The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	放射線治療における電子線線量測定 : 入射エネルギー10MeV 以下の電子線線量測定を中心にして
Author(s)	西台, 武弘; 陶山, 純夫; 阿部, 光幸
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1975, 35(4), p. 171-179
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17452
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

放射線治療における電子線線量測定
— 入射エネルギー10MeV 以下の電子線線量測定を中心にして —

京都大学医学部放射線医学教室（主任：鳥塚莞爾教授）
西台　武弘　　陶山　純夫　　阿部　光幸

（昭和49年10月24日受付）
（昭和49年11月27日　最終原稿受付）

Electron Dosimetry in Radiotherapy
—With special reference to less than 10 MeV electron dosimetry—

Takehiro Nishidai, Sumio Suyama and Mitsuyuki Abe
Department of Radiology, Faculty of Kyoto University
(Director: Prof. Kanji Torizuka)

Research Code No.: 203
Key Words: Electron, Dosimetry

The reports for electron dosimetry have been published by ICRU and JARP, but the data are not sufficient for low energy electron dosimetry ($(E_p)_0 < 10$ MeV) by the thimble chamber.

This report is concerned with practical electron dosimetry, especially in this energy range.

1) The relative percent depth ionization I(x) can be represented by the relation: $I(x) = 110 - 10e\mu x$ not only in the region deeper than the peak point but also in the build up region, where x is the distance from the depth at which I(x) equals 100 per cent. An experimental coefficient μ and the peak depth vary with an initial energy ($(E_p)_0$), Scattering foil Skin Distance (SSD) and field size.

2) C_E values for electron energies less than 10 MeV were obtained by comparing the relative depth ionizations measured using the thimble chamber with the relative depth doses measured using the Fricke dosimeter. In this experiment, we used the recomended value by JARP at the reference point (1 cm depth).

3) The relative depth doses measured with the thimble chamber were in agreement with values obtained by TLD with an accuracy of about 3%.

4) The relative surface dose of this device was measured with the Fricke dosimeter and TLD. The dose increased with increasing of the $(E_p)_0$ and the field size.

I. 序　論

電子線の線量測定に種々の線量計が用いられているが，日常治療時の線量測定にはコバルト用指頭型電離箱による方法が一番簡便であり，実用的である．既に電子線々量の標準測定法に関して，ICRU Report 21[23] および日本医学放射線学会

物理部会の報告（JARP Report)[29]がある．しかし，これらの Report によつてもコバルト用指頭型電離箱による治療時の深部吸収線量の測定，特に入射エネルギー10MeV 以下の電子線の測定には問題点が残されており，実用面で十分でない．

我々は放射線抵抗性腫瘍に対する新しい治療術式として電子線術中照射を開発したが[1)-11),16)-18)]，この術式の特長は腫瘍に直接照射するところにある．従つて電子線の入射面は腫瘍細胞そのものであり，表面吸収線量の測定は経皮的外部照射の場合と異なり重要な問題となる．本法では病巣を可及的に切除した後，遺残病巣に照射するので，6 MeV から10MeV までの電子線を照射する場合が大部分である．それ故，このエネルギー領域を中心に電子線の表面，ビルドアップ領域，深部における吸収線量測定に関して種々の面から検討を加えた．

II. 実験方法

照射装置は島津32MeV 医療用ベータトロン[15]である．本院ではスキャタリングフォィルを各加速エネルギーに関して一定にして使用している．Table 1 に各表示エネルギーに対するスキャタリングフォイルの材質と厚さを示す．実験に使用した円形ツーブスの材質は真鍮であり，胃癌術中照射用五角形ツーブス（一辺 4.5cm）[11)32)]の材質はステンレスである．円形ツーブスのスキャタリングフォイル，ツーブス先端距離（以下，Scattering foil Skin Distance, SSD と表わす）は64.7cm，五角形ツーブスのＳＳＤは73.7cmである．

術中照射における照射対象は一般に腫瘍組織のみであるから，外部照射時に生じる不均一物質（肺，骨等）に関する問題[20)24)]を考慮しなくてもよく，均一物質（水）とみなしうる．従つて，本実験では水あるいはアクリル・ファントームを用いて電子線の線量測定を行つた．なお，アクリル．ファントームを使用した時の実効深さ係数を JARP Report[29]，尾内等の報告[33]に従い，1.13とした．

電子線の入射エネルギーは最頻エネルギーをもつて示した．この入射最頻エネルギー $(E_p)_0$ は JARP Report[29] および星野の実験データ[22]に従い，次式を用いて水中深部電離量曲線による実用飛程 R_p から求めた．

$$(E_p)_0 = \frac{R_p - 0.2}{0.53} \qquad (1)$$

1．深部電離量百分率

一般に報告されているラド変換係数 C_E を用いて深部吸収線量を得るには，コバルト用指頭型電離箱による水中深部電離量を測定しなければならない[23)25)26)]．本実験では Ionex 0.6cc chamber を用いて深部電離量を測定し，深部電離量百分率の近似式について考察した．

Ionex 0.6cc chamber の放医研 sub-standard chamber に対するコバルト校正定数Ncは1.07である．displacement correction は JARP Report[29]に従い，$(^2/_3)\,r = 2.0$mmを採用した．イオン収集効率 f は Boag の式[29]を用いて計算で求めた．この計算時の係数としてパルス数60pps, a =2.97 mm，b=0.45mm，μ=1000V・cm・esu^{-1}, V= 215 ボルトを用いた．電子線場の擾乱補正係数 $P_{w.g}$ はICRU Report 21[23]，Harder, D.[19]に従い次式から計算した．

$$P_{w.g} = 1 - P(r) \qquad (2)$$

$$P(r) = \frac{2}{5}\,\frac{b}{\pi}\,r^{1/2} \qquad (3)$$

$$b = \frac{0.318 E_s\,(\bar{E}_d + \mu)}{X_0^{1/2}\,\bar{E}_d\,(\bar{E}_d + 2\mu)}$$

$$\mu = 0.511\text{MeV}$$

$$E_s = 21\text{MeV}$$

$$X_0 = 37.1\text{cm}$$

Table 1 Combinations of electron energies and scattering foils used in radiotherapy in Kyoto University Hospital.

E(MeV)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Scattering foil (mm)	0	Al 0.3	Cu 0.1	Cu 0.1	Cu 0.2	Ta 0.2	Ta 0.2	Ta 0.2	Ta 0.3	Ta 0.3	Ta 0.3	Ta 0.3	Ta 0.4	Ta 0.4	Ta 0.4

r＝電離箱の半径，cm

上式の水中深さ d cmでの平均エネルギー $\bar{E}_d$ は次式から求めた．

$$\bar{E}_d=(E_p)_0\cdot(1-d/R_p) \qquad (4)$$

ステム漏電効果の影響は実験の結果無視できることがわかつた．

Ionex 0.6cc chamber は一般に標準線量計として使われており，電子線に対するエネルギーレスポンス[29]は一定とした．

指頭型電離箱を水中で使用する場合，十分注意しなければ位置ぎめによる大きな測定誤差を生じる．本実験では1mm深さごとに読み取れる電離箱支持装置を作り，精度を上げることに努めた．線量計の読み取り，およびベータトロン出力の立ち上がりによる誤差を考慮して，各深さについて3回の測定を行い，また線量計の位置ぎめ，およびベータトロンの経時変化による誤差を考慮して，測定日時を変えて上記測定を3回くり返し行つた．結局，Ionex 0.6cc chamber によつて得た測定値は9回測定の平均値である．

2．ラド変換係数

ICRU Report 21[23]は Kessaris, N.D. の計算式[25][26]を用いて，入射エネルギー5MeV おき，深さ 1.0cmおきのラド変換係数 C_E 値を報告している．また，JARP Report[29]は各入射エネルギーの校正深さの C_E 値として Kessaris の値の内挿値を勧告している．Kessaris の値が実験値とよく一致することは一般に認められているが[14][36]，臨床に必要な全ての入射エネルギー，および深さの C_E 値については報告されていない．従つて，我々は入射エネルギー10MeV 以上の C_E 値を Kessaris の値を内挿して，1MeV おき，0.5cmおきに求めた．一方，入射エネルギー10MeV 以下の C_E 値に関しては Kessaris の値を外挿する方法では正確に求められないので，照射野10cmφ における水中でのフリッケ線量計による深部量百分率と深部電離量百分率を比較することにより，各深さの C_E 値を求めた．

フリッケ線量計を使用するにあたつては密度効果を無視するために0.05mole/l 溶液を使用し，測定位置はフリッケ線量計の幾何学的中心とした．この溶液のG値は $(15.3\pm0.6)\times10^{-2}eV^{-1}$ であり，$(\varepsilon_m)_{25°C}$ は $2{,}208\pm5\,mole^{-1}\,cm^{-1}$，$\rho$ は $1.002\,g\cdot cm^{-3}$ である[23]．フリッケ線量計の容器の大きさは 3.3cmφ×1mmであり，電子線が透過する壁の材質はマイラー（厚さ，0.3mm），まわりの外壁はアクリル樹脂である．マイラー，アクリル樹脂存在下でフリッケ線量計の感度は変化しなかつた．照射はこの場合もベータトロンの変動を考慮して各深さ同時に行い，測定値は3回測定の平均値である．

3．深部量百分率

各照射野についての深部電離量に C_E 値を乗じて深部量百分率を求めた．またビルドアップ領域に関してＴＬＤで深部量百分率を求め，Ionex 0.6cc chamber による値と比較した．

ＴＬＤは電子線の相対的な吸収線量が測定でき，他の線量計より小型にできることが利点であり，電子線の表面吸収線量およびビルドアップ領域の線量測定に適している[27][34]．本実験では LiF（ＴＬＤ 700）powder をアクリル・ファントーム中に封入して各深さ別々に照射した．測定値は7回測定の平均値である．ＴＬＤの大きさは1cmφ×0.5cmで，幾何学的中心を実効中心とした．LiF（ＴＬＤ 700）powder のレスポンスは約 300rads まで一定であり[30][31]，本実験では約200rads 以下で使用し，supralinear レスポンスを無視した．

4．表面線量百分率

ファントーム表面における吸収線量と深部吸収線量の最大値の比を表面線量百分率とした．本装置の表面線量百分率をフリッケ線量計とＴＬＤで測定した．表面測定位置はフリッケ線量計では0.5mm深さ，ＴＬＤでは0.25mm深さであり，それぞれ水ファントーム，アクリル・ファントームを使用した．次に我々のデータとこれまで報告されている表面電離量百分率とを文献的に比較した．

III. 実験結果

1．深部電離量百分率

Ionex 0.6cc chamber による深部電離量の変動

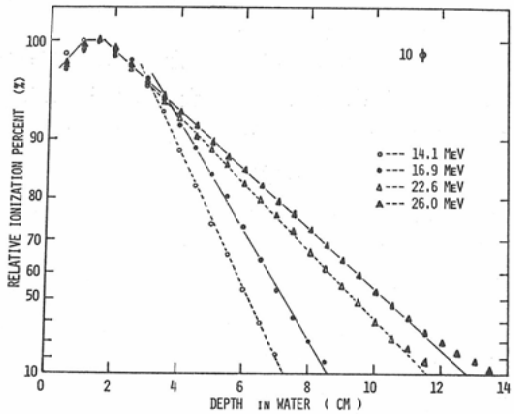

Fig. 1 Percent depth ionization curves for high energy electrons measured with the Ionex 0.6cc chamber. The field size is 10cm in diameter. Ordinate scale is an inversed logarithmic scale.

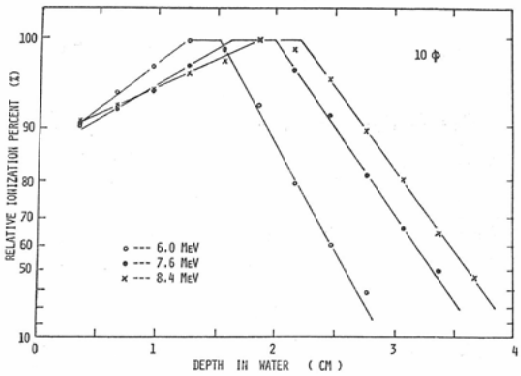

Fig. 2 Percent depth ionization curves for electron beams less than 10MeV. The field size is 10cm in diameter.

誤差は浅部で± 1.5%以内，深部，特に飛程の終り近くでは± 2.5% であつた．なお変動誤差 $\pm\delta$ %は平均値を $\bar{x}$，標準偏差を σ とすると $\delta=(\sigma/\bar{x})\times 100$ で表わされる．

10MeV 以上の入射エネルギーに関して，照射野10cmφ，SSD64.7cmにおける深部電離量百分率曲線を Fig. 1 に示す．各深部電離量百分率曲線はピーク位置以後の深部において逆対数グラフ上で直線に近似できる．Laughlin 等[28]も同様の実験結果を報告し，ピーク位置以後の深部電離量百分率 I (x) は次式で近似できることを示している．

$$I(x) = 110-10e^{\mu x} \qquad (5)$$

x：ピーク位置からの距離，cm

Fig. 1 において，入射エネルギー14.1MeV, 16.9 MeV の傾き μ は約95%および93% で変化している．制動放射線の影響は高エネルギー，つまりスキャタリングフォイルが厚くなるに従い増加し，深部で近似式からずれる傾向を示す．

入射エネルギー10MeV 以下の場合もピーク位置以後の深部において I(x) は (5) 式で近似できる．例として，Fig. 2 に入射エネルギー10MeV 以下に関して，照射野10cmφ，SSD64.7cmの深部電離量百分率曲線を示す．10MeV 以下の電子線に関してはコバルト用ビルドアップキャップを用いずに深部電離量を測定した．一般にビルドアップキャップを使用した場合と使用しない場合の違いは認められなかつた．入射エネルギー 8.4 MeV では Fig. 1 の14.1MeV, 16.9MeV と同様に μ が変化する傾向を示す．一方，ビルドアップ領域においても，深部電離量百分率曲線は逆対数グラフ上で直線になり，I(x) は (5) 式で近似できる．ただし，μ の値はピーク位置以後とビルドアップ領域では異なる．一般に係数 μ およびピーク位置は入射エネルギー，照射野，SSDに依存する．

なお，照射野10cmφ における深部電離量のピーク位置は，入射エネルギー 8.4MeV で 2.0± 0.2cm，7.6MeV で 1.8± 0.2cm，6.0MeVおよび10MeV 以上の高エネルギーで 1.3± 0.2cm であつた．

2．ラド変換係数

$2m_0C^2$ (1.022MeV) 以上の深部平均エネルギーについて，各入射エネルギーと深さにおける C_E 値を Kessaris の値を内挿して求めた (Table. 2)．Kessaris の計算[25]によると，$2m_0C^2$ 以下のエネルギーについては電子線の比電離の変化が大きく内挿できない．

Fig. 3 に入射エネルギー10MeV 以下の C_E 曲線を示す．この曲線は JARP Report[29] による校正深さ (1 cm) の勧告値を基にして，フリッケ線

Table 2　Values for C_E in water, intrapolated from Kessaris's values.

Depth in Water d/cm	Initial Electron Energy E_0 / MeV																														
	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
1.0	.922	.913	.904	.895	.886	.877	.870	.862	.856	.849	.843	.838	.834	.830	.827	.823	.820	.817	.814	.811	.808	.805	.803	.800	.798	.795	.796	.790
1.5					.885	.877	.870	.863	.856	.851	.846	.841	.837	.833	.830	.825	.822	.819	.816	.813	.810	.808	.805	.804	.801	.799	.797	
2.0					.893	.885	.877	.870	.864	.858	.853	.848	.843	.839	.835	.832	.828	.825	.822	.819	.816	.813	.811	.808	.806	.804	.801	
2.5					.903	.894	.885	.878	.871	.864	.859	.854	.850	.846	.842	.837	.834	.831	.827	.825	.821	.818	.816	.813	.811	.809	.807	
3.0					.915	.903	.893	.884	.877	.871	.866	.861	.856	.852	.848	.844	.840	.837	.833	.830	.827	.824	.821	.819	.816	.814	.811	
3.5					.930	.915	.903	.894	.885	.878	.872	.867	.862	.857	.853	.849	.845	.841	.838	.835	.832	.829	.825	.823	.820	.818	.816	
4.0					.947	.928	.914	.903	.894	.886	.879	.873	.818	.863	.859	.855	.851	.847	.843	.840	.836	.833	.830	.827	.824	.822	.819	
4.5						.945	.926	.913	.903	.893	.886	.880	.874	.869	.865	.860	.856	.851	.847	.843	.840	.837	.833	.831	.828	.826	.823	
5.0					.963		.945	.925	.911	.901	.894	.887	.881	.876	.871	.865	.860	.856	.851	.847	.843	.840	.837	.834	.831	.828	.826	
5.5								.946	.926	.913	.903	.896	.889	.883	.878	.871	.865	.860	.855	.851	.847	.844	.841	.837	.835	.832	.830	
6.0									.955	.933	.919	.908	.899	.892	.885	.878	.871	.866	.861	.856	.852	.848	.845	.842	.839	.836	.833	
6.5											.938	.921	.911	.902	.893	.885	.878	.872	.866	.861	.856	.852	.849	.845	.842	.839	.836	
7.0										.965		.948	.926	.913	.902	.893	.885	.878	.872	.867	.862	.857	.853	.849	.846	.843	.840	
7.5													.958	.932	.915	.904	.895	.887	.880	.875	.867	.862	.858	.854	.850	.847	.843	
8.0															.941	.922	.907	.899	.890	.882	.875	.869	.863	.859	.854	.851	.847	
8.5																.942	.923	.910	.899	.890	.882	.875	.869	.864	.859	.855	.852	
9.0															.959		.938	.920	.909	.898	.889	.882	.876	.870	.865	.861	.857	
9.5																	.956	.933	.918	.907	.897	.889	.882	.876	.871	.866	.862	
10.0															.926			.955	.931	.917	.906	.898	.890	.883	.878	.872	.868	
10.5																			.953	.935	.916	.906	.898	.890	.884	.878	.873	
11.0																				.946	.929	.916	.905	.897	.890	.884	.884	
11.5																					.943	.927	.915	.905	.898	.891	.886	
12.0																				.939		.942	.925	.914	.906	.899	.893	
12.5																							.938	.924	.915	.907	.900	
13.0																							.953	.940	.925	.915	.908	
13.5																								.959	.940	.926	.918	
14.0																									.959	.940	.929	
14.5																										.959	.943	
15.0																									.933		.960	
15.5																												

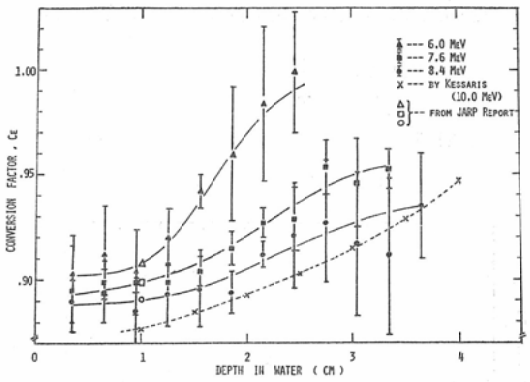

Fig. 3　Relationship between C_E values and depth in water.

量計による深部量百分率と Ionex 0.6cc chamber による深部電離量百分率の比から求めた．従つて，各深さに共通な補正因子，例えばフリッケ線量計のG値，ε値，密度，温度補正，電離箱のコバルト校正定数，大気補正等が含む誤差を考慮する必要がなくなつた．このようにして求めた C_E 値の変動誤差はフリッケ線量計の変動誤差，既ち浅部で± 1.0%，深部で± 1.5%と上述の電離箱の変動誤差が相乗され，浅部では±2%，深部では±4%になった．

Fig. 3より明らかなように，C_E 曲線は1cm以内の深さで平担になる傾向を示した．Fig. 3より求めた各入射エネルギーの C_E 値を Table 3に示す．

3.　深部量百分率

深部電離量百分率と C_E 値が求まれば深部量百分率が求まる．例として，Fig. 4に Ionex 0.6cc chamber で測定した入射エネルギー 6.0MeV, 7.6MeV の深部量百分率曲線を示す．照射野は10cmφ，SSDは64.7cmである．同様に Fig. 5は五角形照射野，SSD73.7cmについての深部量百分率曲線を示したものである．これらの図に LiF (TLD 700) powder で得たビルドアップ領域の深部量百分率の測定結果を記入する．Ionex 0.6

Table 3　Values for C_E in water.

Depth	Electron Energy (MeV)		
	6.0	7.6	8.4
0.35cm	0.901	0.893	0.888
0.65	0.904	0.895	0.890
0.95	0.907	0.899	0.891
1.25	0.918	0.903	0.893
1.55	0.938	0.909	0.897
1.85	0.960	0.916	0.902
2.15	0.979	0.925	0.909
2.45	0.990	0.935	0.916
2.75		0.945	0.922
3.05		0.952	0.928
3.35			0.932

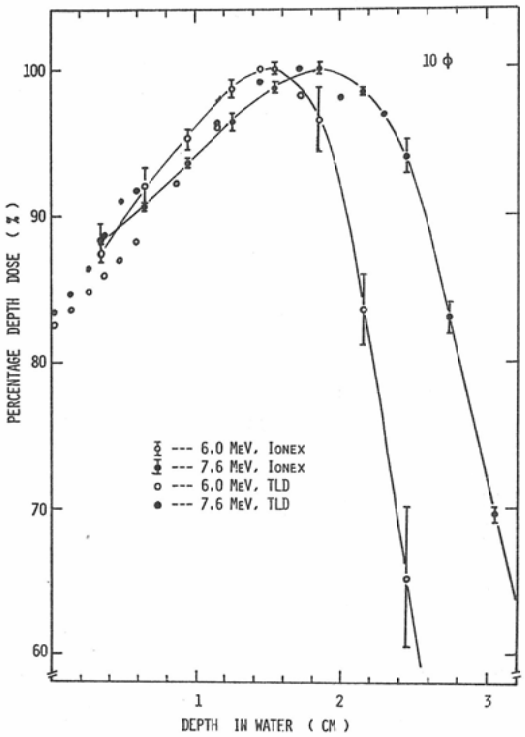

Fig. 4　Percent depth dose curves for 6.0MeV and 7.6MeV electron beams measured with the Ionex chamber and TLD.　Field size: 10cm in diameter, SSD: 64.7cm.

cc chamber による値とＴＬＤによる値はほぼ３％の範囲で一致した．なお，ＴＬＤの変動誤差は±３％であつた．

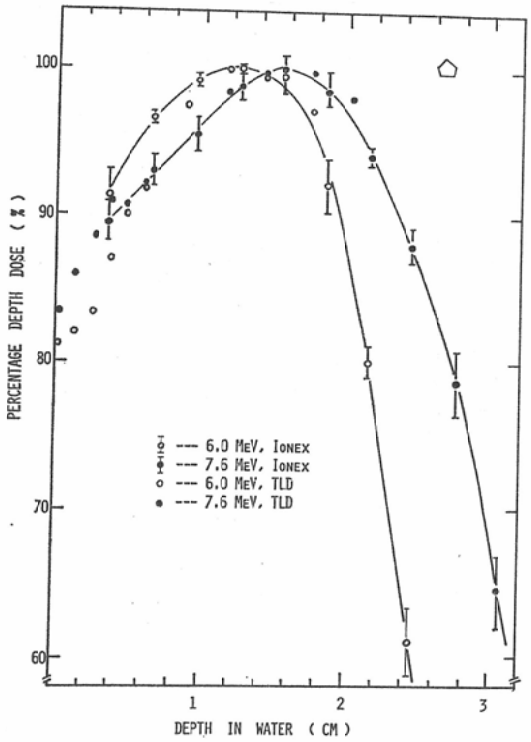

Fig. 5　Percent depth dose curves for 6.0MeV and 7.6MeV electron beams measured with the Ionex 0.6cc chamber and TLD.　Field size: pentagonal cone 4.5cm in one side, SSD: 73.7cm.

4.　表面線量百分率

フリッケ線量計とＴＬＤで測定した入射エネルギー10MeV 以下の表面線量百分率を Fig. 6 に示す．表面線量百分率は入射エネルギーの増大とと

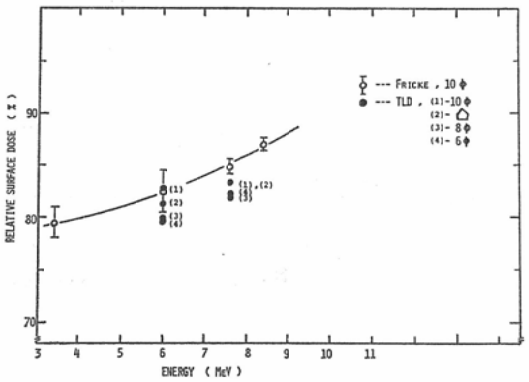

Fig. 6　Relationship between relative surface dose and electron energy.

もに大きくなり，照射野10cmφの場合，入射エネルギー6.0MeV，7.6MeV，8.4MeVではそれぞれ約83%，85%，87%であつた．一方，表面線量百分率は照射野の減少とともに小さくなる傾向を示したが，ツーブスの形状，材質に依存し[21]，また，TLDの測定精度から考えるとこの差は特に有意であるとはいえない．

IV. 考　按

1．線量計の大きさについて

入射エネルギー10MeV以下の電子線深部量を測定する場合，線量計を線束中に挿入することによつて生じる場のみだれについて十分考慮しなければならない．Ionex 0.6cc chamberの6mmφ空気層による場のみだれの補正には(2)(3)(4)式を用いた．この場合，6mmφ空気層の大きさ，および電子線の比電離の変化から考え，これらの計算式は$2m_0C^2$以下の$\bar{E}_d$に対しては不適当であろう．また，(4)式の$(E_p)_0$はICRU Report 21[23]では入射エネルギーE_0とのみ報告されており，入射最頻エネルギー$(E_p)_0$が適用できるかどうかは今後検討する必要がある．

フリッケ線量計の厚さは1mm，溶液の密度は1.002g・cm^{-3}，壁はマイラー0.3mmであり，場のみだれ，密度効果は無視できる．しかし，フリッケ線量計の電子線束に対する断面積は3.3cmφもあり，小さな照射野には使用できない．従つて，この実験ではフリッケ線量計を10cmφの照射野についてのみ使用した．照射野10cmφの等線量百分率曲線は約30%以下で平坦でなくなり，フリッケ線量計による測定値（容積3.3cmφ 1mmに吸収される線量の平均値）は実際の中心軸深部吸収線量より小さくなる．従つて，今回は深部量百分率が30%以上の深さに関してのみ測定し，フリッケ線量計の大きさによる誤差を無視した．またフリッケ線量計支持器は大部分が線束外になるように作成し，支持器による場のみだれを無視しえるようにした．

TLDの大きさは1cmφ×0.5mm，密度は約1.3で場のみだれ，密度効果は無視できる．一般にTLDの形状により見かけ上のレスポンスが変動し，電子線のエネルギー依存性が生じるといわれている[12)13)29)]しかし，LiFは理論的にはエネルギー依存性はなく，もしあつても電離箱のように密度効果はなくエネルギー依存性は小さい[29)35)]ので，今回はTLDの厚さを0.5mmと薄くして，照射時の形状と測定時の形状をほぼ一定にすることにより，エネルギー依存性を考慮しなくてもよいようにした．

2．深部電離百分率について

本装置では深部電離量百分率I(x)は(5)式で近似できることを示した．しかし，他の装置でもI(x)が(5)式で近似できるかどうかは今後検討する必要がある．

我々とLaughlin等[21]による実験結果の相違を比較すると，本装置では(5)式は入射エネルギー約30MeVまで一応適用できるが，中エネルギー（約8～20MeV）の約93%以上で係数μが変化し，ピーク位置は入射エネルギー8～10MeVで一番深くなる．一方，Laughlin等は，(5)式は入射エネルギー20MeV以下のピーク位置以後に関してのみ適用でき，μは各深さ一定であり，ピーク位置は入射エネルギーが高くなるほど深部へ移動すると報告している．ピーク位置に関して，服部等[21]はToshibaベータトロン，Siemensベータトロンで我々と同様のデータを得ている．つまり，今後(5)式の係数μおよびピーク位置がツーブスの形状，材質，スキャタリングフォイルの材質，厚さおよびSSDの変化によりいかに変化するかを詳しく検討する必要がある．

3．深部平均エネルギー$\bar{E}_d$が$2m_0C^2$(1.022MeV)以下の深さにおける線量測定について

$\bar{E}_d$が$2m_0C^2$以下の深さにおいては，指頭型電離箱による深部電離量，C_E値およびフリッケ線量計による深部吸収線量を正確に求めることができなかつた．しかし，放射線治療においてはこの深さの深部吸収線量はあまり重要でなく，$\bar{E}_d$が$2m_0C^2$以上の深さにおける深部量百分率曲線から外挿法で求めれば十分であろう．

4．表面吸収線量について

各入射エネルギーのピーク吸収線量が正確に求

まれば，術中照射において特に重要な表面吸収線量を十分満足できる精度で求めることができる．また，表面線量百分率は入射エネルギーが同一であれば，術中照射に使用する範囲の照射野（6cmφから10cmφまで），SSDでは5％以内の相違であり，治療計画において表面線量百分率の違いについて特に考慮を払う必要はない．

今回得たデータを服部等[21]尾内等[38] Lavghlin等が電離箱で測定した表面電離量百分率と比較すると数％小さな値になるが，我々のデータは吸収線量百分率であり，他のデータは電離量百分率であり，また装置の違いを考慮すれば特に差は認められなかつた．

V. 総括ならびに結語

入射エネルギー10MeV 以下の電子線々量測定を中心に実験を行つた．

1．本装置の深部電離量百分率曲線はピーク位置以後のみならず，全領域で逆対数グラフ上で直線に近似でき，深部電離量百分率 I(x) は $I(x)=110-10e^{\mu x}$, x：ピーク位置からの距離，cmで近似できる．ただし，係数 μ の値はピーク位置以後とビルドアップ領域では異なる．係数 μ およびピーク位置は入射エネルギー，照射野，SSDに依存する．

2．ICRU Report 21 および JARP Report による C_E 値を基にして各入射エネルギー，深さに関する C_E 値を決定し，コバルト用指頭型電離箱による深部量百分率を求めた．またTLDでビルドアップ領域の深部量百分率を求め，電離箱による値と比較するとほぼ3％の範囲で一致した．

3．術中照射では表面吸収線量が特に重要になる．本装置の表面線量百分率をフリッケ線量計とTLDで求めた．6.0MeV，7.6MeV，8.4MeVの表面線量百分率は照射野10cmφでそれぞれ約83％，85％，87％であつた．入射エネルギーが同一であれば，術中照射に使用する範囲の照射野，SSDでは5％以内の相違であつた．

本論文は術中照射における線量測定を中心に報告したが，一般外部照射時においても照射対象が均一物質（水）と考えられる場合は今回のデータが使用できる．

本実験を行うにあたり御協力戴きました小野山靖人助教授はじめ京大病院放射線治療室の諸兄氏に感謝いたします．なお，本論文の要旨は第153回医学放射線学会関西地方会において発表した．

文　献

1) 阿部光幸，山野　究：術中照射の経験例，日癌治，2（1967）130—131．
2) 阿部光幸，荒川正夫：術中照射に関する基礎的研究，日癌治，2（1967）271—278．
3) 阿部光幸，山野究，井村寿男，松田　晋：腹部腫瘍に対する術中照射療法について，第1報：膵頭部ならびに胆道系の癌に対する術中照射療法，日本医放会誌，29（1969）75—85．
4) 阿部光幸，松田晋：術中照射法とその適応について，癌の臨床，16（1970）397—399．
5) 阿部光幸：術中照射の意義とその成果について，日癌治，5（1970）73—75．
6) 阿部光幸，山野　究，松田　晋：腹部腫瘍に対する術中照射療法について，第3報：結腸癌ならびに後腹膜腫瘍に対する術中照射療法，日本医放会誌，29（1970）1488—1493．
7) 阿部光幸：術中照射と線量配分問題，癌の臨床，17（1971）375—377．
8) Abe, M., Fukuda, M., Yamano, K., Matsuda, S. and Handa, H.: Intra-operative irradiation in abdominal and cerebral tumours, Acta Radiologica, 10 (1971), 408—416.
9) Abe, M.: Problems in determining an optimal single dose in intra-operative irradiation, Fraction size in Radiobiology and Radiotherapy, edited by T. Sugahara, L.Révész, O. Scott., 159—172, Igakushoin LTD, Tokyo, (1973).
10) Abe, M., Takahashi, M. and Yabumoto, E.: Intra-operative radiotherapy of advanced cancers, strahlentherapie, 146 (1973), 396—402.
11) 阿部光幸，藪本栄三，高橋正治，戸部隆吉：胃癌に対する術中照射の研究，日本医放会誌，34（1974）146—154．
12) Almond, P.R. and McCray, K.: The energy response of LiF, CaF- and $Li_2B_4O_7$:Mn to high energy radiations, Phy. Med. Biol., 15 (1970), 335—342.
13) 安徳重敏，砂屋敷忠，竹下健児：高エネルギー放射線に対する電離箱および LiF のエネルギー依存性，日本医放会誌，33（1973）臨時増刊号，56—57．
14) 安徳重敏，砂屋敷忠，竹下健児：高エネルギーX線および電子線に対する電離箱のラド変換係数について，日本医放会誌，33（1973）

638—688.
15) 福田　正：京大病院に新設の 32 MeV ベータトロン,, 日本医放会誌, 28 (1968) 885—886.
16) 福田　正, 阿部光幸：難治悪性腫瘍に対する術中照射療法について, 癌の臨床, 15 (1969) 87—89.
17) 福田　正, 阿部光幸：「術中照射法」の提唱, 日本医事新報, 2350号 (1969) 28—31.
18) 福田　正, 阿部光幸, 山野究, 松田晋：腹部腫瘍に対する術中照射療法について. 第2報：胃癌に対する術中照射療法, 日医放会誌, 29 (1969) 390—397.
19) Harder, D.: The effect of Multiple Electron Scattering on the Ionization in gas-filled Cavities, Biophysik, 5 (1968), 157—164.
20) 服部浩之, 北川俊夫, 北畠　隆：高エネルギー電子線治療における骨の影響, 日本医放会誌, 27 (1968) 1457—1462.
21) 服部浩之, 松田忠義, 北畠　隆：Betatron 電子線の表面近傍での線量分布, 日本医放会誌, 28 (1968) 994—1001.
22) 星野一雄, 稲田哲雄, 松沢秀夫：10～30 MeV 電子線のエネルギーと実用飛程の関係, 日本医放会誌, 34 (1974) 433—439.
23) ICRU: Report 21. Radiation Dosimetry: Electrons with initial energies between 1 and 50 MeV. ICRU Publications, washington D.C., (1972).
24) 稲田哲雄, 岡本十二郎：電子線深部線量の骨による減弱, 日本医放会誌, 31 (1971) 7—12.
25) Kessaris, N.D.: Spectra of High-Energy Electron Beams in water, Radiation Research, 43 (1970), 281—287.
26) Kessaris, N.D.: Absorbed Dose and Cavity Ionization for High-Energy Electron Beams, Radiation Research, 43 (1970), 288—301.
27) 楠本五郎, 陶山忍勲, 安徳重敏：電子線の表面線量の測定および金網による相対的増加, 日本医放会誌, 33 (1973) 256—261.
28) Laughlin, J.S., Ovadia, J., Beattie, J.W., Henderson, W.J., Harrey, R.A., Haas, L.L.: Some Physical Aspects of Electron Beam Therapy, Radiology, 60 (1953), 165—185.
29) 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, 通商産業研究社, (1974).
30) 西台武弘, 小野山靖人, 阿部光幸, 高橋正治, 陶山純夫：熱蛍光線量計に関する基礎的研究：第2編, 各種熱蛍光体の線量依存性—とくに supralinearity について, 33 (1973) 889—902.
31) 西台武弘, 阿部光幸, 陶山純夫：TLDの supralinearity について, KURRI-TR- 120 (1973) 11—15.
32) 野原弘基, 小室裕冉, 湯川　豊, 西台武弘, 陶山純夫：術中照射の照射術式に関する研究, 日放技学会誌, 30 (1974) 51—55.
33) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅三, 内田　勲, 梅垣洋一郎, 松川収作：種々の測定法による電子線の深部線量測定, 日本医放会誌, 29 (1970) 1474—1483.
34) 白貝彰宏, 野田博治, 加藤義雄：弗化リチウム熱ルミネッセンス線量計による高エネルギー電子線の線量分布測定, 日本医放会誌, 28 (1969) 1360—1364.
35) 白貝彰宏, 安徳重敏, 星野一雄, 加藤義雄, 橋詰雅：高エネルギー放射線の線量測定に関する国内相互比較：第一報, 高エネルギー電子線についての予備的相互比較, 日本医放会誌, 34 (1974) 422—427.
36) 陶山純夫, 西台武弘, 小野山靖人：電子線の吸収線量の測定, 第147回日本医学放射線学会関西部会にて発表, (1973).