



Title	Betatronの電子線の表面近傍での線量分布 : 照射筒, Scattering foilの及ぼす影響 (超高圧照射法の研究 第19報)
Author(s)	服部, 浩之; 松田, 忠義; 北畠, 隆
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1968, 28(7), p. 994-1001
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16903
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Betatron 電子線の表面近傍での線量分布

照射筒, Scattering foil の及ぼす影響

(超高圧照射法の研究 第19報)

愛知県がんセンター研究所放射線部

服部 浩之

豊橋市民病院放射線科

松田 忠義

新潟大学医学部放射線医学教室

北 島 隆

(昭和42年12月27日受付)

Electron Dose Distributions near the Body Surface

By

Hiroyuki Hattori, Tadayoshi Matsuda

and Takashi Kitabatake

Depth dose distributions of electron beams emitted from two betatrons were measured by means of a shallow chamber. Each distribution near the surface region was shown the some difference which may be caused by non similarity of shape and materials of cone and scattering foil. Conclusions obtained are as follows: The large build up effect occurs in the case of lower energy and larger irradiation field. The surface dose is less than 90% of maximum dose in the case of lower than 10 MeV of energy and larger than $S/L = 1.0$ of irradiation field. Depth of the peak dose exists in the range of 1.0 ± 1.0 cm in the case of usual scattering foil though it is different in each case. The energy loss owing by scattering foil was determined by means of extrapolation range method.

The comparison of two depth dose curves measured by a shallow chamber and a fluoro glass dosimeter suggested that the effective center of each dosimeter coincides with its geometrical center in the deep phantom depth.

緒 言

Betatron 電子線治療の際に生ずる皮膚障害は電子線 Energy, 照射野などのちがいによつて, その程度が異なることが臨床的に観察されている. 照射野中心の深部率曲線については, 既にいくつかの理論的¹⁾²⁾, 実験的^{3)~16)}に求めた結果が発表さ

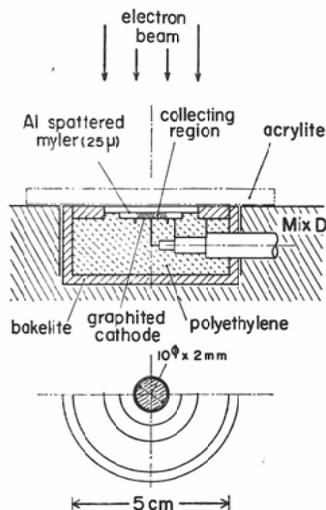
れているが, それらの表面近傍での線量分布は必ずしも一致していない. このことは測定方法のちがいにも依るであろうが, 電子線の Energy spectrum は Scattering foil や照射筒の形状, 材質に影響され易いので, 個々の装置によつて異なる線量分布を示す可能性もある. そこで2台の異なる装置に

ついでその表面線量が Energy, 照射野, 照射筒の材質, Scattering foil などと如何なる関係にあるかを Shallow chamber を用いて測定, 比較し, 併せて Scattering foil による Energy 減少量を求めた. 更にガラス線量計を用いて深部率曲線を求め, 表面線量, 線量計の実効中心についての検討を加えたので報告する.

実験方法および装置

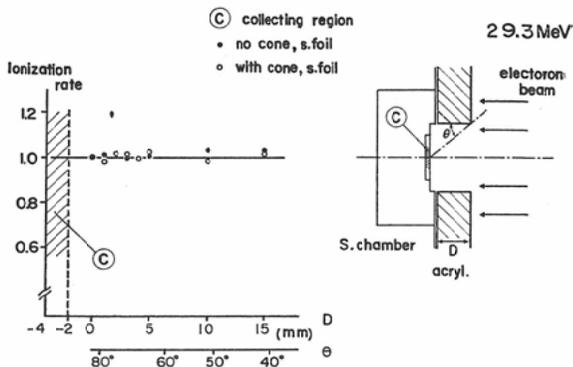
測定した装置は愛知がんセンターの東芝製 BMR-31型 Betatron および豊橋市民病院の Siemens 製18 MeV Betatron である. 東芝 Betatron の照射筒は前報¹⁷⁾に述べた如く, 4×4 cm 以上のものは内壁 Al, 外壁 Pb 製であり, (SSD) は 54cm, (FSD) は 100cm である. また 4ϕ cm 以下の照射筒は黄銅製であり, 前記のものより 20cm 長い. 一方, Siemens Betatron の照射筒は黄銅様合金であり, (SSD) は 45cm, (FSD) は 75

Fig. 1 Section views of the shallow chamber. A chamber is mounted in the Mix D block, and the measurement was done by piling up thin acrylite plates.



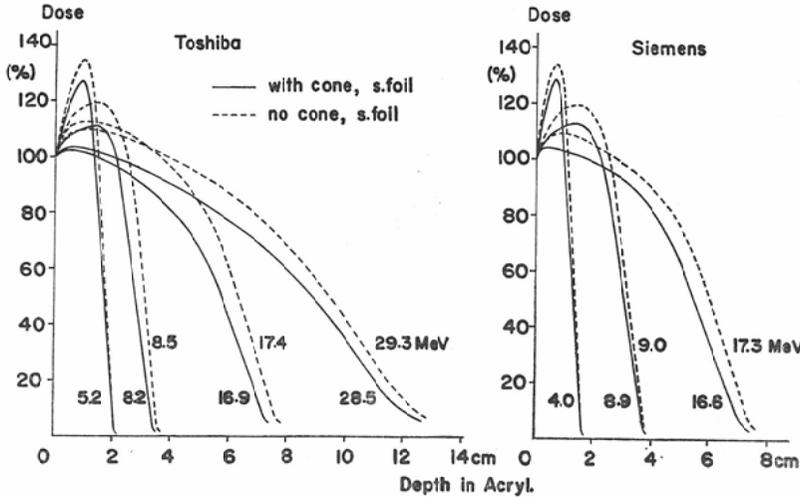
cm である. 用いた Scattering foil (以後 S. foil と記す) は図 6 に示す材質, 厚さのものである. 更に照射筒内壁からの散乱線を減少させる目的で, 内壁に Acryl. および Al+Pb 製の深い絞

Fig. 2 Side wall effect of the shallow chamber. Collecting region is under 3mm from surface. But it can measure surface dose in every case.



りの付いた照射筒 (以後, 防散筒と記す) を作製し, 東芝 Betatron に取付けてその効果を調べた. 測定器は図 1 に示す如き構造の東芝製 Shallow chamber (以後, S. chamber と記す) である. この S. Chamber の表面電極は 3.3 mg/cm^2 の厚さがある. 有効電離槽容積は $10\phi \times 2 \text{ mm}$ であり, 極間電圧は 22.5V である. Boag¹⁸⁾ の式より計算して, 100r/min 以下の 60pps 電子線に対しては 98% 以上の効率を有しており, 再結合効果は無視出来る. また Stem に電子線が照射されて流れる電流は最大照射野においても電離電流の 1% 以下であること, および Acryl. と Polyethylen の後方散乱のちがいは無視し得ることを実験的に確かめた. この S. chamber の集収領域は表面より 3mm 程下にある. そこで S. chamber 上に側壁の穴径に等しい穴のあいた Acryl. 板を積載して 29.3 MeV 電子線について側壁の影響を調べた. これを図 2 に示す. この結果, 側壁からの散乱線は無視出来ることが分つた. この S. chamber を $30 \times 30 \times 20 \text{ cm}$ の Mix D 製の Block 中にその表面を一致させて埋め込み, その上に厚さを 1mm 間隔で変えられる Acryl. 板を積載して照射野中心での深部率曲線を求めた. Acryl. 板の厚さは Micrometer で測定し深さの精度を高めた. Acryl. 板の密度は平均 1.18 g/cm^3 であり, その Z/A は Methacryl 酸の分子式から 0.54 となる. それ故 Acryl. の水等価厚さは 1.14 倍となる. また東芝蛍光ガラ

Fig. 3 Depth dose curves of two betatrons. 10×10 cm, Al+Pb cone was used for Toshiba and 10ϕ cm, brass like metal cone for Siemens. Scattering foil used are shown in Fig. 6. Energy values are determined by means of extrapolated range method of Markus¹⁹⁾.



ス線量計 (以後, F. Glass と記す) の測定子は $1\phi \times 6$ mm である. これを Acryl. 板中に表面を一致させて埋め込み, S. chamber の場合と同じ方法で深部率曲線を求めた.

結果

(i) Shallow chamberによる測定

S. chamber を用いて求めた深部率曲線の幾例かを図3に示す. 破線は照射筒, S. foil のない場合であり, 実線はそれらのある場合である. 照射筒は東芝 Betatron については 10×10 cm, Siemens Betatron については 10ϕ cm であり, それぞれ所定の S. foil を用いている. 2つの場合の差を明瞭に示すために, 曲線は表面線量で一致させてある. 図に示す如く両装置で若干のちがいはあるが, いずれの場合も高 Energy の方が Build up 効果は小さい. また同一 Energy では照射筒, S. foil のある場合の方が Build up 効果は小さくなっている. これは S. foil からの低 Energy 散乱線が表面近くの線量を増加させることによるものと思われる. また S. foil による Energy の減少が外挿飛程の縮少となつて現われている. 各々の深部率曲線をその最大線量点で一致させたときの表面線量と Energy との関係を図4に示す. 最大線

量点 (以後, peak と記す) の水中に換算した深さを図5に示す. 高 Energy では peak 付近の線量変化はなだらかであり, peak の位置は決め難い. それ故最大線量を 100%としたときの99%範囲を縦線で示す. 図の如く照射筒, S. foil のある場合の peak の位置はそれらのない場合よりも

Fig. 4 The relationship of energy and surface dose. Per-cent dose shows the ratio of surface dose to maximum dose.

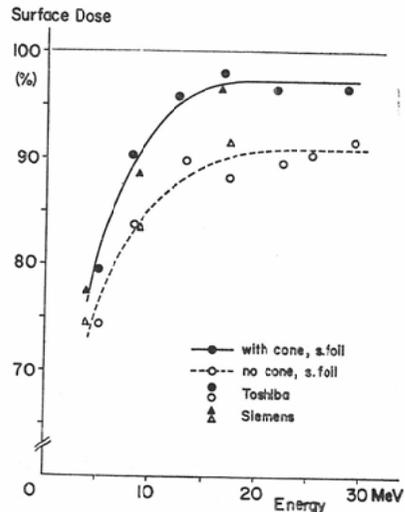
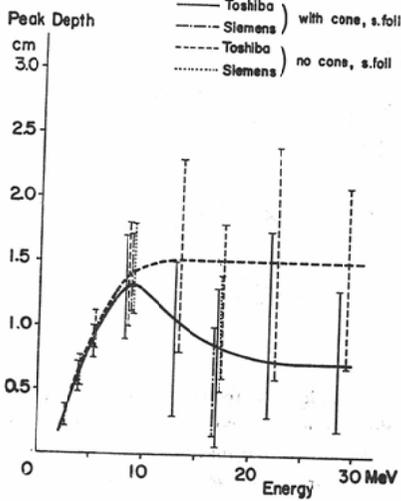


Fig. 5 The relationship of energy and depth of peak dose. The depth is one in water converted from acrylite. Longitudinal lines show the 99% range of each depth dose curve.



一般に浅くなる。しかしその程度は照射筒 S. foil の組合せでいろいろに変わり一般性はないであろう。この場合は 8 MeV 付近で最も深くなり、それ以上の Energy では幾分浅くなる傾向にある。これは S. foil が厚くなり、表面近くで吸収される散乱線が増加することの為と思われる。次に各

Fig. 7 Depth dose curves of two betatrons and scattering proof cones. The relationship of the shape of curves and field size for two betatrons is in the same tendency. For 6φ cm cone, the more scattering proof, the less build up effect is.

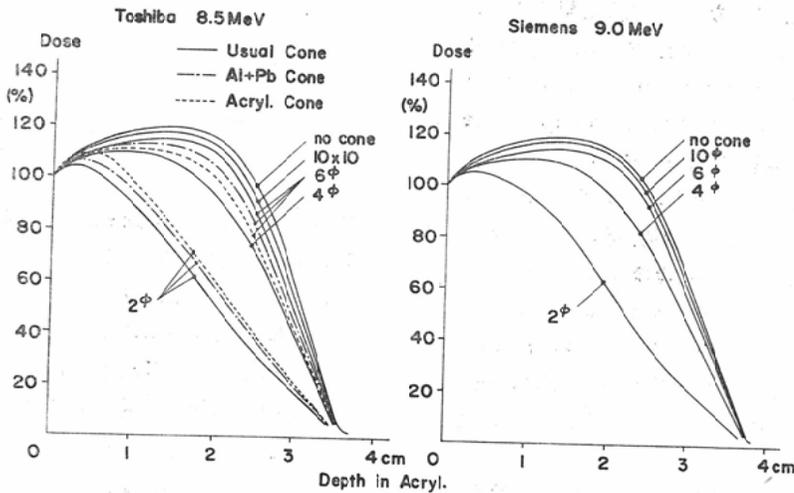
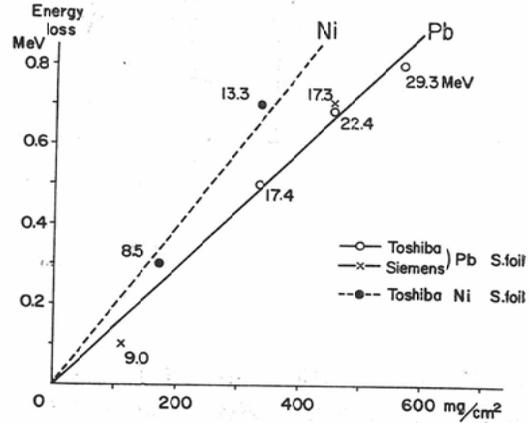


Fig. 6 The energy loss caused by various scattering foils. Loss values are determined by the difference of two extrapolated range, one is the range in the case of using scattering foil, and the other is no scattering foil.

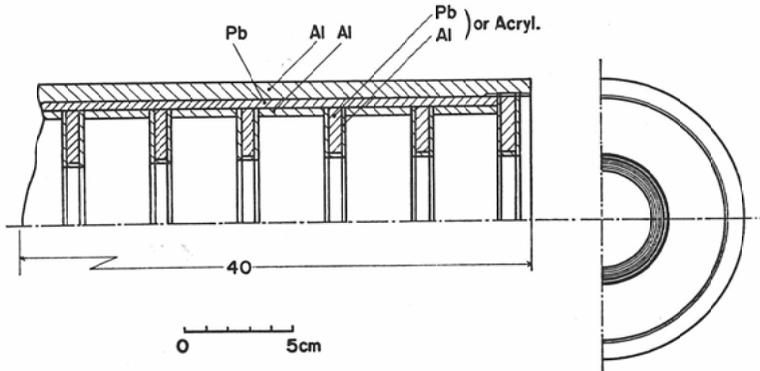


S. foil について外挿飛程の差より算出した Energy 減少量を図 6 に示す。計算は Markus¹⁹⁾ の Energy と外挿飛程の関係式にもとづき、それを変形した次の式によつた。

$$\Delta E = 3.51 \rho \left(\frac{Z}{A} \right)_{\text{eff}} \cdot (R_1 - R_2) \quad (1)$$

ここで、 ΔE : Energy 減少量 (MeV), ρ : Acryl. の密度 (g/cm^3), (Z/A) : Acryl. の実効電子密

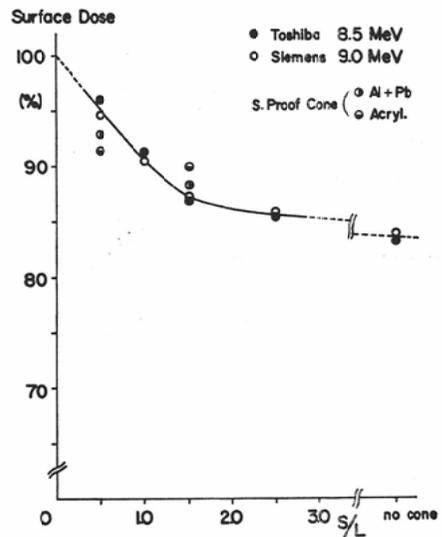
Fig. 8 The section view of scattering proof cone. Internal diameters of cone are 6ϕ cm and 2ϕ cm for Al+Pb or acrylite iris.



度比 (0.54), R_1 および R_2 : それぞれ S. foil のない場合, ある場合の外挿飛程 (cm) である. Acryl. 板の厚さは Micrometer で測定されており (R_1-R_2) は比較的正確に求まる. 図に示される如く, Pb の方が Ni より同一の平均散乱角を得るのに少ない Energy 損失で済むことが分る. 次に両 Betatron の種々の照射筒, および防散筒について測定した深部率曲線を図 7 に示す. 防散筒の概略は図 8 に示す. この防散筒は Acryl. および Pb をはさみ込んだ Al 板で出来ている. 図 7 の左は東芝 Betatron, 8.5 MeV, S. foil なしの場合に所定の照射筒と防散筒について求めたものである. 図の如く照射野が小さくなるに従って Build up 効果は小さくなり, 減衰も早まる. 防散筒については, 2ϕ cm の場合 Acryl. 絞りのものは所定の照射筒より Build up を 6% 程高めている. しかし 6ϕ cm に於いては Build up の大きさの順序が所定の照射筒, 防散 Al+Pb 絞り, 防散 Acryl. 絞りとなっている. 図 7 の右は Siemens Betatron, 9 MeV, 所定の照射筒についてのものであり, 東芝 Betatron とほぼ同様の傾向にあることが分る. これらの結果をまとめると図 9 の如くなる. 即ち, 8.5~9.0 MeV の場合, 特殊な形状である防散筒を除いて表面線量は照射野が 6ϕ cm 以下になると次第に増加する. それ以上の照射野では漸減するが大きな変化はない.

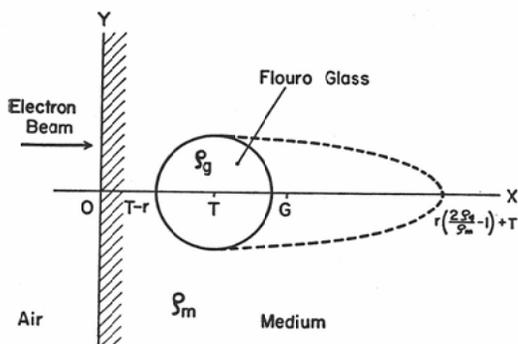
(ii) 蛍光ガラス線量計による測定

Fig. 9 The relationship of S/L of field and surface dose. Per-cent dose are the ratio of surface dose to maximum dose. Two betatrons show the fairly same relationship.



F. glass を用いて表面近傍の線量分布を測定する際には F. glass 測定子の実効中心が問題となる. F. glass 測定子の密度は 2.76g/cm^3 であり, Acryl. の密度の約 2.5 倍程ある. 今, 電子線の吸収は吸収体の密度に比例し, かつ Hardar 等²⁰⁾の泡箱中の電子線軌跡に観られる如く表面近くでは一次電子線は直進すると仮定する. この場合図 10 に示す如き関係から実効中心 (G) が定まる. 即

Fig. 10 The difference between effective center (G) and geometrical center (T) of flouro glass dosimeter. The density of glass is ρ_g and the medium ρ_m . Electrons are assumed to be penetrating straightly in the surface region.



ち (G) と幾何学的中心 (T) の差 (δ) は次式で与えられる。

$$\delta = G - T = \frac{\int_{-r}^r \left[(T - \sqrt{r^2 - y^2}) + \frac{\rho_g}{\rho_m} \sqrt{r^2 - y^2} \right] \cdot 2\sqrt{r^2 - y^2} dy}{\int_{-r}^r 2\sqrt{r^2 - y^2} dy} - T = \frac{8r}{3\pi} \left(\frac{\rho_g}{\rho_m} - 1 \right) \quad (2)$$

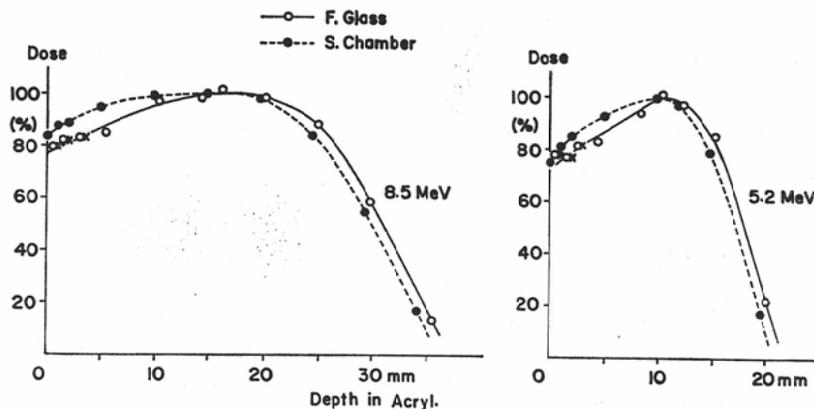
ここで、 r : 測定子の半径 (cm), ρ_g および ρ_m : それぞれ測定子, 吸収体の密度 (g/cm^3) である。(2)式より $\rho_m = 1.18$ の Acryl. については $\delta a = 0.56\text{mm}$ となり, $\rho_m = 1.0$ の水については δw

$= 0.73\text{mm}$ となる。実際には測定点が深くなる程、側方、後方からの散乱線が増加するので δ はこれより小さくなるものと思われる。即ち δ は実効中心のズレの上限を示すものである。F. glass による測定結果を図11に示す。各測定点は3本の測定子を両端から測定した6個の測定値の平均を示す。(x)印は深さ3mm以下の測定点に(2)式の補正を行つたものである。図に示される如く5.2 MeV, 8.5 MeV 共に S. chamber 測定値との共通のちがいが観られる。即ち表面線量は F. glass による測定の方が数%小さくつており、また飛程未部に深さ1mm程度の差がある。しかし深部率曲線の形、Build up の傾向はほぼ同様である。

考 察

S. chamber で測定した線量は電離電流比である。これより吸収線量比を出すには各深さでの質量阻止能、従つて電子線の Energy spectrum が必要である。Energy spectrum²¹⁾ および Rad 換算係数²²⁾²³⁾ についてなされた幾つかの研究結果は深さによる質量阻止能比の変化が比較的少ないことを示している。即ち深さ0と1.5cmで生ずる約3 MeV の Energy 変化は、深さ0の点の Rad 換算係数を1.5cmの点に較べて高々1.5~2.0%減少させるにすぎない。この他にBuild up領域では分極効果が問題となるが、それについては電極電位の逆転が出来ぬため調べられなかつた。Co⁶⁰

Fig. 11 The comparison of two depth dose curves measured by flouro glass and shallow chamber. The difference of about 1mm depth in deep region suggests the coincidence of geometrical and effective center.



γ 線などに較べて Build up 効果の小さい電子線では分極効果は殆んど影響しないのではなからうか。S. chamber と F. glass で測定した表面線量の若干の差異については種々の原因が考えられるが、確かにいずれとも決め難い。深さ方向のちがいは、S. chamber および F. glass の実効中心が十分深いところではその幾何学的中心と一致していることによるものと思われる。即ち図11でそれぞれの深さが F. glass では幾何学的中心に、また集収領域厚さ2mmの S. chamber では表面にとられているので、結局1mmの差が生ずるのである。東芝、Siemens 両 Betatorm の照射筒、防散筒の測定結果および他の報告²⁴⁾などを比較すると次のことが結論づけられる。即ち大、中口径の照射筒では、材質は高原子番号のもの、形状は平滑なものが深部率曲線の所謂“肩”をより深くする。これは、筒内壁の散乱能が高い方が一次線に近い高 Energy 散乱線を多量に発生し、しかもそれらの散乱線は収束的な方向を有しているので側方散乱による深部率の減衰を遅らすことによるものと思われる。

以上のことから、表面線量、深部率曲線の形は個々の装置によつて幾分異なるので、それらの精密測定をしても一般性があまりないようである。それ故、上述の如き測定結果で臨床レベルではほぼ満足できるのではあるまいか。

結 語

2台の Betatron 電子線(4~30 MeV)の深部率曲線を S. chamber を用いて測定した。その結果、表面近傍での線量分布は装置によつて若干の相異はあるが、一般に低 Energy、大照射野である程 Build up 効果が大きいことが分つた。通常の S. foil および照射筒を用いた場合、表面線量が90%以下となるのは Energy 10 MeV 以下で照射野の比較的大きい(10 MeV では S/L=1.0以上)場合である。また最大線量点の深さは個々の場合で異なるが、通常の S. foil 使用の場合には 1.0±1.0cm の範囲にある。S. foil による Energy 損失は 0.5mm Pb で 0.8 MeV 程度である。大、中口径の照射筒は高原子番号材、平滑

内壁で高散乱能となるものが深部率を良くする。吸収体深部での S. chamber および F. glass の実効中心はその幾何学的中心と一致している。

(本研究の要旨は昭和42年10月12日、日医放学会第18回物理部会で発表した。)

文 献

- 1) Kessais, N.D.: Calculated absorbed dose for electrons. Radiation Research 23 (1964), 630—640.
- 2) Kessais, N.D.: Penetration of high energy electron beams in water. Physical Review 145 (1966), 164—174.
- 3) Laughlin, J.S., Ovadia, J., Beattie, W., Henderson, W.J., Harvey, R.A. and Hass, L.L.: Some physical aspects of electron beam therapy. Radiology 60 (1953), 165—185.
- 4) Decken, C.B.: Tiefendosiskurven bei der Bestrahlung mit schnellen Elektronen in Abhängigkeit von der Energie und der Fldgröße. Strahlentherapie 101 (1956), 204—207.
- 5) Hsieh, C.L. and Uhlmann, E.M.: Experimental evaluation of the physical characteristics of a 45 MeV medical linear electron accelerator. Radiology 67 (1956), 263—272.
- 6) Breitling, G.: Transitionskurven schneller Elektronen in verschiedenen Medien. Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958), 83—87.
- 7) Markus, B.: Oberflächenschichtbestrahlungen mit schnellen Elektronen eines Betatrons. Strahlentherapie 112 (1959), 260—265.
- 8) Markus, B.: Dosisverteilungen schneller Elektronen zwischen 3 und 15 MeV und ihre Beeinflussung durch Herdblendend und Tubusse. Strahlentherapie 113 (1960).
- 9) Karzmark, C.J., Loevinger, R., Steele, R.E. and Weissbluth, M.: A technique for large-field, superficial electron therapy. Radiology 74 (1960), 633—644.
- 10) Loevinger, R., Karzmark, C.J. and Weissbluth, M.: Radiation therapy with high energy electrons. Radiology 77 (1961).
- 11) Beattie, J.W., Tsien, K.C., Ovadia, J. and Laughlin, J.S.: Production and properties of high energy electrons for therapy. Am. J. Roentgenol. 88 (1962), 235—250.
- 12) Markus, B.: Beiträge zur Entwicklung der Dosimetrie schneller Elektronen. Strahlentherapie 124 (1964), 33—53.
- 13) Wüntner, K. und Forst, D.: Oberflächen-dosen schneller Elektronen im Energiebereich

- von 8 bis 36 MeV. Strahlentherapie 123 (1964), 503—507.
- 14) Svensson, H. and Hettinger, G.: Measurement of doses from high-energy electron beams at small phantom depths. Acta Radiol. (Therapy) 6 (1967), 289—293.
- 15) Almond, P.R. and Lontz, J.F.: The use of Lithium Fluoride thermoluminescent dosimeters to measure the dose distribution of a 15 MeV electron beam. Phys. Med. Biol. 12 (1967), 389—394.
- 16) Hettinger, G. and Svensson, H.: Photographic film for determination of isodose curves from betatron electron radiation. Acta Radiol. (Therapy) 6 (1967), 74—80.
- 17) 服部浩之：高エネルギー電子線の線量分布，日医放，掲載予定。
- 18) Boag, J. W.: Ionization measurements at very high intensities. Brit. J. Radiol. 23 (1950), 601—611.
- 19) Markus, B.: Energiebestimmung schneller Elektronen aus Tiefendosiskurven. Strahlentherapie 116 (1961), 280—286.
- 20) Harder, D., Harigel, G. und Schultze, K.: Bahns Spuren schneller Elektronen. Strahlentherapie 115 (1961), 1—21.
- 21) Dolphin, G.W., Gale, N.H. and Bradshaw, A.L.: Investigation of high energy electron beams for use in therapy. Brit. J. Radiol. 32 (1959), 13—17.
- 22) Markus, B.: Beiträge zur Entwicklung der Dosimetrie schneller Elektronen, Strahlentherapie 123 (1964), 508—533.
- 23) Johns, H.E., Aspin, N. and Baker, R.G.: Currents induced in the dielectrics of ionization chambers through the action of high-energy radiation. Radiation Research 9 (1958), 573—588.
- 24) 松沢秀夫，川島勝弘，平岡武：高エネルギー電子線の線量分布，日医放，第26巻2号（昭41），221—226。