



| | |
|--------------|---|
| Title | Wedge Filter 技術に関する基礎的研究 |
| Author(s) | 松林, 隆 |
| Citation | 日本医学放射線学会雑誌. 1966, 26(2), p. 228-235 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/15701 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Wedge Filter 技術に関する基礎的研究

慶応義塾大学医学部放射線医学教室 (主任: 山下久雄教授)

松 林 隆

(昭和40年10月12日受付)

Fundamental Studies of Wedge-Filter Technique

Takashi Matsubayashi

Department of Radiology, School of Medicine, Keio University, Tokyo, Japan.

(Director: Prof. Dr. Hisao Yamashita)

Effective applicability of wedge-filter techniques is one of the major advantages of high-energy radiation therapy. With the intention of simplifying the wedge-filter techniques for clinical use, some studies were made on the design and construction of wedge filters, and the problem of oblique incidence in application of wedge filters.

Based on the method of Van de Geijn published in 1962, the author designed and constructed some wedge filters for use with a telecobalttherapy unit (Toshiba's RI-103F type). Measurements were made of isodose curves and their wedge angles. By this method, such wedge filters as have wedge angles suitably approximate to the intended ones over a considerably wide range of field size, can be made for use with a variety of treatment units. Because of its simplicity and easiness in application, this method is considered to be of great value for clinical practice.

The "half-way method", one of the isodose curve shift methods, which has been adopted in Manchester, is the simplest one for assessing the changes caused on standard isodose curves by the presence of oblique incidence. At 30 deg. and 45 deg. obliquity, measurements were made of isodose curves with a geometrical field size of 8×8 cm. at the surface of a water phantom which is at 50 cm. from the source of a telecobalt therapy unit (Toshiba's RI-103F type) at the central axis of the beam. The standard isodose curve was also obtained on the same conditions, and from this dose distributions at 30 deg. and 45 deg. obliquity were derived by using the "half-way method". An examination of these isodose curves showed considerably good agreement between calculated and experimental results. This method can be clinically applied with satisfaction for ^{60}Co γ -rays at SSD 50 cm.

The effect of oblique incidence on wedge fields (the change of wedge angle) can be compensated for: (1) by using bolus; (2) by adjusting the wedge angle by the use of appropriate wedge filters; (3) by selecting the appropriate angle of incidence. These methods were assessed by considering a hypothetical treatment with combined two wedge fields whose dose distributions were calculated from the measured isodose curves by using the "half-way method". From the viewpoint of clinical practice, however, the inhomogeneities of dose distributions of combined wedge fields may often be permitted without the compensation for the effect of oblique incidence.

緒 論

悪性腫瘍の放射線治療が成功するための必要条件は、第1に病巣の位置および広がり を正しく把握すること、第2にその病巣に適切なる線量分布を得ること、第3にその病巣に適当な時間因子をもつて充分なそして適当な線量を与えることである。近年における放射線治療装置の進歩は著しく、その高エネルギー化に伴ない、深部病巣に充分な線量を比較的容易に与えることができるようになったが、それとともに上記第2の条件である適切な線量分布を得ることの重要性はますます強調されねばならない。幸いにして高エネルギー放射線治療においては、wedge filter 技術という適切な線量分布を得るための極めて有効な手段を得ることができる。この wedge filter 技術は、現在のところ我国では、複雑な操作を必要とするものとして臨床上ではとかく敬遠されがちな治療技術ではあるが、我国においても高エネルギー放射線治療装置は、⁶⁰Co 大量速隔照射装置をはじめとして今後ますます普及することは明らかであり、高エネルギー放射線治療の一大長所というべき wedge filter 技術が臨床上より簡易な方法として日常の治療に使われるようになることが必要である。このため問題となる次のごとき課題について研究した。

- (1) wedge filter の作製方法について、
- (2) 斜入射照射について、
- (3) wedge filter 技術における斜入射照射の問題、

研究方法および結果

研究(1) wedge filter の設計・作製方法については今までに多くの発表があるが、J. van de Geijn が1962年に発表した方法により ⁶⁰Co 大量速隔照射装置用 wedge filter を作製し、測定により等線量曲線を求め、wedge angle について検討を加えた。

〔Van de Geijn の方法〕

Fig. 1 のごとく深さ6cmで wedge angle がθになるような wedge filter の角度αを求める。

この場合A点の線量率 D_A とB点の線量率 D_B とは等しくなる。A点の線量率 D_A を

$$D_A = D_0 \left(\frac{f+0.5}{f+d_A} \right)^2 e^{-\mu_A (d_A-0.5) - \lambda t_A} \dots\dots\dots (1)$$

とする。(D₀: 線束中心軸上表面下 0.5cmの線量率, μ_A: A点における水の線吸収係数, λ: wedge filter 材料の線吸収係数) B点の線量率 D_B も同じ式で表わせる。ここで μ_A=μ_B=μ とし、D_A=D_B, x-y ≡ t_B-t_A として近似計算すれば、

$$\tan \alpha = \frac{f+6}{\lambda a b} \left[\mu(d_A-d_B) + 2 \{ \log_e (f+d_A) - \log_e (f+d_B) \} \right] \dots\dots\dots (2)$$

となる。これをmを使つて変形すれば、

$$\tan \alpha = \frac{f}{\lambda a m} \left[\mu(d_A-d_B) + 2 \{ \log_e (f+d_A) - \log_e (f+d_B) \} \right] \dots\dots\dots (3)$$

となりαを求めることができる。

⁶⁰Co 大量速隔照射装置 (東芝 RI-103F 形, 固定型, 1000 Ci 用, 線源 2cmφ, S D D 35cm)

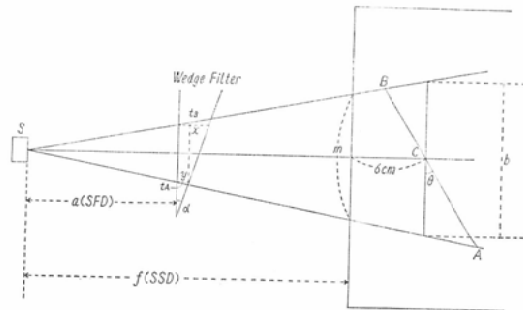


Fig. 1 Illustration of the theoretical considerations leading to formulae (2) and (3).

Table 1 Comparison of the wedge angles measured at a depth of 6cm with the intended ones.

| wedge filter | WA intended | tan α | WA measured at a depth of 6cm | |
|--------------|-------------|-------|-------------------------------|----------------|
| | | | field 8W × 8cm | field 6W × 8cm |
| A | 40° | 0.132 | 37° | |
| B | 45° | 0.157 | 42° | 44° |
| C | 50° | 0.189 | 47° | 48° |
| D | 60° | 0.274 | 56° | |

WA: wedge angle

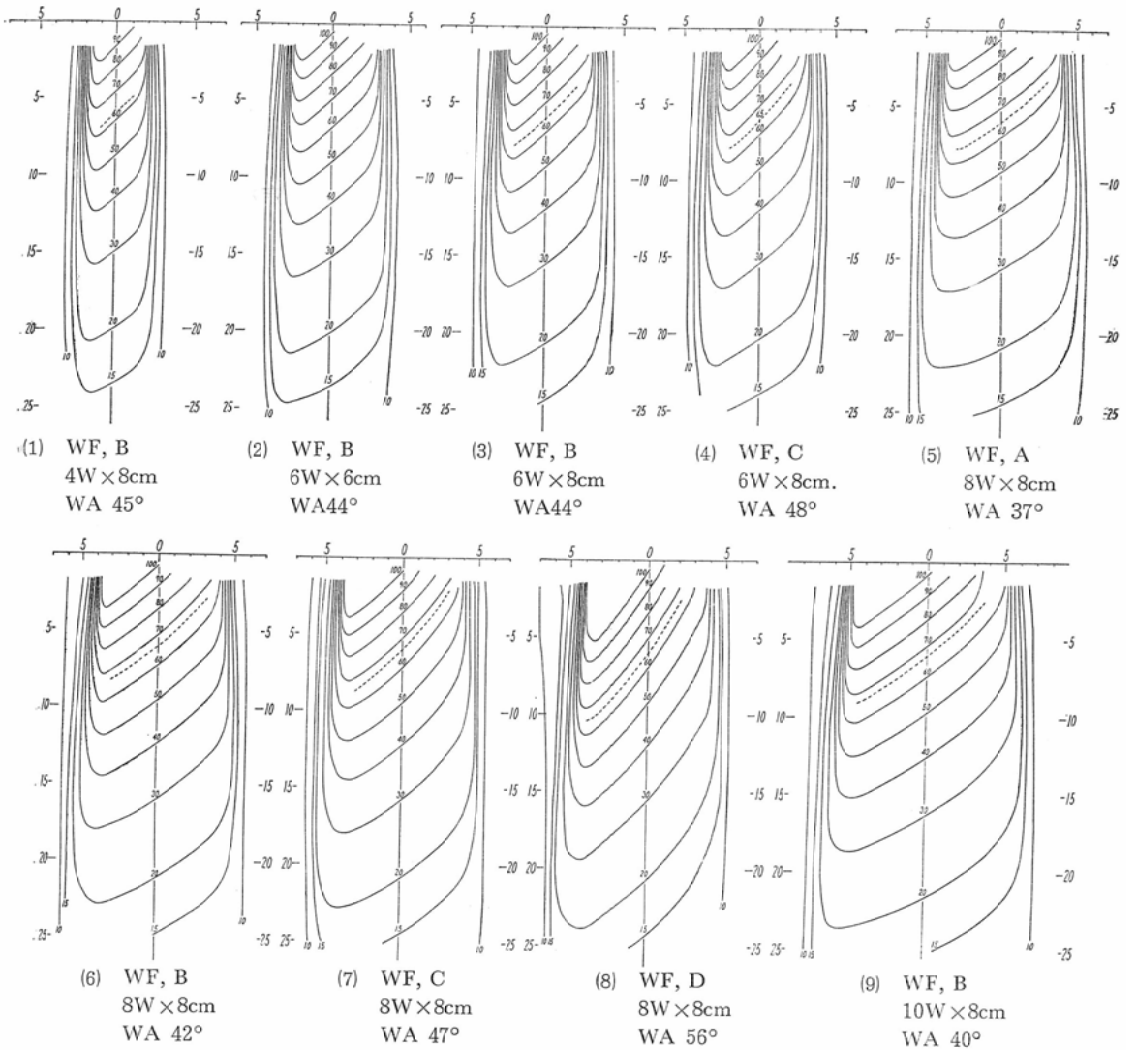


Fig. 2 Isodose curves obtained with the wedge filters.

Cobalt-60, SSD 50cm, source 2 cm ϕ , diaphragm to skin distance 15cm, filter to skin distance 9cm, geometrical penumbra at skin 0.86cm, air dose at a depth of 0.5cm on the axis I00.

WF=wedge filter

WA=wedge angle measured at a depth of 6cm

用 wedge filter を Van de Geijn の方法により作製したが、その条件は次のごとくである。線源表面間距離 (SSD, Fig. 1 の f) は 50cm, 線源フィルター間距離 (SFD, Fig. 1 の a) は 41cm, wedge filter は鉛製として $\lambda=0.62 \text{ cm}^{-1}$ とした。 μ は照射野の大きさおよび深さによるが、Van de Geijnによれば照射野 $10 \times 10 \sim 6 \times 6 \text{ cm}^2$ にて深さ 6cm では μ は $0.030 \sim 0.040 \text{ cm}^{-1}$ の範囲

にあるという。本研究では $\mu = 0.035 \text{ cm}^{-1}$ を使った。 Fig. 1 にて $m = 6 \text{ cm}$ とし深さ 6cm での wedge angle が、 $40^\circ, 45^\circ, 50^\circ$ および 60° の wedge filter A, B, C および D の $\tan \alpha$ を Van de Geijn の式 (3) より求め、wedge filter A, B, C および D を作製した。各 wedge filter の $\tan \alpha$ を Table 1 に示す。各 wedge filter を東芝 RI-103F 形 ^{60}Co 照射装置に取り付け、水フロントーム (メ

タクリル樹脂製、 $30 \times 30 \times 30 \text{cm}^3$) および指頭型電離槽線量計(東芝直読形線量計 RCD-43101形)を使用して、幾何学的照射野 $8 \text{W} \times 8 \text{cm}$ および $6 \text{W} \times 8 \text{cm}$ (以下照射野の大きさはすべて幾何学的照射野の大きさとする) について等線量曲線を求め、深さ 6cm における wedge angle を求めた(照射野 $6 \text{W} \times 8 \text{cm}$ については B と C についての)。その結果を Fig. 2 および Table 1 に示す。目的とした wedge angle よりも実際に得られた wedge angle は、 $8 \text{W} \times 8 \text{cm}$ では $3^\circ \sim 4^\circ$ 小さくなり、 $6 \text{W} \times 8 \text{cm}$ では $1^\circ \sim 2^\circ$ 小さくなっている。次に wedge filter B について、照射野の大きさ即ち wedge axis の巾および hinge axis の巾を Table 2 に示すように変えた場合について等線量

曲線を測定により求め、深さ 6cm における wedge angle を求めたが、その結果は Fig. 2 および Table 2 のごとくであった。wedge axis の巾が大きくなるほど、目的とした wedge angle よりも実際に得られた wedge angle は小さくなる。また wedge axis の巾が一定ならば、hinge axis の

Table 2 Variation of wedge angle with geometrical field size

| field (cm) | 4W × 8 | 6W × 6 | 6W × 8 | 6W × 10 | 8W × 8 | 10W × 8 |
|------------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| WA | 45° | 44° | 44° | 44° | 42° | 40° |

WA: wedge angle

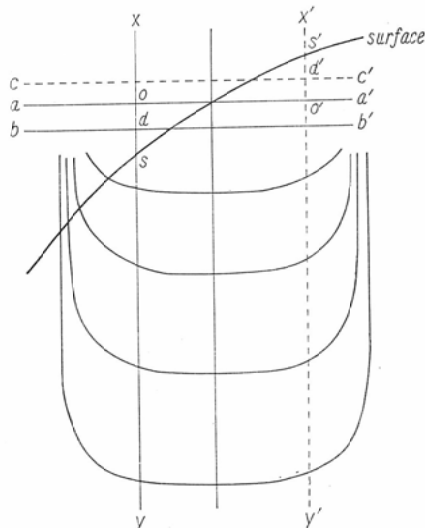


Fig. 3 Illustration of the "half-way method".

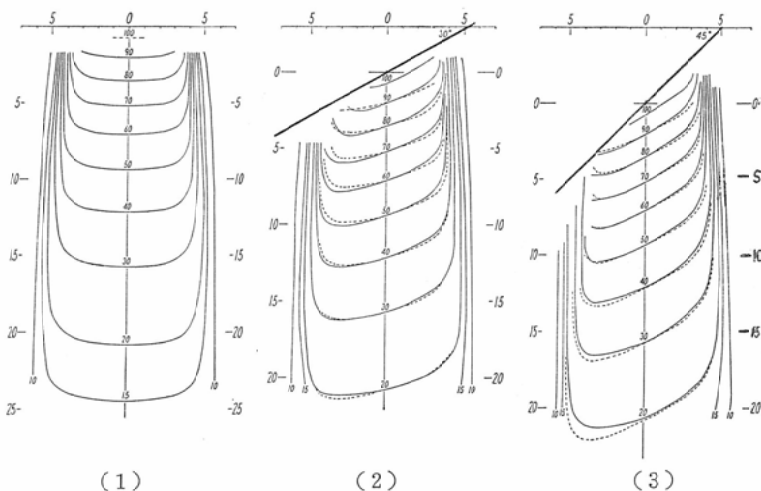


Fig. 4 (1) Standard isodose curves measured, $8 \times 8 \text{cm}$ field.
 (2) Sloping field, surface obliquity 30° , $8 \times 8 \text{cm}$ field.
 (3) Sloping field, surface obliquity 45° , $8 \times 8 \text{cm}$ field.

Cobalt-60, SSD 50cm , source $2 \text{cm} \phi$, diaphragm to skin distance 15cm , geometrical penumbra at skin 0.86cm , air dose at a depth of 0.5cm on the axis 100.

— isodose curves measured.
 isodose curves calculated by the "half-way" method.

巾が変つても wedge angle は変らない。

以上の線量測定において, wedge filter の取り付け方法は, wedge filter を shadow tray (メタクリル樹脂製) 上で動かして, 照射野表示ランプのフロントーム表面での影が丁度消える瞬間をもって, wedge filter の鋭端と照射野の端を合わせることにした。なお, 水フロントーム内で線量計を走査するために手動式線量計走査装置を作製して使用した。

研究(2)高エネルギー放射線において, 斜入射照射による線量分布を標準等線量曲線より求める方法としては, 今までにいくつかの方法が発表されているが, Christie Hospital (Manchester) が採用している等線量曲線移動法 half-way method について次のような研究を行った。

[half-way method]

Fig. 3 にて, x-y 上の深部量率は標準等線量曲線の基線を bb' に移動した位置で読みとる (d は $O'S$ の中点)。また, $x'-y'$ 上の深部量率は標準等線量曲線の基線を cc' に移動した位置で読みとる (d' は $O'S'$ の中点)。

^{60}Co 大量遠隔照射装置 (東芝 RI-103F 形) について, 研究(1)と同じ水フロントーム, 指頭型電離槽線量計および線量計走査装置を使用して, $SSD=50\text{cm}$, 幾何学的照射野 $8 \times 8\text{cm}$ (表面における幾何学的半影 0.86cm) にて, 標準等線量曲線および斜入射 30° と 45° の場合の等線量曲線を求め, 標準等線量曲線から half-way method によつて斜入射 30° および 45° について求めた等線量曲線と実測により求めた等線量曲線とを比較した。その結果は Fig. 4 のごとくであり両者はかなりよく一致している。

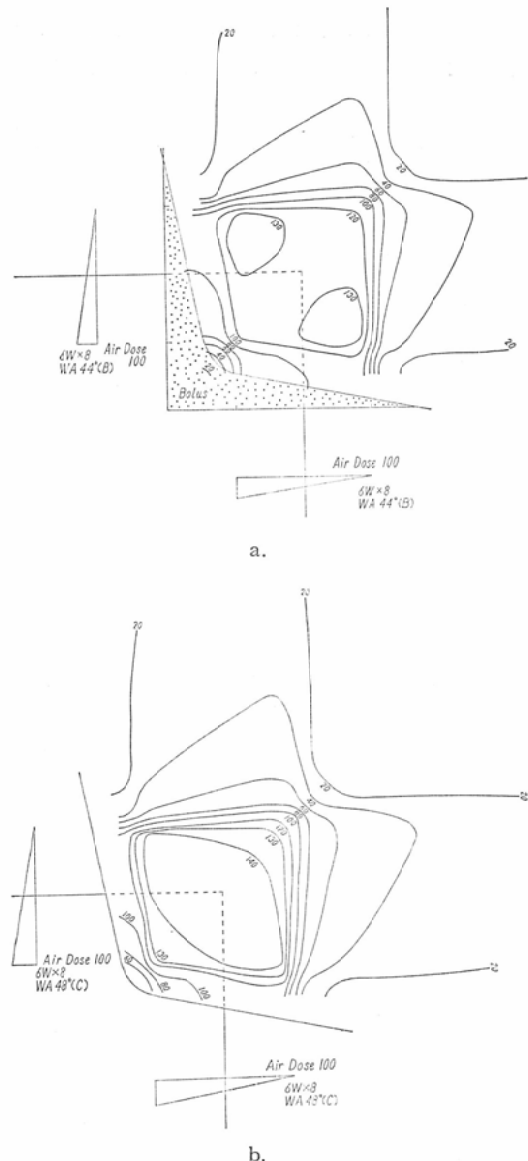
研究(3) wedge filter を使用する治療の多くは, 180 より小さい交叉角をもつた2門照射の線束交叉部に均等な線量分布を得ることによる。このためには, 両線束の等線量曲線を交叉部において平行にすることが必要であるが, この際斜入射照射が問題となる。wedge filter を使用する場合の斜入射照射効果に対する補償法について次のごとく研究を行なつた。

Fig. 5 のごとく傾斜表面に対する wedge filter

使用の2門照射模型について, 合成線量分布を研究(1)で求めた等線量曲線を使用して次のごとく求めた。なお, 斜入射照射はすべて half-way method により補正した。

a. bolus を使用して, wedge filter B, 照射野 $6\text{W} \times 8\text{cm}$ の2門の照射線束が表面に垂直に入射し, 両線束が直交する場合の合成線量分布を求めたが, Fig. 5.a. のごとくである。

b. bolus を使用せずに, wedge filter C, 照射



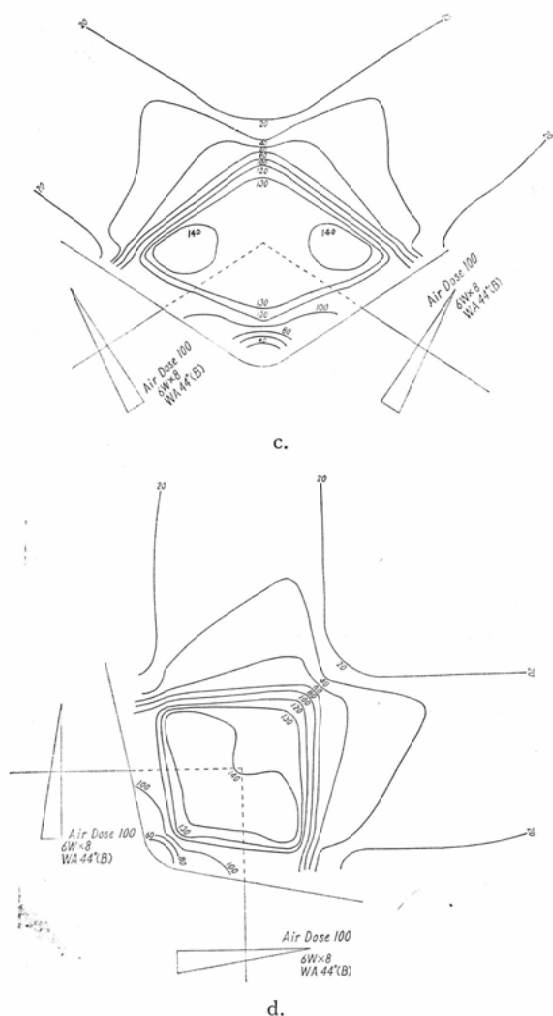


Fig. 5 Combined two wedge fields. The effect of oblique incidence is compensated for: (a) by using bolus; (b) by adjusting the wedge angle by the use of appropriate wedge filters; (c) by selecting the appropriate angle of incidence. (d) No compensation is made for the effect of oblique incidence.

野 $6\text{ W} \times 8\text{ cm}$ の 2 門の照射線束が直交する場合の合成線量分布を求めたが、Fig. 5.b. のごとくである。この場合照射線束は表面に対して斜入射しているが、線束交叉部において両線束の等線量曲線は互いに平行になっている。

c. bolus を使用せずに、wedge filter B, 照射野 $6\text{ W} \times 8\text{ cm}$ の 2 門の照射線束の入射方向を適当に調節し、両線束の等線量曲線が線束交叉部で互

いに平行になるようにして合成線量分布を求めたが、Fig. 5.c. のごとくである。

d. bolus を使用せずに、wedge filter B' 照射野 $6\text{ W} \times 8\text{ cm}$ の 2 門の照射線束が直交する場合の合成線量分布を求めたが、Fig. 5.d. のごとくである。この場合両線束の等線量曲線は交叉部において互いに平行になっていない。即ち斜入射照射効果に対する補償をしてない。

Fig. 5 の b. と d. とを比較すると、等線量曲線 140 は異なるが、等線量曲線 130, 120, 100 …… は b. と d. とでは同じとみてよい。

考 按

さまざまな位置および拡がりをとる病巣の放射線治療において wedge filter 技術を充分に使うためには、ちがったしかも適当な wedge angle をもついくつかの wedge filter を準備することが必要である。wedge filter の設計・作製方法については今までに多くの発表があるが、Van de Geijn の方法によれば、各種照射装置に合わせて任意の深さで任意の wedge angle を得るための wedge filter を容易に作製することができる。また、wedge filter 技術は、高エネルギー放射線による特に偏在性病巣に対する治療方法としてすぐれたものであり、従つて目的とする wedge angle を得る深さは $5 \sim 6\text{ cm}$ 位までで充分と考える。

wedge filter ' を使用する場合は、2 門の照射線束交叉部で両線束の等線量曲線が互いに平行になるようにして、そこに均等な線量分布を得ようとする場合である。しかし、両線束の等線量曲線が交叉部において完全に平行にならなくても、線量分布のある程度の不均等さを臨床的には許容し得る場合も多いと考える。従つて、病巣の解剖学的位置および拡がりを考えて、両照射線束の等線量曲線が線束交叉部で互いに平行になるような wedge angle をもつ wedge filter を選ぶわけであるが、厳密に平行になるような wedge angle でなくても、ある程度それに近いものであれば臨床的には満足できる場合も多いであろう。この点からみて、Van de Geijn の方法は、近似式より nonplateau-type の wedge filter の角度を求める方法であるが、研究 (1) によれば、照射野の

大きさのかなりの範囲にわたつて目的とした wedge angle にかなり近い wedge angle をもつた wedge filter を作ることができ、その方法も簡易なものであつて臨床的に価値の高いものであるといえる。

■ 外部照射により放射線治療を行なう場合、実際には、照射表面に対して斜入射照射となる場合が多い。wedge filter を使用する場合に wedge angle は斜入射によつて変化するから、wedge filter 技術において斜入射照射の問題を無視することはできない。高エネルギー放射線において、斜入射照射による線量分布を標準等線量曲線より求める方法としては、(1) $\bar{\mu}$ method, (2) inverse square law method, (3) half-way method, two-thirds method(等線量曲線移動法), といつた方法が今までに発表されている。これらのうち等線量曲線移動法である half-way method は、Christie Hospital (Manchester) で使用されている方法であるが、最も操作の簡易なものである。これは特に確たる物理学的根拠に基づいて作られたものではなく経験的に得られたものであるという。4 MV X線, FSD 100cmによく合う方法であるというが、SSDのもつと小さい ^{60}Co γ 線の場合でも臨床的には充分使えるとの Garrett 等の報告もある。研究(2)の結果によれば、この half-way method は、 ^{60}Co γ 線, SSD 50cmの照射条件でも臨床的には充分満足して使える方法であり、その操作の簡易なことからも臨床的価値が高いと考える。

wedge filter を使用する場合の斜入射照射効果(wedge angle の変化)の補償法としては、研究(3)において示したごとく次のような方法がある。

- (1) bolus を使用する方法,
- (2) 適当な wedge filter を選んで wedge angle を調節する方法,
- (3) 入射方向を適当に調節する方法,

しかし研究(3)において示したごとく、Fig. 5 の b. と d. とでは、等線量曲線 140 は異なるが、130, 120 は同じとみてよい。この場合 140 内で治療するべきではない。130 または 120 内

て治療するとすれば、b. と d. とは同じとみてよい。このように斜入射照射効果を補償しなくても、線量分布の不均等さを許容し得る場合も臨床的には多いであろう。この点について更に解析すれば、複雑な操作を必要とするものとして、とかく敬遠されがちな wedge filter 技術を簡易化することが可能と考える。

実際に wedge filter を使用して外部照射を行なう場合、wedge filter 技術が正しく行なわれるためには、照射装置の照準方法が精度の高いものであり、wedge filter の取り付け方法が十分な再現性をもつたものであることが必要なことは当然のことである。しかし、現在のところ、我国で一般に使用されている ^{60}Co 照射装置には、上の条件を充分満足させるような装置をもつたものがほとんど見当たらない。今日我国においては、 ^{60}Co 治療はほとんど一般化したとみてよいが、高エネルギー放射線治療の一大長所というべき wedge filter 技術がより一般化するためには、wedge filter を使用するのに都合のよい装置が作られることが是非必要である。

結 論

Van de Geijn の方法によれば、各種照射装置に合わせて、照射野の大きさのかなりの範囲にわたつて目的とした wedge angle にかなり近い wedge angle をもつた wedge filter を作ることができ、その方法も簡易なものであつて臨床的価値が高い。

高エネルギー放射線において、斜入射照射による線量分布を標準等線量曲線より求める方法として、等線量曲線移動法である half-way method は最も操作の簡易なものであるが、 ^{60}Co γ 線, SSD 50cmの照射条件でも充分に使える方法であり臨床的価値が高い。

wedge filter を使用する場合の斜入射照射効果(wedge angle の変化)の補償法としては、(1) bolus を使用する方法, (2) 適当な wedge filter を選んで wedge angle を調節する方法, (3) 入射方向を適当に調節する方法, があるが、斜入射照射効果を補償しなくても、線量分布の不均等さを許容し得る場合も臨床的には多いであろう。こ

の点について更に解析すれば、複雑な操作を必要とするものとして、とかく敬遠されがちな wedge filter 技術を簡易化することが可能と考える。

本論文の要旨は、第24回日本医学放射線学会総会（1965年4月）において発表した。

終りに、御指導、御校閲を頂いた山下久雄教授、種々御教示を頂いた尾内能夫講師に深甚なる謝意を表し、御援助頂いた坂井博志、荻原淳両技師に感謝する。

文 献

- 1) Boland, J.B., Green, D., and Tranter, F.W.: Systems to ensure the correct application of wedge filters. *Brit. J. Radiol.*, 32 : 205—206, 1959.
- 2) Cohen, M., Burns, J.E., and Sear, R.: Physical aspects of cobalt-60 teletherapy using wedge filters. I. Physical investigations. *Acta Radiol.*, 53 : 401—413, 1960.
- 3) Cohen, M., Burns, J.E., and Sear, R.: Physical aspects of cobalt-60 teletherapy using wedge filters. II. Dosimetric considerations. *Acta Radiol.*, 53 : 486—504, 1960.
- 4) Day, M.J. and Farmer, F.T.: The 4 MeV linear accelerator at Newcastle upon Tyne. *Brit. J. Radiol.*, 31 : 669—682, 1958.
- 5) Fletcher, G.H.: Clinical stationary field therapy with a Cobalt-60 unit. Part I. *Am. J. Roentg.*, 75 : 91—116, 1956.
- 6) Fletcher, G.H., Richardson, J.E., Moore E.B., Morgan, J.M. and Cole, A.: Clinical stationary field therapy with a cobalt-60 unit. Part II. *Am. J. Roentg.*, 75 : 117—128, 1956.
- 7) Francois, P.E.: Wedge filters for use on the 8 MeV linear accelerator. *Brit. J. Radiol.*, 31 : 712—713, 1958.
- 8) Garrett, J.H., and Jones, D.E.A.: Oblquity problems in megavoltage therapy. *Brit. J. Radiol.*, 35 : 739—742, 1962.
- 9) Johns, H.E.: The physics of radiology. 2nd edition. Charles C Thomas, Illinois, 1961.
- 10) Mac Donald, J.C.F.: Simplified techniques in the employment of a rotary cobalt-60 beam therapy unit. *Am. J. Roentg.*, 86 : 730—736, 1961.
- 11) Paterson, R.: The treatment of malignant disease by radiotherapy. 2nd edition. Edward Arnold, London, 1963.
- 12) Stewart, J.G.: The clinical significance of dose distribution problems. *Brit. J. Radiol.*, 35 : 743—749, 1962.
- 13) Tranter, F.W.: The design of wedge filters for use with a 4-MeV linear accelerator. *Brit. J. Radiol.*, 30 : 329—330, 1957.
- 14) Tulley, T.J.: Wedge filters for use with a 100-curie cobalt-60 teletherapy unit. *Brit. J. Radiol.*, 29 : 227—229, 1956.
- 15) Van de Geijn, J.: A simple wedge filter technique for cobalt-60 teletherapy. *Brit. J. Radiol.*, 35 : 710—712, 1962.
- 16) Van de Geijn, J.: Compensation for the effect of oblique incidence of cobalt-60 radiation beams in teletherapy. *Brit. J. Radiol.*, 36 : 56—62, 1963.
- 17) 山下久雄, 小林秀夫, 尾内能夫, 金田浩一, 都丸禎二, 入船寅二: wedge filter を用いた⁶⁰Co 遠隔照射の線量分布, 日医放, 22 : 586, 1962.