条件および治療歴の検索ができたことで、治療計画のスピードアップが図られるものと思われる。しかしながら、三次元の病巣線量、容積線量の計算や治療装置のコントロールなど、多くの問題が残っている。今後、改良を重ねてさらに使いやすいものにしていきたいと考えている。

文 献

- 1) 安河内他：遠隔照射治療の線量計算（電子計算機による一般化の試み）日医放誌，**29**,1047,1969.
- 2) 尾内他：デジタル型電子計算機による線量分布の計算，第3報，日医放誌，**30**,718,1970.
- 3) 稲邑他：デジタル計算機による線量分布の実時間表示，日医放誌，**30**,315,1970.
- 4) 河内：電子線の媒質中における線量分布の計算法，第30回日医放会抄録集，436,1971.
- 5) 尾内他：写真フィルムによる高エネルギーX線の線量分布測定法の再検討，日医放誌，**31**,1224,1972.
- 6) 森：フィルム法による線量分布の測定と照射術式の差による線量分布，日放技誌，**27**,47,1971.
- 9) 森他：フィルム法による線量分布解析（第5報）電子線による線量分布，日放技誌，**24**,132,1968.

IV. 術中照射の照射術式に関する研究

京都大学医学部附属病院放射線部

野 原 弘 基・小 室 裕 冉・湯 川 豊
西 台 武 弘・陶 山 純 夫

STUDIES ON AN INTRA-OPERATIVE IRRADIATION TECHNIQUE

By HIROKI NOHARA
HIROYUKI KOMURO
YUTAKA YUKAWA
TAKEHIRO NISHIDAI
SUMIO SUYAMA

Department of Radiology, Medical School,
Kyoto University

Summary

This paper deals with an intra-operative irradiation technique for advanced stomach cancer.

- 1) An operating table for intra-operative irradiation was made in such a way as to be movable up and down, left and right, so that a treatment cone can be precisely positioned.
- 2) A treatment cone of pentagonal shape was especially made, which encompasses the lymph node groups around the celiac axis.
- 3) The isodose distribution curves of electron beams through this treatment cone were obtained.
 - i) When the entry surface is flat or smooth, the isodose lines run parallel to the surface. However, when it shows sharp irregularity, the lines are very complex.
 - ii) When air space exists between the treatment cone and the tumor surface, the exposure on the tumor surface can be corrected by an inverse-square law. The absorbed dose at a given point in tissues was measured according to the measurement method of ICRU Report(21).

第1回放射線技術シンポジウム 高エネルギー照射装置による治療計画のあり方

1. 結 言

今日、放射線治療と外科手術は癌治療の二本の柱である。しかし、両者とも限界点がある。すなわち、放射線治療は癌を破壊するに要する線量が正常組織の耐容線量以下でなければ成立しない。したがって、病巣に近接して放射線感受性の高い重要臓器が存在する場合、外部照射では十分な腫瘍破壊線量を照射できない。一方、外科領域では、主要血管周囲に癌が浸潤している場合、これを完全に廓清することは困難である。また、いかに根治手術を施行したとしても、細胞レベルの病巣が遺残する可能性は常にある。これら放射線治療及び外科の本質的な限界を克服すべく開発されたのが“術中照射”である。

本法は、まず手術により病巣を可及的に切除した後、重要臓器を照射野外に圧排、待避させ、病巣に直接一回で放射線を照射するという。手術と放射線治療を有機的に組合せた術式である。本法によれば、直視下で病巣を確認でき、病巣部のみを照射しうるので、正常臓器の障害を軽減できる。したがって、十分な線量を照射しうるので手術によって切除できない病巣を放射線により破壊することが可能である。

本院では、ベータトロン電子線を使用し、現在まで腹部腫瘍（主として胃癌、結腸癌）、線維肉腫、膀胱癌等80例に術中照射を行った。今回は主として胃癌の術中照射につき技術的な面から考察を加える。

2. 胃癌術中照射用ツープス

胃癌でリンパ節転移の廓清が困難な部位は肝、腹腔動脈周囲である（Fig. 1）。ツープスが通常の円形、あるいは矩形であると肋骨弓が邪魔になり、腹腔動脈上部まで十分照射野に含めることができないので、Fig. 2 に示すように五角形の変形ツープスを作製し、このツープスの上に照準用テレスコープを付置し、ライトによってツープス内が明確に観察できるようにした（Fig. 3）。また、腹腔内への挿入を容易にするため、ツープス先端に15°の角度をつけた。

Fig. 1.

Fig. 2

Fig. 3

FIG. 4

次に、術中照射用手術台を作製し、手術により病巣が露出されれば、そのまま、患者を照射口の下に運搬できるように手術台に車をつけ、さらに、ツープスが迅速かつ正確に病巣に挿入されるように手術台に上下、左右、前後方向に動く微動装置を付置した (Fig. 4).

3. 照射線量の決定

術中照射は手術中に照射を行うため、一回で適正な腫瘍破壊線量を病巣に照射しなければならない。しかし、これを正確に決めることは難しい。したがって、最適な照射線量を定めるために、当初は 1 例 1 例の症例に対して種々の線量 (1,800~4,000 rads) を設定し、その臨床経過、剖検所見、組織検査等のデータを総合的に検討し、有効かつ安全な照射線量を決定した。現在は、根治手術を施行した症例に、さらに放射線照射を追加する場合、あるいは主腫瘍は切除されたが廓清不十分な残存病巣に照射する場合には 3,000 rads の線量を照射することを標準としている。根治手術例に照射する場合は、肉眼的な病巣はないので、電子線のエネルギーは 6MeV で充分である。しかし、遺残病巣に照射する場合は、病巣の厚みによってエネルギーを選択する。

4. 線量分布について

照射野の大きさ及び照射線量の問題と同様に、適正かつ有効な治療を行うには照射範囲各部での線量を正しく知る必要がある。このため、術中照射に際して想定される種々の条件を設定し、その線量分布を作製しておくことは正確な線量評価及び治療を行う上での必要条件である。今回、我々は胃癌の術中照射用ツープスを使用し、

1) ツープスを 15° 傾斜した場合

2) 病巣表面が傾斜または不規則な形をしている場合について、フィルム法により、6MeV, 8MeV の電子線の線量分布を作成、その検討を行った。

実験方法及び結果

フィルムは両面乳剤の Kodak M type を用い、照射室内を全暗室とし、フィルムを種々の形をした Mix-Dp ファントム中に挿入、1)、2) の条件で線束をフィルムに対して平行に照射し、線束中心軸を含む平面内の深部線量分布の測定を行った。なお、線量分布の作成には、サクラ等黒化度曲線自動描記装置を用いた。

1) ツープスを 15° 傾斜した場合の線量分布

Fig. 5 は、五角形ツープスをファントム表面に 15° 傾斜して照射した場合の線量分布を示す。この場合の線量分布は、一般に使用しているツープスでの斜入射の線量

Fig. 5. Isodose Curves for 6 and 8 MeV Electrons

Fig. 6. Isodose Curves for 6 and 8 MeV Electrons

分布と同様の傾向にある。したがって、等線量線はその入射表面に平行であり、その上、五角形ツープスの頂点方向、すなわち、腹腔動脈周囲のリンパ節転移部への線量分布の伸びもよく、胃癌の術中照射の際の目的に適った線量分布を示す。

2) 病巣表面が傾斜または不規則な形をしている場合の線量分布

照射表面が平坦である場合には、その入射表面に沿って平行な等線量線を示すが、実際の治療では、照射表面

第1回放射線技術シンポジウム 高エネルギー照射装置による治療計画のあり方

Fig. 7. Isodose Curves for 6 and 8 MeV Electrons

Fig. 8. Isodose Curves for 6 and 8 MeV Electrons

は平坦なものではなく、ある程度の傾斜及び凹凸が考えられ、その上、チューブを密着、圧迫することによっても照射表面は凹凸を生じると考えられる。

そこで、我々は、照射表面が平坦でない2、3の例を想定し、Mix-Dpによりファントムを作成、その線量分布の検討を行った。

照射表面が滑らかな傾斜を持つ場合

Fig. 6 は 照射表面の高さが連続的に変化する 三角形

の凸部を想定したものである。この場合、線量分布の80%以下の等線量は(a), (b)どちらの条件についても入射表面に平行である。しかし、90%領域についてはチューブからの散乱線の影響及び線源-表面間距離の効果等により三角形の頂点の方向に移動する。

照射表面の凸部の変化が急峻な場合

Fig. 7 は、照射表面の中央部に急峻な凸部が存在する場合を想定したものである。

このように、照射表面が急峻な不規則性を示す場合には、照射表面が平坦か、または凸部が連続的に変化するような状態に比べ、複雑な線量分布を示す。すなわち、電子は急峻な凸部により外方に散乱され、その境界面に高線量域を生じる。

Fig. 8 は、照射表面に急峻な凸部が階段状に存在する場合を想定したものである。

この場合も、照射表面の中央部に急峻な凸部が存在する時と同様の傾向を示し、最上段の凸部により電子は外方に散乱され、二段目の境界面から高線量域が表われる。また、照射表面に急峻な凹部が存在する時には、電子は内方に散乱され、その境界面にやはり同様の高線量域を生じる。⁷⁾

このように、照射表面が急峻な不規則性を示す場合、線量分布の形は照射表面の不規則な形よりも、さらに変形したものとなる。しかし、深部での散乱は照射表面の不規則性の影響を受けず、ほぼフラットである。

5. 線量評価

術中照射に限らず、高エネルギー電子線治療においては、照射表面にチューブを密着させることが望ましい。しかし、実際の治療では、その表面は必ずしも平坦でなく、

Fig. 9.

チューブと照射表面間には、ある air space が存することは避けられない。術中照射においても、このような状態に遭遇することは多々ある。そこで、チューブ密着部表面と air space 部表面間の線量評価をいかに行うかが問題となる。しかし、現実的には、表面線量の正確な測定は非常に難しい。

今回、我々は、術中照射時に起り得る条件として、病巣のチューブ内への埋没(最大 6cm)。チューブ先端と照射表面間の air space (最大 6cm) を想定し、Fig. 9 に示すように、チューブ内 6cm からチューブ先端より外方へ 6cm の線束中心軸上の空中線量を Ionex Ionization chamber を用い測定した。その結果、scattering foil を Virtual source と仮定した場合、距離逆二乗則により求めた値と実測値とは、2% の精度で一致する。したがって、このような場合の照射表面への到達線量としては距離逆二乗則により求め、その補正を行う。

一方、病巣内の線量評価については、ICRU REPORT (21) の測定法に基づき、水ファントム中で実測し、これに conversion factor をかけ問題とする点での線量を吸収線量として表示している。

6. 結 論

術中照射のように、一回で腫瘍破壊線量を照射しなければならない術式では、適正な電子線エネルギーと線量分布を決定することは大切である。したがって、これらをいかに正確に精度よく行うかは、術中照射の成果を大きく左右すると言っても過言ではない。

線量分布の面から考えれば、照射表面が平坦であるか、または凸部が連続的に変化するような場合には、線量分布は、その入射面に沿って平行な等線量線を示すが、凹凸部が急峻な場合には、線量分布の形はかなり複雑な様相を呈する。この事から考え、術中照射時の照射表面は

平坦であるか、若しくは、凸部が連続的に変化している様な状態にあることが病巣の均等照射、正しい線量評価の上からも望ましい。なお、今後の問題としては 3 次元的な線量分布の作成が是非必要である。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御校閲を賜りました小野山助教授、本実験に際し、御指導、御助言並びに御校閲を賜りました阿部講師に深謝致します。また、御協力戴きました放射線部各位に感謝致します。最後に放射線部技師長高本雄一朗先生に日頃の御教導を感謝申し上げます。

文 献

- 1) 阿部光幸, 山野究, 井村寿男, 松田晋: 日医放誌, **29**, 75, 1969.
- 2) 福田正, 阿部光幸, 山野究, 松田晋: 日医放誌, **29**, 390, (1969).
- 3) 阿部光幸, 山野究, 松田晋: 日医放誌, **29**, 1488, (1970).
- 4) 阿部光幸: 癌の臨床, **16**, 397, (1970).
- 5) 阿部光幸他: 日本癌治療学会誌, **6**, 97, (1970).
- 6) Abe, M., M. Fukuda, K. Yamano, S. Matsuda, H. Handa: Acta Radiol, **10**, 408, (1971).
- 7) ICRU REPORT; 21.
- 8) Yutaka Okumura, B. S.: Radiology, **103**, 183 (1972).
- 9) 小幡康範, 奥村寛: 日医放誌, **33**, 594, (1973).
- 10) 尾内能夫, 都丸禎三, 入船寅二, 内田勲: 日医放誌, **31**, 1224, (1971).
- 11) Almond, P. R., A. E. Wright & M. L. M. Boone: Radiology, **88**(6), 1136, (1967).