

高エネルギー電子線治療における 斜入射線量分布の補正

(超高圧照射法の研究 第21報)

愛知県がんセンター放射線部

奥 村 寛

(昭和43年6月20日受付)

A Correction Method of Dose Distribution of High Energy Electron Beams in Oblique Incidence

By

Yutaka Okumura

From the Department of Experimental Radiology, Aichi Cancer Center
Research Institute, Nagoya

A method to correct dose distribution of high energy electron beam in oblique incidence was studied. This method is composed of two steps. The first is to shift the standard isodose curve the distance of air space between the treatment cone and the incidence surface. And the second is to adapt the inverse square law only in the part of large air space compare with that of central axis. The scattering foil is regarded as the radiation source.

This correction was examined experimentally in energy 16 MeV and 31 MeV and at 10, 20 and 30 degrees obliquity. To correct whole dose distribution from high to low dose region was complex, then high dose regions of 90 and 80% were corrected. Difference between experimental value and corrected one was 7% in the first step of the correction, which is large as an error in the treatment planning. But the difference in the second step decreased to 3%, which is acceptable clinically.

1. 緒 論

頭頸部腫瘍照射のように、皮膚面が平坦でない部位に高エネルギー電子線治療を行う場合には、皮膚面に対し入射線束が斜入となることは避けられない。このようなとき治療計画の際、標準等線量曲線をそのまま用いることは不適當であるので、これまでにそれを補正するため吸収体を皮膚面に置く方法(Uhlmann et al, Perry et al)¹⁾²⁾および標準等線量曲線を空気層の部分だけ移動する方法(Laughlin et al)³⁾⁴⁾が提案されている。しかしそれらは必ずしも満足でなく、特に空気層

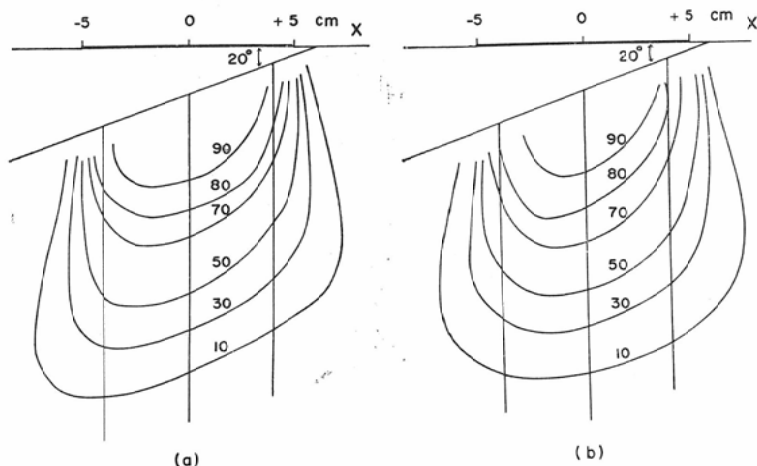
の補正方法の実測値との比較検討が不十分である。そこで本報告ではこの点を中心に検討し、より優れた補正方法について述べようと思う。

2. 方法及び結果

装置は東芝製BMR-31型ベータートロンを用い、実験は16MeVおよび31MeVについて行つた。線量測定は1稜40cmの立方体水ファントムに東芝直読線量計および東芝製等線量曲線自動記録装置を用いて行つた。

入射放射線の中心線と入射面の法線との角度を入射角度とする。入射角度が10度、20度および

Fig. 1. Isodose curves of 31 MeV electron beams at 20 degrees obliquity. (a) is obtained to shift the standard isodose curves the distance of air space between the treatment cone and the incidence surface, and (b) is from actual measurement.



30度について等線量曲線を測定し、標準等線量曲線（入射角度0度）と比較した。先ず31MeV 20度の線量分布の比較解析をし、他のエネルギーおよび入射角度に適用した。

(1) 標準等線量曲線を斜入射により生じた空気層の距離だけ移動して得た等線量曲線と、実測して得た等線量曲線と比較した。Fig. 1-a は30 MeV の標準等線量曲線を入射角度20度の斜入射によつて生じた空気層の距離だけ移動して得たものである。Fig. 1-b は同じ条件で実測して得

たものである。この二つの線量分布の比較を中心軸 ($x=0$ cm軸)、中心より右へ4 cm離れた中心軸と平行な軸 ($x=+4$ cm軸) および左へ4 cm離れた軸 ($x=-4$ cm軸) について行つた。Fig. 2は $x=0$ cm軸の深部率曲線を示すもので黒丸は実測値を示し、実線は空気層の移動による補正をしたものである。全領域にわたり中心軸の深部率曲線の違いはない。 $x=+4$ cm軸の深部率曲線の比較を Fig. 3に示す。高線量域では両者は一致するが低線量域では実測値の方が大きい値を示した。

Fig. 2. Comparison of depth dose curves on central axis ($x=0$ cm in Fig. 1). Solid line is of shift method correction and black dots are of measurements.

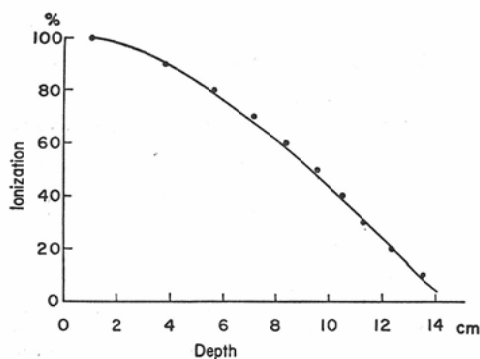


Fig. 3. Comparison of depth dose curves on $x=+4$ cm axis of Fig. 1. Dashed line is obtained by the inverse square law correction.

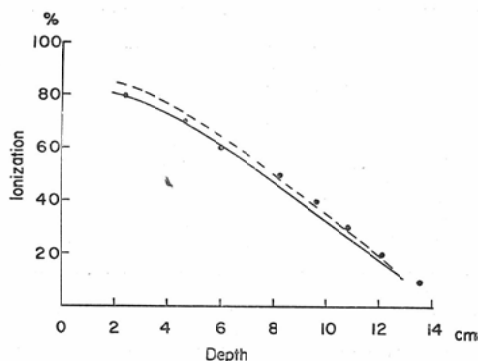
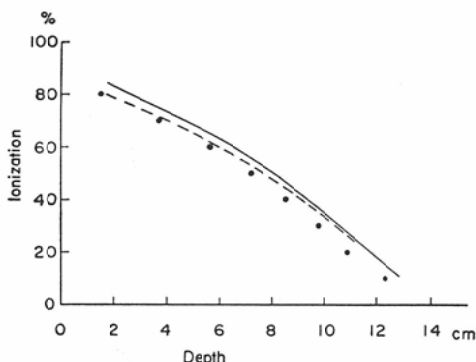


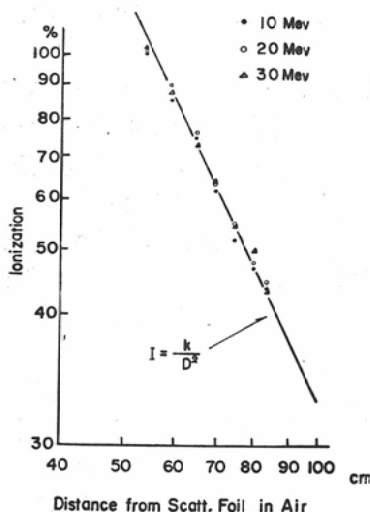
Fig. 4. Comparison of depth dose curves on $x = -4$ cm axis of Fig. 1.



また、 $x = -4$ cm軸 については全領域について実測値が小さい値を示した (Fig. 4)。

(2) 10MeV, 20MeV および30MeV について照射筒の先端より線量計を遠ざけながら空中線量を測定した。その結果各エネルギーで Scattering Foil を線源として距離の逆自乗で減弱していることがわかった (Fig. 5)。そこで (1) に述べた空気層の移動の補正に、線源からの距離の逆自乗の補正を加えて実測値と比較した。その補正値を Fig. 3 および Fig. 4 に破線で記入した。 $x = +$

Fig. 5. Decrease of intensity of electron beams in air as separating the treatment cone. The decrease coincided with the inverse square law in energy 10, 20 and 30 MeV if the scattering foil was regarded as beam source.



4 cm軸 (Fig. 3) の表面は中心軸のそれより線源に近いので補正値は実線よりも大きな値を示し、 $x = -4$ cm軸 (Fig. 4) では逆になる。実測値と比較すると $x = +4$ cm軸では低線量域では一致したが、高線量域では補正値が大きい値を示した。また、 $x = -4$ cm軸では高線量域では一致したが、低線量域では補正値が大きい値を示した。

高低全領域について補正することは複雑になる。そこで臨床上特に精度を必要とする高線量域 (90%, 80%) について検討した。中心軸より空気層が小さい方 (x が正) は標準等線量を空気層の長さだけ移動し、空気層が大きい部分 (x が負) は空気層の移動と、線源からの距離の逆自乗の補正をすれば高線量域は実測値に近くなる。

エネルギー16MeV および31MeV, 入射角度10度, 20度および30度の結果を Fig. 6-a, b, c および Fig. 7-a, b, c に示した。実線は実測値を示

Fig. 6a. Comparison of isodose curves in energy 16 MeV at 10 degrees obliquity. Broken lines show isodose curves corrected by shift method, dotted lines by the inverse square law method only larger air space side than central axis. Solid lines are from measurements.

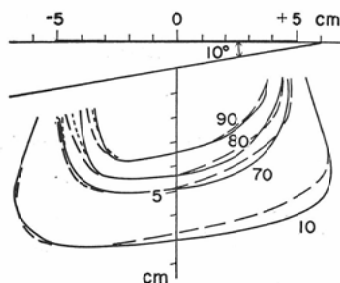


Fig. 6b. Comparison of isodose curves in energy 16 MeV at 20 degrees obliquity.

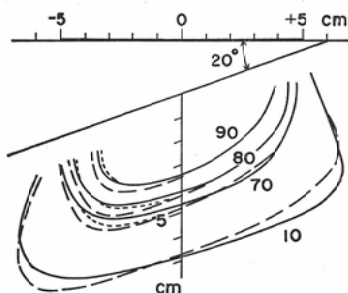


Fig. 6-c. Comparison of isodose curves in energy
16 MeV at 30 degrees obliquity.

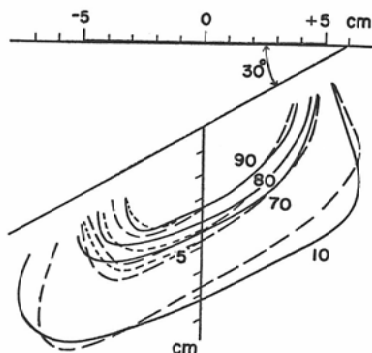


Fig. 7-a. Comparison of isodose curves in energy
31 MeV at 10 degrees obliquity.

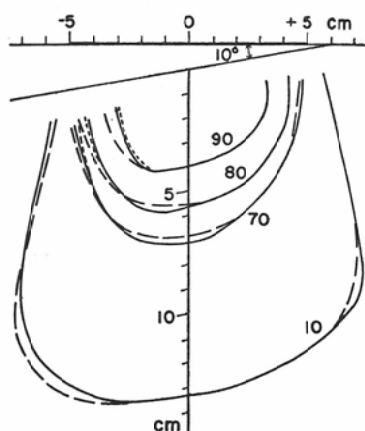


Fig. 7-b. Comparison of isodose curves in energy
31 MeV at 20 degrees obliquity.

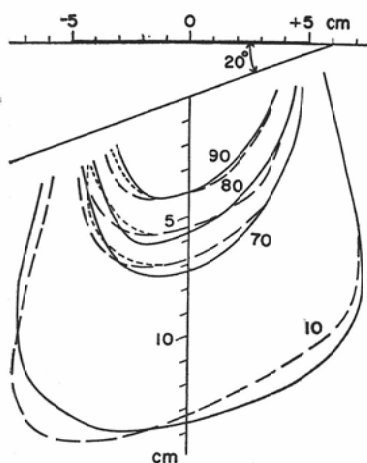
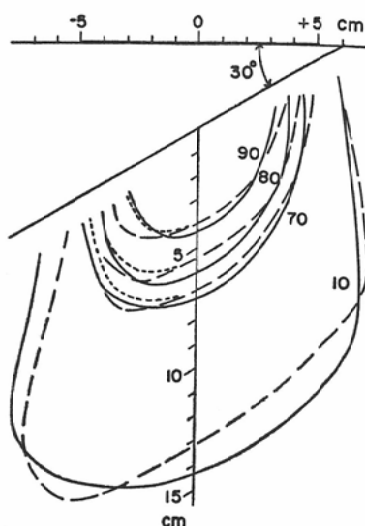


Fig. 7-c. Comparison of isodose curves in energy
31 MeV at 30 degrees obliquity.



し、破線は空気層の移動による補正値を示す。点線は中心軸より空気層の大きい部分のみに距離の逆自乗の補正をしたものである。図中には90%、80%、70%および10%領域を示した。実測値と補正値との差は空気層のみの補正は最大7%であったが、距離の逆自乗の補正を加えると最大3%になった。

3. 考 按

高エネルギー電子線の斜入射の場合、皮膚面に吸収体を置き入射面を線束に対して直角にする方法は、吸収体の製作が簡便でないばかりか、高エネルギー放射線特有のSkin Sparing Effectを失い好ましくない。一方線量分布を補正する方法として電子線の深部率曲線がエネルギーによって決まり、斜入射の等線量曲線が照射野の境界近くを除いて入射面と平行であることより (Beattie et al)⁵⁾ 標準等線量曲線を生じた空気層の部分だけ平行移動させてきた。この補正方法は実測値との差が7%であり無視できず、さらに補正方法を改善する必要がある。

この報告では電子線の発散の点を考慮し線源 (Scattering Foil) からの距離の逆自乗の補正を加えた。実測値と比較すると中心軸より空気層の大きい部分のみ距離の逆自乗の補正をした方がよい

とわかつた。これは電子線の側方散乱が大きいため一様に補正ができないことと、線量分布が照射筒の材質や形状によつて影響を受けるため (Loevinger et al, Laughlin, Dahler)⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾ 空気層の小さい部分は必要がないのであろう。

補正值と実測値との差は高線量域で3%であつたが、線量測定の見誤差、治療計画の際の病巣容積決定の見誤差および Setting Up の見誤差を考えると3%以内であれば十分であると考ええる。この実験は臨床上適用の意味で高線量域の補正に重点を置いたのは、電子線治療は固定照射に用いられることが多く、病巣は高線量域に含まれるように計画されるためである。この方法は臨牀的に充分に適用され得るものであろう。

4. 結 論

高エネルギー電子線治療において斜入射線量分布の補正方法を検討し、改善を試みた。その方法は2段階より成る(1) 標準等線量曲線を空気層の部分だけ平行移動する。(2) 照射野の中心より空気層の大きい部分は線源 (Scattering Foil) からの距離の逆自乗の補正を加える。この補正方法の是非を実験的に検討するためエネルギー16 MeV, 31 MeV および入射角度10度, 20度, 30度について実測値と比較した。全線量域について補正するのは複雑になるので、臨床上精度を要する高線量域(90%, 80%)について検討した。実測値と補正值との差は(1)の方法で7%であり治療

計画上の見誤差として大きすぎるが、さらに(2)の方法を加えることにより3%に減少し、臨床上満足すべき精度で補正できた。

文 献

- 1) Uhlmann, E.M., and J. Ovadia.: High energy electron in the treatment of malignant tumors of thorax. *Radiology* 74 (1960) 265—272.
- 2) Perry, H., J.J. Nickson, K.C. Tsien, and J. S. Laughlin.: Treatment planning in therapeutic application of high energy electron to head and neck cases. *Am. J. Roentgenol.* 88 (1962) 251—261.
- 3) Laughlin, J.S., A. Lundo, R. Phillips, F. Chu, and A. Sattark.: Electron-beam treatment planning in inhomogeneous tissue. *Radiology* 85 (1965) 524—531.
- 4) Laughlin, J.S.: Physical aspects of high energy electron therapy. *Am. J. Roentgenol.* 99 (1967) 915—923.
- 5) Beattie, J.W., K.C. Tsien, J. Ovadia, and J. S. Laughlin.: Production and properties of high energy electrons for therapy. *Am. J. Roentgenol.* 88 (1962) 235—250.
- 6) Loevinger, R., C.J. Karzmark, and M. Weissbluth.: Radiation therapy with high-energy electrons, Part 1. Physical considerations. 10 to 60 MeV. *Radiology* 77 (1961) 906—927.
- 7) Laughlin, J.S.: Review of dose distribution data for electrons. WHO, IAEA and ICRU Conference, Geneva. 1961.
- 8) Dahler, A.: Effect of collimator-shape on electron depth dose curve. Symposium on high-energy electrons. Springer-Verlag, Berlin, 1965.