタラーを用い, 焦点から 1 m の点に外挿型平行平板電離箱(三菱重工製)を置き, その上面にポリスチレン板を種々の厚さに重ねた。照射野は 10 × 10 cm, パルス繰返し数 21 p.p.s. とし, 電子線の最大飛程を測定すると, 図 15 のようになる。これから外挿飛程を求め, Al-スキヤタラー, ビーム取出し窓,

Fig. 16. Electron dose distribution in air

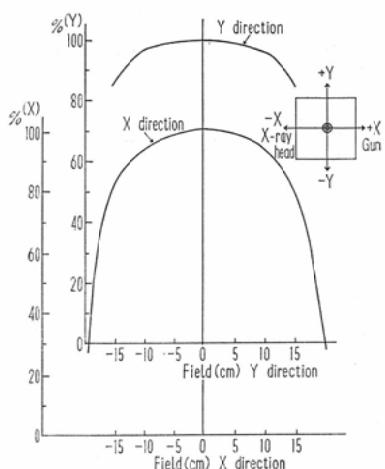
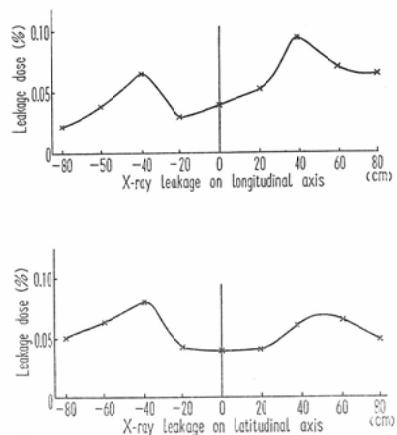


Fig. 17. Distribution of leakage X-ray



空気層の損失エネルギーを考えると 6.7MeV となつた。

電子線平坦度を照射野 $30 \times 30\text{cm}$ で、前後 (X 方向), 左右 (Y 方向) 方向について調べた。結果は図 16 のように $\pm 2.7\%$ であつた。

線量率は現在のライナックでは電子線線量率は大線量となり、普通の線量計では測定できないので、本装置では 4 極磁石の磁場を変更することにより小線量率化を計った。その結果、照射野 $30 \times 30\text{cm}$ で焦点から 1m の点における中心線量率は、パルス繰返し数 21p.p.s. で $1,150\text{R}/\text{min}$ となつた。

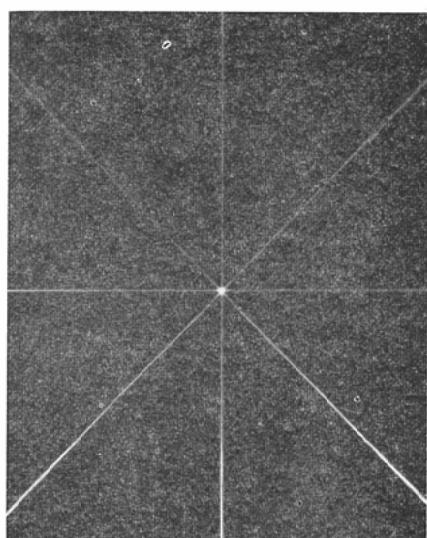
3・9 X 線漏洩線量：コリメーターを全閉した

場合、焦点から 1m の距離で、コリメーターの中心から前後、左右方向面に漏洩している線量 (mR/lr) を測定した。アイソセンターにおける線量を $100\text{R}/\text{min}$ (コリメーター全開で) とし、ラドコン・プローブ 608 で測定した結果、図 17 のように中心から前後、左右方向共に $\pm 40\text{cm}$ の所で最大となるが、コリメーター全開のときの $1/1000$ 以下となり、許容範囲内であつた。

4. 機械的精度

4・1 回転中心 (アイソセンター) の変動：本装置は回転治療用に設計されているので、回転中心の変動を調べた。照射野の中心に、黒紙で包んだフィルムを回転軸に直角になるように保持し、フィルム中心に本体回転軸がくるようする。45° 間隔で 4 方向から 0.2mm の細隙で X 線を照射した。図 18 に示すとおり中心の変動は $\pm 0.5\text{mm}$ 以内の誤差であつた。

Fig. 18. Radiograph showing isocentric variation under rotation



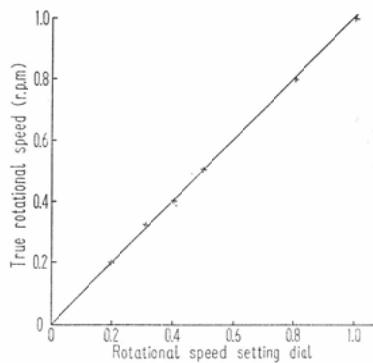
次に本体を垂直 (90°) 位置に固定させ、X 線ヘッドを回転させた場合、その中心点がどれ位変動するかを同様な方法で確認した。変動の巾は $\pm 0.5\text{mm}$ であつた。

4・2 回転速度：本体の回転速度計と速度調整器は操作盤上にある。時計方向、反時計方向に本

Table 1 Results of performance test

Item	Specification	Result	Item	Specification	Result
Effective X-ray energy	1.8 MeV	HVL (Fe) : 20mm	Leakage X-ray	less than 0.1%	max. 0.097%
Maximum X-ray dose	more than 350 R/min	460 R/min	Isocenter height	1170mm	1173mm
X-ray dose uniformity	less than \pm 3%	\pm 2.1%	Isocenter variation	less than \pm 1mm	less than \pm 0.5mm
Field size	0~30×30cm	0~30×30cm	Rotation speed	360°~36°/min	360°~36°/min
Focus size	2mm ϕ	Ca. 1mm	Rotation angle	more than \pm 180°	more than \pm 180°
Stability of X-ray, fixation	less than \pm 3%	less than \pm 1.5%	Field size indicator	Light localizer	Light field corresponds to X-ray field
Stability of X-ray, rotation	less than \pm 3%	less than \pm 3%	Accuracy of dose rate meter	less than \pm 5%	less than \pm 5%
Stability of X-ray, transient	Transient time less than 5 sec.	2.6 sec.	Accuracy of dose meter	"	"
Electron energy	Ca. 6 MeV	6.7 MeV	Rotation of X-ray head	\pm 90°	\pm 90°
Electron dose uniformity	less than \pm 15%	less than \pm 2.7%			

Fig. 19. Rotational speed of gantry



体を廻転し、速度計の目盛とストップ・ウォッチで計つた値（真の速度とする）が一致するかどうかを検討した。図19で示すように両者の値はほぼ一致した。

5. 性能試験結果

性能試験の項目事項・仕様は我々とメーカーの両者が合議して決定した。諸性能の試験結果は表1に示したとおりである。その結果、仕様として上げた目標値よりも、良好な成績を得ることができた。

6. TAR の決定

TAR (Tumor Air Ratio) は人体中の病巣線量率 D_t とその同一点の空中線量率 D_{air} の比 D_t/D_{air}

で定義されるが、われわれは D_t のライナック出力に対する比を求め、これを実際の治療における TAR と称することにした。

TAR は、病巣位置を常にアイソセンター (FT $D = 1\text{m}$) に置けば、対向 2 門、廻転照射に有利な方法となり、又、腫瘍線量を論ずる放射線治療では便利で合理的である。

前記の定義による TAR を Johns¹²⁾ の考え方に基づいて、次式から求められる。

$$\text{TAR} = D_{F_0}/D_0 \times D(d, F, As)/100 \times (1 + d/F)^2$$

但し、 F : Focus Tumor Distance ($FTD \equiv 1\text{m}$)

As : $FTD = 1\text{m}$ のときの人体表面での照射野面積

D_0 : ライナック出力

D_{F_0} : 距離 F (ターゲットから 1m) の点に水ファントム表面を置いたときの表面 (実際は電子平衡点) の水中線量率

$D(d, F, As) / 100$: 距離 F に水ファントムの表面を置き、ファントム表面での照射野面積を As とし、深さ d の深部線量率

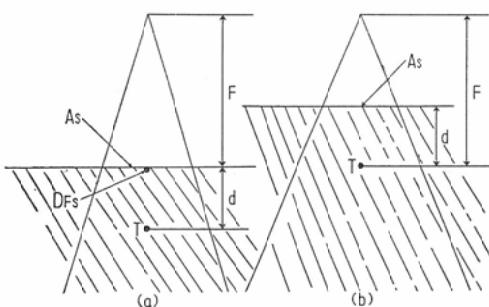
d : 人体皮膚面から病巣までの距離

ここではターゲットからファントムまでの距離が変化しても、水による減衰率、後方散乱は変化しないものと仮定する。このように本式は、図20

Table 2. Tumor Air Ratio for 6 MeV Linac X-ray (LAS-M #2)

Depth cm	Field size (cm ²)											
	2 × 2	4 × 4	6 × 6	8 × 8	10 × 10	12 × 12	14 × 14	16 × 16	18 × 18	20 × 20	25 × 25	30 × 30
1.5	96.3	100.7	103.9	106.0	107.7	109.0	110.9	111.9	112.1	112.9	113.7	113.7
2	94.1	98.8	102.0	104.2	106.1	107.3	108.8	109.8	110.8	111.3	112.3	112.6
3	89.9	95.0	98.7	101.0	103.1	104.6	106.1	107.1	108.1	108.9	110.6	110.7
4	85.7	90.8	94.7	97.5	99.8	101.9	103.1	104.4	105.3	106.4	108.0	108.2
5	81.6	86.4	91.8	93.9	96.0	98.9	100.2	101.1	102.8	104.1	105.7	106.0
6	77.9	83.5	88.1	91.6	93.6	95.9	97.7	98.6	99.8	102.4	103.1	103.2
7	74.0	79.9	84.5	88.0	91.1	93.2	94.7	96.0	97.2	99.9	100.7	100.8
8	71.8	76.2	81.4	84.7	87.4	89.6	90.9	92.6	94.4	96.9	97.9	97.9
9	67.3	72.4	77.8	81.6	84.4	86.4	87.6	90.3	91.4	93.6	95.1	95.1
10	63.7	67.7	74.1	76.9	79.9	82.1	83.5	85.5	87.1	89.0	90.8	90.8
11	62.0	65.9	71.1	74.8	78.1	79.9	82.2	83.9	85.8	88.0	90.0	90.0
12	58.8	62.8	68.1	70.8	75.2	76.6	79.5	80.6	83.0	85.1	87.1	87.4
13	56.1	60.0	65.0	69.1	72.4	74.5	76.8	78.0	80.0	82.4	84.0	84.6
14	53.4	57.4	61.8	66.0	68.2	71.3	74.0	75.2	77.6	79.6	81.3	82.4
15	50.5	54.7	60.6	63.2	66.4	68.4	71.0	72.1	73.0	76.6	79.0	80.0
16	48.3	52.1	58.4	60.3	64.1	66.2	68.4	69.8	71.9	73.6	76.2	77.4
17	45.6	50.0	54.5	58.1	61.5	63.6	65.7	67.4	70.0	71.4	73.5	75.2
18	44.4	47.9	52.5	54.6	58.8	60.8	62.9	64.9	67.0	68.6	70.9	72.4
19	42.3	45.8	50.4	53.7	56.3	58.4	60.2	62.2	64.5	66.0	68.0	69.8
20	39.6	41.7	47.5	50.6	53.3	55.3	57.3	58.9	61.2	62.0	65.2	67.5

Fig. 20. Geometry illustration of TAR measuring and correction



(a) の実験を行ない、図20 (b) に示す実際の治療時の値を求めるものである。

この結果得られたTARを表2に示す。

7. 故障状況

治療開始の昭和42・3・11から43・3・31まで、満1年有余の故障状況を表3に示す。

月平均2回の発生状況であり、マグネットロン寿命には長短があつた。サイラトロンは約1,000時

間前後の寿命である。次に整流器、冷却水温制御リレーの不良等があつたが、その後設計変更を行つて、回数は少くなつている。

又、毎朝テスト運転を行つた後、治療を行い故障の発見、装置の調子の点検につとめているが、故障のために治療に支障をきたした日数は3日間だけであつた。なお、毎土曜日は故障点検および修理日としている。

8. むすび

国立金沢病院に6MeV医療用直線加速器 LAS-M#2(三菱重工製)が設置されて以来満1年有余を経た。

その設置時の性能試験の結果は、X線の最大出力は460R/min/mであり、実効エネルギーは1.8MeVである。線量安定度は、固定時(連続照射20分間)には±1.5%、廻転時は±3%の時間的変動がある。照射野30×30cmで、水中10cmにおけるX線平坦度は±2.1%となる。X線の等線量曲線は照射野30×30cmから2×2cmまでの間の12ヶ

Table 3. Failure status of machine

Date	Troubles	Causes	Remedies	No. of hours required trouble shooting	No. of days off therapeutic service
1967 3. 11	Magnetron discharge	Exhaustion of operation (210 Hrs)	Replaced	8	0
4. 15	Ineffective control of temperature of cooling water	Improper control valve	〃	4	0
5. 13	Failure of power in magnetron	Damage of power diode	〃	8	0
5. 15	Same	Same	Same	1	0
6. 3	De-Q circuit inoperative	Defective relay	Replaced	1.5	0
6. 5	Ineffective pulser	Defective thyratron	〃	9	0.5
6. 8	Ineffective control of temperature of cooling water	Poor relay contact	Relay adjusted	0	0
6. 10	R.F. frequency deviation	Damage of transistor and diode in AFC	Replaced	15.5	0
7. 8	Magnetron discharge	Exhaustion of operation (460 Hrs)	〃	19	0.5
7. 17	R.F. frequency deviation	Poor adjustment of AFC cavity	Cavity adjusted	4	0
7. 18	Ineffective pulser	Defective capacitor in p.p.s. generator	Replaced	4	0
9. 15	Power source interlock	Defective shunt diode	〃	1	0
10. 7	Vaccum interlock	Exhaustion of operation (10900 Hrs)	8 l/s Ion pump replaced	5	0
10. 9	Ineffective control of temperature of cooling water	Defective proportioning relay	Replaced	3	0
10. 25	Ineffective pulser	Defective p.p.s. control variable resistor	〃	5	0
11. 20	〃	Defective thyratron	〃	1.5	0
11. 21	R.F. frequency deviation	Damage of transistor and diode	〃	4	0
11. 27	Vaccum interlock	Exhaustion of operation (8600 Hrs)	40 l/s Ion pump replaced	10	1
12. 14	Ineffective pulser	Defective thyratron	Replaced	0.5	0
12. 17	Couch stuck	Grease stuck on shaft	Cleaned and lubricated	8	0
1968 1. 12	Failure of power in magnetron	Damage of power diode	Replaced	0.8	0
2. 4	Leakage of pulse transformer oil	Defective oil sealing of pulse transformer	Replaced pulse transformer	6	0
2. 10	Unstability of dose rate	Damage of electron gun cathode	Replaced of cathode and filament	13	0
2. 19	Power source interlock	AVR fuse burnt out	Replaced	0.5	0
3. 7	Same	Same	Same	0.5	0
3. 16	Magnetron discharge	Exhaustion of operation (910 Hrs)	Replaced	8	0
3. 18	Coloring of cooling distilled water	Deterioration of distilled water	Replaced	3	0

ースを実測の上、作製した。又、Johns の考え方に基いて、T A R 表をも作製した。焦点の大きさは約 $1 \text{ mm}\phi$ と実測された。照準は特に重要な事であり、指示照射野と実照射野の一一致には常に留意すべきである。電子線エネルギーは最高 9.7 MeV であり、線量は、パルス繰返し数 21p.p.s. で 1,150 R/min/m である。漏洩線量は、コリメーター全閉で許容量の $1/1000$ 以下である。機械の精度として、廻転中心の変動 ($\pm 0.5\text{mm}$)、廻転速度を試験した。故障状況は、主にマグネットロン、サイラトロン関係であるが、故障のため治療に支障をきたした日数は 3 日間のみであつた。

以上の事項から、ライナック治療装置としては実用性があるものと思う。しかし、更に故障の少くない、信頼性のある装置になることを切望するものである。

文 献

- 1) 高橋信次他：国産医療用 ライナックの性能。M.A.C., 7 (7): 8~15, 1966.
- 2) 佐野朗他：三菱医療用 ライナック LAS-M. 三菱重工技報, 3 (5): 1~12, 1966.

- 3) 北畠隆他：日本電気 6 Mev 医療用直線加速器。日医放誌, 26 (10): 1267~1276, 1967.
- 4) 北畠隆他：国産（三菱重工製）6 MeV 医療用直線加速器。日医放誌, 27 (10): 1283~1295 1968.
- 5) 浅川洋他：三菱重工製 6 MeV 医用直線加速器（LAS-M 2 型 3 号機）(1)X線に就いて。日医放誌, 27 (11): 1411~1417, 1968.
- 6) 立野育郎他：三菱医療用 ライナック LAS-M の実用性能。三菱重工技報, 4 (10): 581~588, 1967.
- 7) NBS Hand Book 85 : Physical Aspects of Irradiation (ICRU Report 10b). p. 72
- 8) 佐方周防他：放射線の熱量的測定に関する研究 (4)—6 MV X線のエネルギー。日医放誌, 24 (9): 1105~1108, 1964.
- 9) 平岡武他：6 MV X線の線量分布。日医放誌, 24 (9): 1100~1104, 1964.
- 10) NBS Hand Book 89 : Methods of Evaluating Radiological Equipment and Materials (ICRU Report 10f). p. 24.
- 11) 小見山喜八郎：自己 バイアス 微小焦点の拡大能力およびその焦点の大きさについて。日医放誌, 14 (8): 487~497, 1954.
- 12) Johns, H. E.: The Physics of Radiology. C.C. Thomas Pub. 1964.