

医療用 LINAC に要求される問題点

日本電気 × デイカシステム 技術部

大石四郎、松岡 暁、上総中重、阿部駿介

医療用リニアック (Medical Linac) の一般定義は電子線リニアックで 1950 年初期に開発されたがんの放射線治療に使用される目的により、治療のための放射線の制御、規定線量を照射部位に照射させる装置を装備するものの総称である。現在国内で合計約 120 台、米国内で約 300 台、世界では 500 台以上の医療用リニアックががん治療に供されている (Figure 1 参照)。機種はプロトタイプや研究用リニアックを含めると厂尺的に総数約 45 種にのぼる (Table 1, 2 参照)。これ等は 10 MeV までの低エネルギー装置、20 MeV までの中エネルギー装置と 20 MeV 以上の高エネルギー装置に区分される。一般に低エネルギー装置は X 線専用装置が多く、中エネルギー装置は X 線と一方向照射の電子線治療兼用装置、高エネルギー装置は X 線よりも電子線が中心となり対抗二門又は回転等の電子線治療も可能にした装置である。これ等のリニアックに共通した基本的な要請がある。即ち、(1) 患者の患部の位置、容積を正確に知る。そこに高精度に制御され、モニターされた線量を照射する。(2) 患部には均一に、周囲の健康組織には出来るだけ危害を加えぬよう使用される線量を少なく制限する。この 2 つのキーを基にしてオーには照射方法の技術的開発、オニにはビーム性能の改善がすすめられている。一般的議論として均一に患部に線量を吸収させるためには平坦な線量分布照射野を与えることと、深度方向に線量を均一にするには十分な線源距離をもたせて、ビームエネルギー特性を適切に選択することが必要である。時間的な変動に対して也十分注意する必要がある。ビームのエネルギー、線量率、線量分布、線源の大きさ及び位置などから発生していることと短時間 (例えば 1 分間程度) で照射完了させて物理的な患者の変位を防止するとともに苦痛を軽減させるに十分な高線量率が要求される。線源の線量という根本問題があるが日常使用されている線源は X 線あるいは電子線である。研究的にはマイナスパイオン、速中性子、プロトン、アルファなども試みられている。

医療用リニアックの主要部における性能と上記の要請に照しなから検討した結果を述べる。

(1) 加速管に SW 型と TW 型とがある。TW 型は比較的製造が容易であること、ビームローディングの制御が容易であること、したがって RF 電力源に対する反射波の問題、エネルギースペクトラムが狭くなることから大部分の装置はこのタイプを採用している。他方 SW 型は単位長さ当りのエネルギー加産効率がよいので小形化に役立つため RF 立体構造は複雑になるが最近このタイプを採用するケースが増えつつある。

(2) ビームを取出す機構として直線的に取出す装置と 90° に近く偏向させて取出す二種類がある。直線的に取出されるものは安定しているが、偏向して取出す場合にはビームのエネルギー変動や機械的な変位によってビーム性能に影響を及ぼす。偏向マグネットの設計において 90° 方式と 270° 方式と大別できる。90° 方式の特長は小形にまとめられることであるが一方では上記の変動を受けやすい。

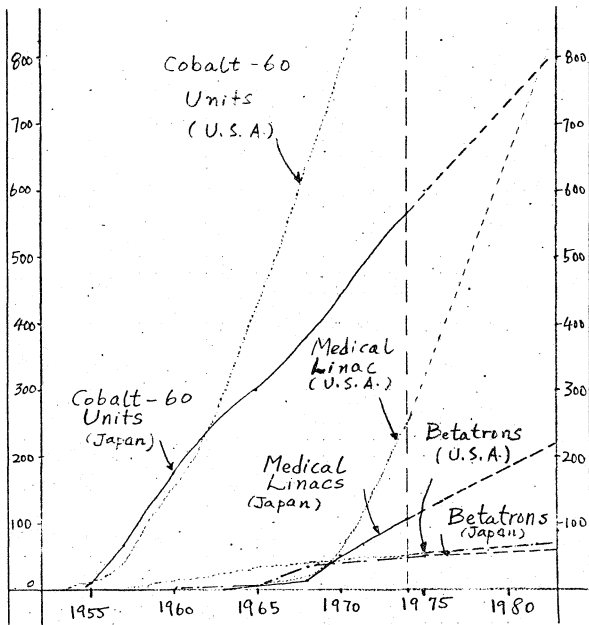


Figure 1

しかし、270°方式はアクロマティック方式を採用してミラした変動の影響を免れにくい構造ではあるが大形になることエネルギーのテックがでつかしい臭が難臭となる。

(3) 線量の制御に関して特に回転中に待電率、平坦度が変動する問題が生ずる。マグネトロン出力変動、周波数変動がビームエネルギーを変動させる。ハロレス排送しF温度変化でもエネルギーが変動する。機械的にも集束コイルの極性、電子銃のエミッション、地磁気の影響や加速器の変位などがエネルギーを変動させる。これ等はエネルギーポジシステムによりテックされビームの方向と位置が制御される。又

Radiation Parameters of Medical Linacs (1)

Table 1

Model Manufacturer	Date	Bloom X-Ray (kV)	Energies Electron (MeV)	Max. Dose Rate (rad/m/m)	S.S.D (cm)	Max. Field Size (cm ² at 1m)	Arc Therapy (rad./deg)	Rotation Auto-mation (deg)	Dual Dose	Magnet System (deg)	RF Source (MHz)	Type of Accel (cm)
1. MK IV Stanford			8-50				No	Fixed	No	None	Kly	2.5 TW
2. "Helene Curtis"			45									
3. "Argonne Cancer HVEC/ARCO"			5-50			20x20	Yes	360		20 2xkly		2.5 TW
4. "Mullard"	1952	4-6	15				No	Fixed	No	None	1.8 mag	6 TW
5. SL-48 Mullard	1953	4		250 X	100	25x15	Yes	240	No	None	2 mag	1 TW
6. "Metropolitan Vickers"	1953	8		200 X	100	26φ	No	240	No	90	2 mag	3 TW
7. Orthotron AEI	1954	4		200 X	100	30φ	No	240	No	None		TW
8. "Stanford"	1956	4-6	4-6	65 4.2X		15x15	No	Fixed	No	None	1 mag	1.65 TW
9. Massiat CSF	1957	4										
10. LM 6 ARCO	1960	6	2-7	250 X			No	Fixed	No	None		1 TW
11. Clinac 6/1006 Varian/NEC	1962	6	3-8	350 X	100	27x30	Yes	370	No	90	2 mag	1.5 TW
12. "X-Band" Vickers	1962	6		200 X #		20x25		270	No	None	mag	1 TW
13. Serus III AEI	1965	6,8	7.5	350 X	100	25x30		370	No	90		
14. SL-75 Mullard		6	3-8	400 X	100	25x30		370	No	90		
15. MEVATRON VIII ARCO	1966	4,8 (7)	3-10	400 4X	100	30x30	Yes	390	No	270 Ach	3 Amp	TW
16. MEVATRON XV ARCO		6-15	6-15	500 10X	100	30x30	Yes	360	No	261 Ach	1.25 mag	2 TW
17. LAS-M Mitsubishi	1966	6	6	350 X	100	30x30	Yes	360	No	180	2 mag	1.4 TW

回転中の安定性は回転速度と線量率を同時に安定させる方法と線量を単位角度当たり制御しながら回転する方法が行われて

いる。(4) 均一照射野を得るためにX線についてはフィルターを用いる。このとき均一照射野の

Radiation Parameters of Medical Linacs (1) Table 2

Model Manufacturer	Date	Beam X-RAY (MV)	Energies Electron (MeV)	Max Dose Rate (rad/m ² /min)	S.S.D (cm)	Max Field Size (cm ² at 1m)	Arc Therapy (rad/deg)	Rotation (deg)	Auto- Dial mation Dose.	Dual Magnet. RF System (MW)	EF Source (MW)	Type of Accel. (m)	
1 SL 75/10 Mullard/Philips	1965	7-10	4-10	660 25X 500 E	100	20x30	0.2-3.99	370	R.V.	Yes	95° 2 Mag	1 TW	
2 LUE 5 Efre mov	1966	5	—	300 X	100	15x17	—	360°	R.V.	Yes	90° 1.8 Mag	TW	
3 LUE 25 Efre mov	1966	10, 15	10-25	500 X	—	18x18	Fixed	—	—	—	90° 20 Kly.	TW	
4 Sapporo/Therac CSF/AECL	1967	(10) 25	7-40	400 25X 400 E	105	36x38	No	210°	No	Yes	+37 -37 -127 4.8 1es ² Mag.	6 TW	
5 LMR 13 To shiba	1967	10	8-12	400 X 1000 E	100	30x30	Yes	420°	R.V.	Yes	2 Mag.	1.6 0.3 TW	
6 Clinac 9/1004 Varian/NEC	1968	4	—	220 X	80	40x40	—	360°	—	—	2 Mag	1.1 0.3 SW	
7 MEVATRON IV/VI ARCO/Siemans	1969	4, 6	3-6	220 X 220 E	100	35x35	0.5-5	360°	R.V.A	Yes	261° Ach	2 Mag	1.3 TW
8 MEVATRON XII ARCO/Siemans	1969	8, 10	3-11	300 X 400 E	100	35x35	Yes	360°	R.V.A	Yes	261° Ach	2 Mag	1.3 TW
9 Therapi 4 SHM/EMI	1970	4	—	225 X	—	40x40	Fixed	STA	No	—	2 Mag	0.35 SW	
10 CLINAC 35 Varian/NEC	1970	8, 25	7-28	1000 X	100	35x35	2.75-5	360°	R.V.	Yes	+57° -90° Kly	2, 2.25 TW	
11 ML-15 MI Mitsubishi	1970	8, 10	8-15	500 10X 1,000 E	100	30x30	Yes	370°	No	Yes	110 5 Kly	1.8 TW	
12 LMR 4 Toshiba	1972	4	—	225 X	80 (100)	40x40	0.5-5	360°	R.	Yes	None 2 Mag	0.35 SW	
13 LMR 15 Toshiba	1972	10	10-15	350 X 1000 E	100	30x30	0.5-5	420°	—	Yes	105° 4.8 Mag	1.6 TW	
14 Clinac 12S Varian/NEC	1972	6 (8)	5-10	400 X 500 E	—	35x35	Fixed	STA	No	Yes	None 2 Mag	1.2 SW	
15 Saturne/Therac 20 CSF/AECL	1973	10, 18	6-20	400 18X 400 20E	100	30x30	0.7-7 (X, E)	370	R.V. STD	Yes	270 Ach	5 Kly	TW
16 Neptune/Therac 6 CSF/AECL	1973	6	—	250 X	100	40x40	0.7-7	370	R.V. STD	Yes	270 2 Mag	1 TW	
17 SL 75/20 Mullard/Philips	1973	8, 16	6-20	400 16X	100	30x30	0.2-3.99	360	R.V.A	Yes	95° 5 Mag	2.5 TW	
18 Clinac 18/1018 Varian/NEC	1974	10	6-18	500 X 500 E	100	35x35	0.5-5	360	R.V. OPT	Yes	270 5 Kly	1.4 SW	
19 Clinac 12/1012 Varian/NEC	1974	8	6-12	350 X 500 E	100	35x35	0.5-5	360	R.V. OPT	Yes	270 2 Mag	1.2 SW	
20 Clinac 4S Varian/NEC	1974	4	—	225 X	—	40x40	—	FIXED	R.V. OPT	No	None 2 Mag	0.3 SW	
21 ML-3M Mitsubishi	1974	2.8	—	70 X	80	30x30	Yes	380	No	No	None 2 Mag	0.3 SW	
22 Therapi 400 SHM/EMI	1975	4	—	220 X	100	40x40	Yes	370	R.V. OPT	Yes	None 2 Mag	0.3 SW	
23 Clinac 6X/1006X Varian/NEC	1975	6	—	192 X	80	40x40	0.5-3	360	R.V. OPT	No	None 2 Mag	0.3 SW	
24 Therapi 2000 SHM/EMI	1976	10, 20	6-24	500 X 500 E	100	40x40	0.5-5	370	R.V. STD	Yes	270 5 Mag	1.5 SW	
25 LUE 15 Efre mov	1976	10, 25	10-25	300 X	100	20x20	—	240	—	—	270 9 Mag	2.5 TW	
26 MEVATRON XII ARCO/Siemans	1976	12, 15	6-18	300 X	100	35x35	0.5-5	360	R.V.A	Yes	270 5 Mag	2.5 TW	
27 SL 75/5 Mullard/Philips	1976	4-6	—	350 X	100	—	—	—	—	—	90 Max	TW	
28 Dynaray 4 RDI	1976	4, 5, 6	—	300 X	—	30x30	Yes	360	No	—	165 Ach	2 Mag	0.75 TW
29 Dynaray 8 RDI	1976	6-9	4-10	300 X 300 E	100	25x25	Yes	360	R	Yes	270 2 Mag	1.6 TW	
30 Dynaray 18 RDI	1976	6-12	5-18	300 X 300 E	100	25x25	Yes	360	R	Yes	270 5 Kly	1.6 TW	

位置が表
面からの

深さによ
り異なる。

一般には

深さ10cm

又は5cm

が選択さ

れている。

電子線は

スキャッタ

ラーを用

いて広く

散乱させ

る方法とバ

ンシルビ

ームエス

キヤンテ

る方法か

ある。常

に平坦度

と同等に

吸収特性

も向上す

るように

検討され

ている。

(5) 照射

への照射

を人間の

エラート

失敗しな

いため治療条件の確認(Verification)と記録(Recording)さらに装置の自動セットアップ(Auto-matic Positioning)がコンピューターのおかげで実施されるようになった。

(6) 安全性は特に重要問題でIECのまとめた放射線取扱基準にのっと設計と製造が各製造会社に要求されている。