



Title	コンピュータ制御による多分割原体照射法の研究
Author(s)	松田, 忠義; 稲邑, 清也
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1981, 41(10), p. 965-974
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14958
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

コンピュータ制御による多分割原体照射法の研究

東京都立駒込病院放射線科

松 田 忠 義

日本電気メディカルシステム技術部

稲 邑 清 也

(昭和56年2月5日受付)

Computer Controlled Multi-leaf Conformation Radiotherapy

Tadayoshi Matsuda

Department of Radiology, Tokyo Metropolitan Komagome Hospital

Kiyonari Inamura

Medical Systems Engineering Department, Nippon Electric Co., Ltd.

Research Code No.: 601

Key Words: Conformation radiotherapy, Computerized radiotherapy, Computer, Automatic control

A conformation radiotherapy system with 5-split collimators of which openings can be controlled symmetrically by computerized techniques during rotational irradiation by a linear accelerator has been developed. Outline of the system performance and its clinical applications are described as follows. 1. Profile of the system: The hardware is composed of three parts, namely, the multi-split collimator, the electronic data processor, and the interface between those two parts. 1) The multi-leaf collimator is composed of 5 pairs (10 leaves) diaphragms. It can be mounted to the X-ray head of a linear accelerator when used, and can be dismounted after its use. 2) The electronic data processor sends control signal to the collimator according to the 5-leaf target volume data which can be stored into a minifloppy disc through the curve digitizer previously. This part is composed of a) dedicated micro processor, b) I/O expansion unit, c) color CRT display with key board, d) dual mini-floppy disc unit, e) curve digitizer and f) digital plotter for recording and verification of resulted accuracy. 2. Performance of the system: 1) Maximum field size: 15 cm $\times$ 15 cm at isocenter. 2) Maximum elongation ratio of the target volume: 3:1 when the longer diameter is 15 cm. 3) Control accuracy: Within $\pm$ 3 mm deviation from planned beam focus at isocenter. 3. Clinical application: The method of treatment planning and clinical advantages of this irradiation method are explained by raising clinical experiences such as treating brain tumor and rectal cancer.

緒 言

4MeV リニアックの回転照射中、5対10個の多分割絞りがコンピュータの制御で開閉し、立体的に複雑な形の線巢を作成する装置を完成し、治療を開始した。諸外国に先駆けた成果である。この論文では、コンピュータ制御による多分割原体

照射の基本構想と完成した治療装置の概要と臨床応用の実際を説明し、原体照射にコンピュータを応用することの意義について述べる。

I 基本構想

4MeV リニアックの回転照射中、5対10個のcollimatorが独立して対称的に開閉し、5つの断

面でそれぞれ違った形状と大きさの範囲に放射線が集中し、全体として複雑な形の線巢を作成するものである。Fig.1はこのシステムの原理を示している。5層の線巢図形(treatment volume)を1層ごとに図形入力装置から入力すると、プロセッサはガントリーの回転角1度ごとに線巢図形の径(即ち collimator の開度)を計算し、これをフロピディスクに登録する。これは5層の図形について繰返す。回転照射を開始すると、プロセッサはデータをオンラインでサーボアンプに送り、5対10個の collimator の開閉を制御し、入力した図形の線巢を作成する。以上が基本構想の概要であるが、この内容は装置と実施方法の項で繰返し説明することになる。

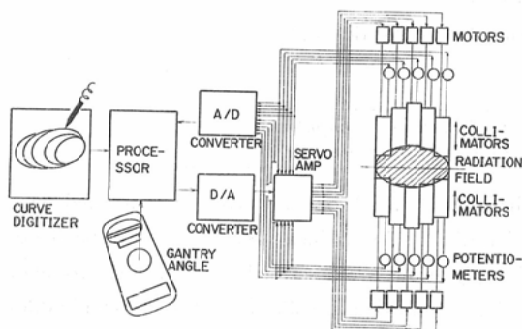


Fig. 1 Principle of multi-leaf conformation radiotherapy employing digital processor.

Five curves of beam focus are input to the processor through the curve digitizer. The processor controls the ten-leaves collimator assembly, through the servoamp according to the input data during rotation irradiation.

II 装置の概要

治療装置は日本電気4MeV リニアックである。多分割絞り装置とコンピュータシステムを新たに製作し、リニアックの本体の一部を改造した。Fig. 2 はマイクロコンピュータを応用した多分割原形照射装置のブロックダイアグラムである。リニアックの照射口にとりつけた5対の多分割絞り装置と、点線の EDPS (electronic data processing system) と、その両者を結ぶインターフェイスの3部門よりなっている。3部門の機構

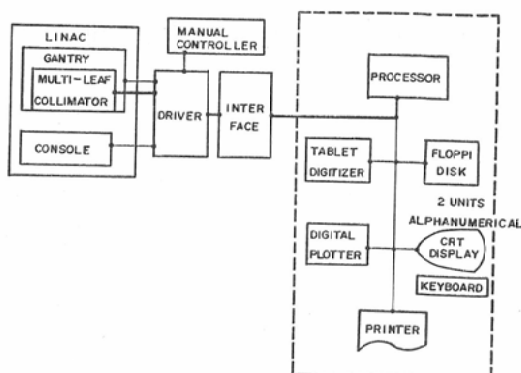


Fig. 2 Block diagram of multi-leaf conformation radiotherapy system employing digital processor.

The hardware is composed of three parts, namely, the 5-leaf collimator assembly, the electronic data processor, in a dotted line, and interface between them.

と機能の概要を説明する。

II-1 多分割絞り装置：原形照射の実施のつど 4MeV リニアックの照射口の直下に取付ける (Fig. 3). 5対10個のタングステン collimator からなり、それぞれの collimator に小型モーターが取付けられている。コンピュータの信号でモーターが駆動し、collimator が開閉する。collimator が全部開いた状態での照射野がアイソセンターで 15cm×15cm であり、多分割絞り装置の重量は約 25kg である。タングステンコリメータの

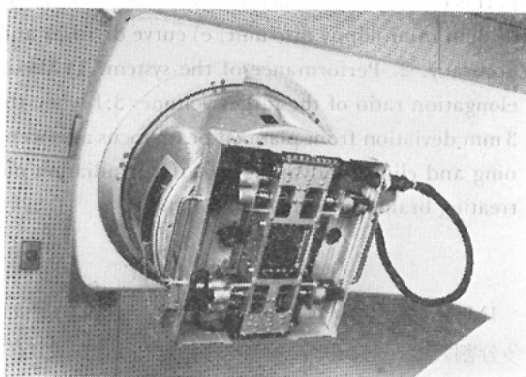


Fig. 3 Multi-leaf collimator assembly.

Multi-leaf collimator can be mounted to the X-ray head of a 4 MeV linear accelerator when used.

厚さは 5cm で 4MV X 線の透過率は4%である。

Ⅱ-2 多分割絞り駆動部とインターフェイス：多分割絞り装置と原体制御器とを結ぶインターフェイスの部分で、10個の collimator に対応した14チャンネルを有し、次の機能をもっている。
1) 原体制御器のプロセッサからデジタル信号を受け、多分割絞りの開閉に必要な駆動信号をモーターに送る。DA 変換器はDC サーボアンプおよびモータ駆動回路などから構成される (Fig. 1)。2) 10個の collimator の開度を表わすポテンショメーターからアナログ信号を受取り、DC サーボアンプにフィードバックする。同時にプロセッサにデジタル信号を送り記録する (Fig. 1)。3) ガントリー角度を表わす信号をリニアックから受取りこれをプロセッサに送る。プロセッサはガントリー角度に対応した collimator の開度信号を出力する (Fig. 1)。4) 10個の collimator がコンピュータから切離して手動で開閉できるのは当然である。

Ⅱ-3 多分割制御器：原体照射を実行させるシステムの中核部である。フロッピーディスクに登録された10個の collimator の開度データに従い、リニアックの回転照射中 collimator を開閉させるものである。治療計画と治療装置がコンピュータで結ばれるこの方式の最も特長となる部門である。

Fig. 4, Fig. 5 は完成した制御器であり、構成部門の機能を順に説明する。1) プロセッサ (Fig. 4A)：原体照射の条件を計算作成し、また collimator の開閉を指示するマイクロコンピュータであり、マイクロプロセッサ Z80を使用している。あらかじめ図形入力装置またはキーボードを介してフロッピーディスクに登録された collimator の開度データに応じて、10個の collimator に開度信号を送るものである。プログラムにより動作する通常の制御用コンピュータと同じ原理である。2) 図形入力装置 (Fig. 4B)：タブレットデジタルタイザを使用している。CT または ATT の所見をもとに作成した線巢図形の輪郭をグラフペンでなぞってプロセッサに入力する。3) ミニフロ



Fig. 4 Multi-leaf conformation therapy controller.

A : Central processor B : Curve digitizer
C : Mini-floppy disc unit D : Coler CRT display
E : Key board

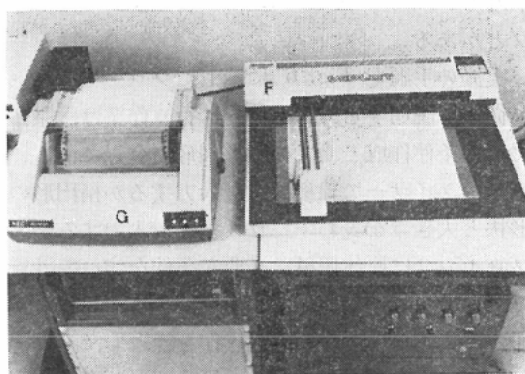


Fig. 5 Multi-leaf conformation therapy controller.

F : Digital plotter G : Printer

ビディスク (Fig. 4C)：図形入力装置から図形データとして、またはキーボードから楕円形の形状と大きさを表わすパラメータの数値として入力された線巢図形を collimator の開度データとして登録し、これをプロセッサに送る。一度登録されたデータは何回でも使用することができる。4) カラー CRT ディスプレイ (Fig. 4D)：その前に取付けたキーボード (Fig. 4E) と共に会話形式でシステムを操作する。一方、線巢図形が楕円形の場合にはその形状と大きさをキーボードから数値で入力することができる。また照射終了後に collimator の開度結果を計画値と対比して CRT ディスプレイに表示することもできる。5) デジタルプロッタ (Fig. 5F)：入力した線巢図

形を記録するものである。6) プリンター (Fig. 5G): 原体照射が終了すると計画値と実際の開度が数字の表として表示される。5対の collimator 中、照射前に指示した1対の collimatorの開度データが表示されるもので、表示する collimator の選択は自由にできる。

III 多分割原体照射法の実施方法

コンピュータ制御の多分割原体照射の実施には、コンピュータの作業と手動操作とがある。コンピュータの作業は、コンピュータによる原体照射の条件作成と、コンピュータによる自動化すなわち自動照合・自動制御・自動記録に大別される。一方手動操作は、多分割装置の取付けと取外し、および collimator の初期値セットアップとがある。

実施の手順を Fig. 6 に示したフローチャートに従って説明する。1) 最初に行う作業は、原体照射の条件作成としての線巢図形の登録である。ディジタイザーで線巢図形を入力するか楕円形の形状と大きさを表わすパラメータで入力すると、プロセッサは原体照射に必要な条件をすべて計算処理し、フロッピディスクに登録する。5つの断面の線巢図形について同じ操作を繰返し、それぞれのデータを登録する。2) 原体照射の実施に先立ち、多分割装置を4MeV リニアックの照射口に取付ける。通常回転照射と同様に患者を治療台に整位固定する。3) あらかじめミニフロッピディスクに登録された条件がプロセッサに送られる。プロセッサは治療条件を照合確認し、照合完了を表示する。4) 通常回転照射と同じ操作で照射を開始する。5) 回転照射中、コンピュータは刻々変化するガントリー角度に対応した10個の collimator の開度データの信号を送り、また実際に開閉した値を読みとる。回転照射中各 collimator が条件通りに開閉していることを常に確認しており、もし collimator の開閉がアイソセンターで設定値よりも $\pm 3\text{mm}$ 以上の誤差になると照射は自動的に中断する。照射が中断すると、計画値と制御値を自動的に一致させるので、所定の操作とビーム・オンのボタンを押すことに

より照射を再開する。6) 照射が終了すると、実際に開閉した collimator の開度が自動記録し表示される。

VI 装置の性能

これまでに行った実験から次の事柄が確認された。1) 4MeV リニアックの線源から80cmのアイソセンターで最大 $15\text{cm} \times 15\text{cm}$ の照射野が選択できる。3cm間隔で5層の断面の線巢を作成する。2) 現在完成しているプログラムでは1対の collimator の対称的な開閉を制御する。従って作成する線巢は楕円形かトラック形などである。長軸と短軸の比は、長軸15cmでは3:1まで、長軸11cmでは10:1までが可能であり、それよりも小さい照射野では更に大きい比の楕円形が歪みなく作成することができる。4) コンピュータによる collimator の制御の精度はアイソセンターで計画値の $\pm 3\text{mm}$ である。この精度試験は更に使用経験を重ねて明らかにする。

V 臨床応用

治療装置の整備と系統的な線量測定の完了に伴い実際の症例の治療を開始した。その代表例を供覧して説明する。

症例1. 脳腫瘍、43歳、男性: 試験開頭術に終り、病理組織診断は Astrocytoma grad II である。手術後 OM-line 垂直の頭位で CT scan を行った。撮影装置は GE 社の CT/T (X2) である。OM-line の上方80mmから110mmの各 CT 像で、頭蓋断面の大きさと、各断面の enhance された mass lesion の形状・大きさ・位置が違うのが明瞭である (Fig. 7)。この所見をもとに、中央3cmの範囲は5cm:6cm、上・下1cmの範囲は3cm:4cmと4cm:5cmのトラック形の照射野を選び、いずれも正中線に対し長軸が15度傾くように計画した。この治療計画をもとにコンピュータシステムで照射条件を作成し、コンピュータ制御の原体照射を実施した。この方法で撮影した線巢写真では、CT 像から選んだ範囲に放射線が集中していることが確認される (Fig. 8)。

症例2. 直腸癌、64歳、女性: 非治癒切除後増悪した直腸癌症例である。65%アンギオグラフィ

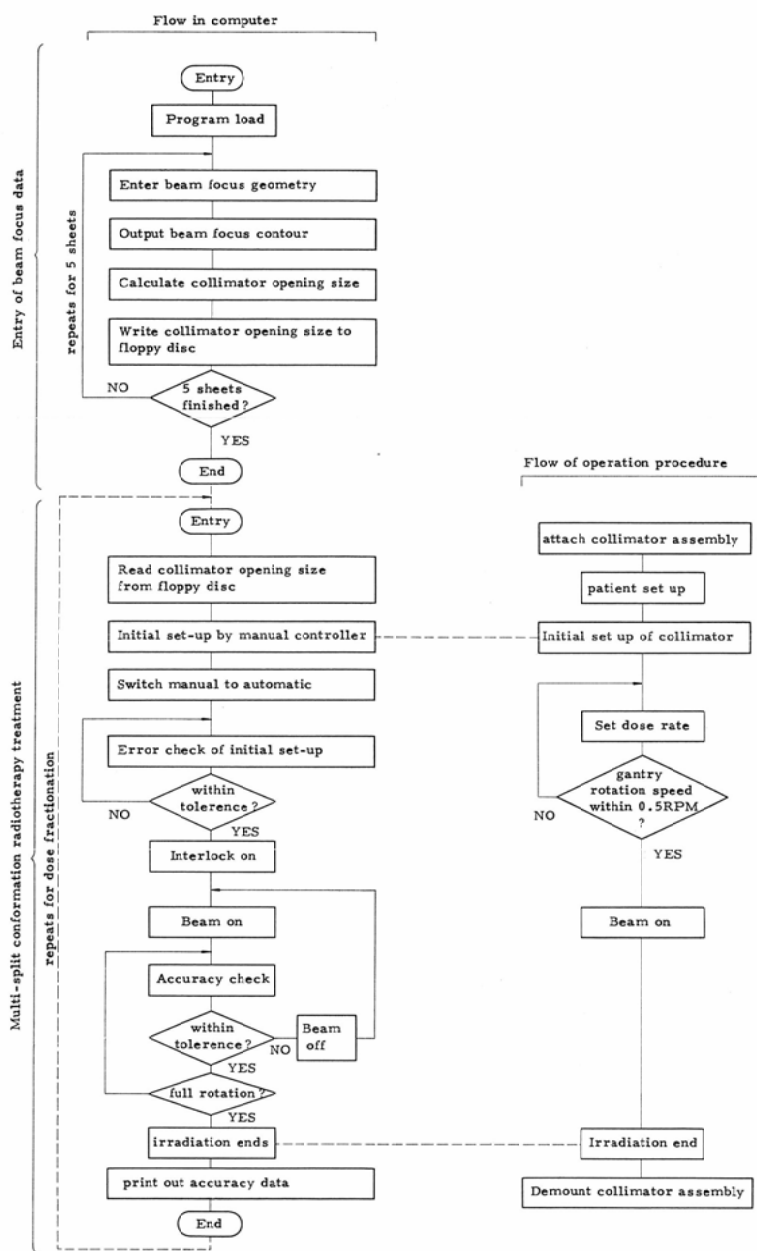


Fig. 6 Operation procedure and flow of computer program.

ン100mlを注射後、恥骨結合の下端から上方へ1cm間隔でCT scanした。3cmごとのCT像で腫瘍陰影の形状と括りが著明に相違することが明瞭である (Fig. 9)。これらのCTの所見をもとに、下方から順に5cm : 7cm, 7cm : 10cm, 7cm : 9

cm, 5cm : 7cmのトラック形の照射野を選んだ。この場合、トラック形の長軸は下方の2層では前後方向に、上方の2層では右左方向に配置した。この計画をもとにコンピュータシステムで照射条件を作成し、コンピュータ制御の4層の原体照射

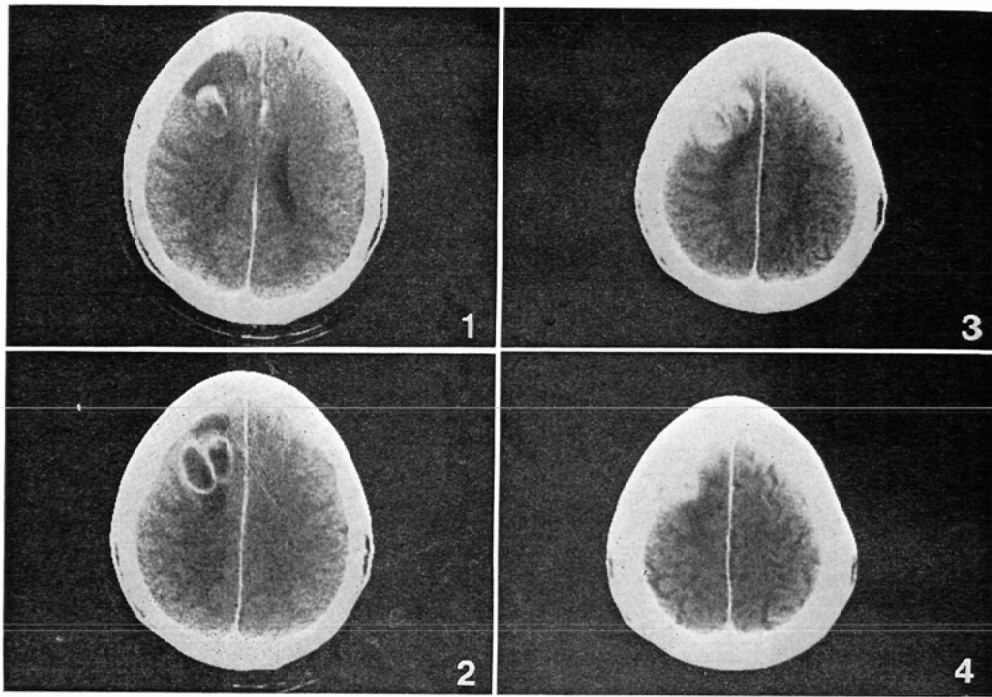


Fig. 7 Enhanced CT of a patient with brain tumor (Astrocytoma grad II).

1. Level at 80mm above orbito-meatal line (OM Line).
2. Level at 90mm above OM Line.
3. Level at 100mm above OM Line.
4. Level at 110mm above OM Line.

The size, form and position of enhanced mass lesion on each slice are different respectively.

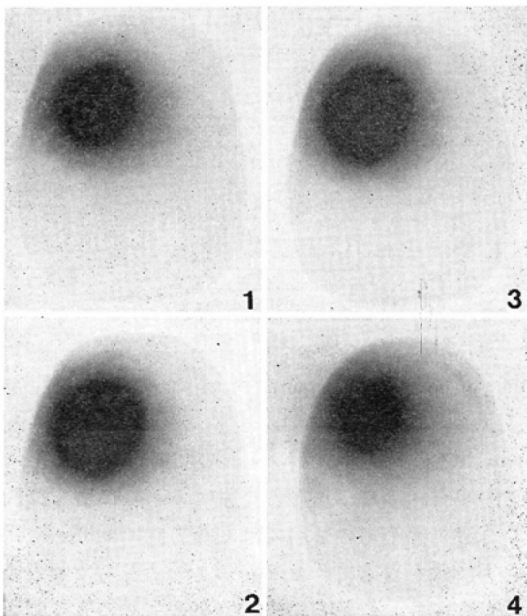


Fig. 8 Beam focus radiogram taken by computer controlled multi-leaf conformation irradiation.

It is clear that beam conforms well respectively to the intended areas selected from CT findings of Fig. 7.

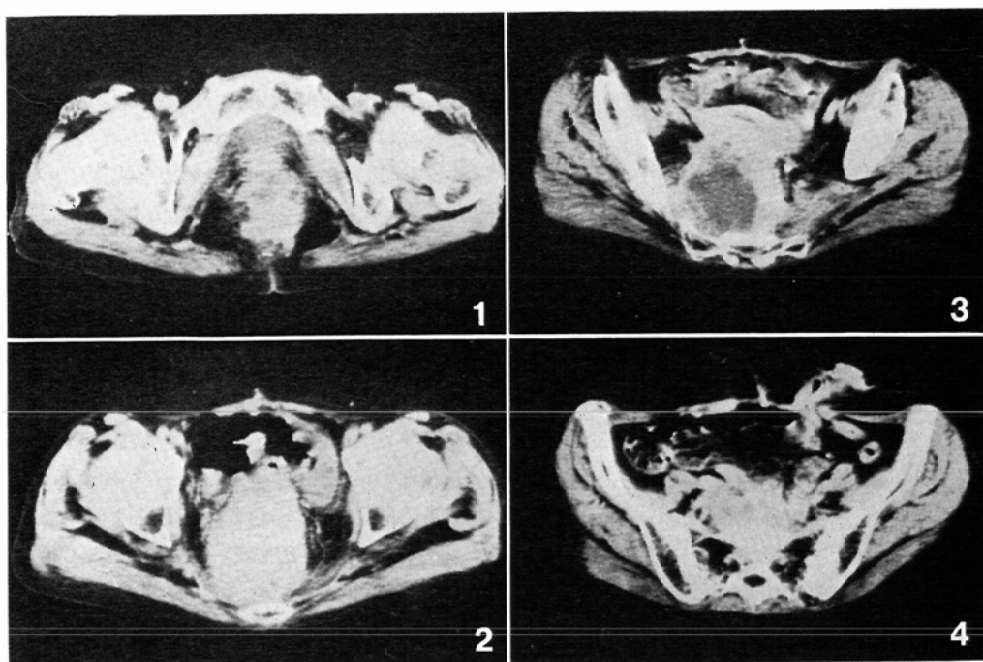


Fig. 9 Enhanced CT of a patient with recurrence of rectal cancer after a surgical operation.

The size and extent of tumor on each slice is obviously different respectively.

1. Level at the center of the pubic symphysis (ps).

2. Level at 30mm above ps.

3. Level at 60mm above ps.

4. Level at 90mm above ps.

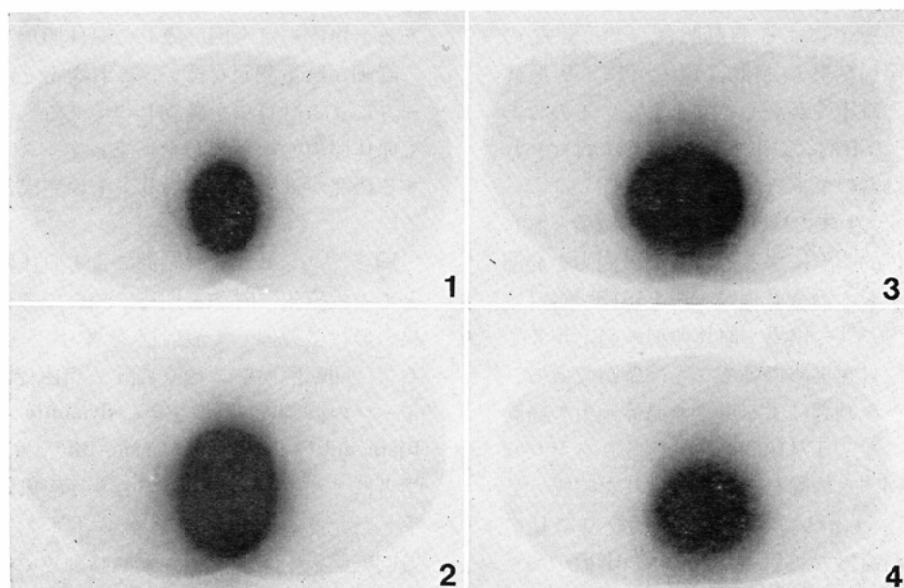


Fig. 10 Beam focus radiogram taken by computer controlled multi-leaf conformation irradiation.

It is clear that beam conforms well respectively to the intended areas selected from CT findings of Fig. 9.

を実施した。この方法で撮影した線巢写真では、CT 像から選んだ目的範囲に放射線がよく集中していることが確認される (Fig. 10)。

考 案

原体照射法は基礎的な理論と臨床応用の基本が既に確立した研究課題である¹⁾。原体照射法にコンピュータを応用することの意義とその場合の問題点を中心に考察する。

原体照射法が臨床に应用されてから20年以上経過している。原体照射法は勝れた理論をもつ理想的な照射法であるのに一般に普及していない。この理由は、英国学派の意見²⁾で代表されるように、個々の症例に原体照射を実施する場合、治療計画の立て方、線量分布の確認、治療の精度と再現性などの疑問と、この治療法の有用性を納得させる臨床成績に乏しいことがあげられる。

コンピュータを利用するとこれらの事柄が殆ど解決されて、原体照射の目的が容易に正確に果たされることを私共の経験から明らかにした³⁾⁴⁾。すなわち、コンピュータを応用すると、原体照射の線量分布の計算が容易であり、症例ごとに最も適当した原体照射の条件を選ぶことができるし、またコンピュータによる自動照合、治療装置の自動制御、照射結果の自動記録などにより原体照射の精度と確実性が著しく向上しているのである⁴⁾。これらの事柄は従来方式¹⁾では行なわれていなかったものである。

一方、CT は生体の横断面における病巣と器官の状態を具体的明瞭にする点で抜群の能力を発揮し⁵⁾、原体照射の治療計画が一段と正確で容易になっている⁶⁾。CTの出現で原体照射の適応が多くなり、再び注目を集めていることは確かである。

コンピュータ制御による単分割原体照射の経験をもとにして³⁾⁴⁾、5対10個の多分割絞りをコンピュータで制御する装置を設計し、これを完成させたのである⁷⁾。しかしながら、単分割絞りに比較すると機構が複雑であり、改良すべき事柄が多く残されている。

その1つは、多分割絞り装置を4MeV リニアックの照射口直下に取付けて実施するので適応に制

約をうけることである。すなわち4MeV リニアックの線源とアイソセンターの距離が80cmであり、多分割絞り装置と患者の間隔が狭く、各部の適応には少なくとも100cmが必要である。

次は作成できる線巢の形状と臨床応用の適応に限界があることである。すなわち、今回製作した装置は3cm 間隔で5対10個の collimator が対称的に開閉するものである。より狭い間隔で多数の collimator が非対称的に開閉できるようになると、理想の原体照射に近づくことは当然である。このように多数の collimator の開度を精度よく制御するのは、コンピュータなしでは不可能かもしれない。これはコンピュータの容量を大きくし、時間と費用をかければ実現は可能である。差当り現在の5対10個の collimator を非対称的に開閉を制御するプログラムの開発を検討している。

第3の課題はコンピュータによる線量分布計算である。現在は THERAC-Ⅱ で中心断面の線量分布を計算作成しているが、多分割原体照射の線量分布図は各断面で相違し、これをコンピュータで一挙に計算処理することはかなり困難な作業である。尾内らは今回完成した原体照射装置について詳細な線量測定を行い、これをもとにコンピュータによる計算法を確立しつつある⁸⁾。この他にも原体照射の線量分布をコンピュータで計算処理する研究が進められており、その完成が期待される⁹⁾。

翻ってコンピュータ制御による原体照射の現況とこの治療法に対する期待について考察する。病巣の形状に近似して放射線を集中させる方法として、回転照射中、治療装置と治療台をコンピュータの制御で運動させる dynamic therapy が Bjärngard¹⁰⁾、Nebelt¹¹⁾、Chung-Bin¹²⁾ らの米国の学者により研究開発されており、臨床応用にも着手した。

回転照射中コンピュータの制御で collimator を開閉させる conformation therapy は、梅垣が基本構想と可能性を示唆し¹³⁾、これを実現した私共の研究と、Mantel¹⁴⁾、Levene¹⁵⁾、Perry¹⁶⁾ らの研究が

ある。コンピュータ制御による dynamic therapy と conformation therapy の現況と成果を報告した 7th International Conference on the Use of Computers on Radiation Therapy (Tokyo, Sept. 22-26, 1980) の発表の限りでは、私共の研究⁴⁾ が群を抜いており、この session を司会した Glicksman¹⁷⁾ も成果を高く評価している。

一方、7th ICCR の機会に放射線治療システム標準化委員会が外国と日本についてアンケート調査した結果では、コンピュータ制御の conformation therapy と dynamic therapy の実施に対する希望と期待が極めて大きいことが明らかである¹⁸⁾。コンピュータによる放射線治療の自動化の最終目標は conformation therapy などの複雑な照射方法の自動制御であり¹⁹⁾、また多くの collimator の複雑な運動を制御して原体照射の理想に近づくのは、コンピュータの応用によりはじめて実現できるものだと考える。私共の研究はその先鞭をなすものである。

結 論

4MeV リニアックの回転照射中、5対10個の collimator がミニコンピュータの制御でそれぞれ独立して開閉し、複雑な形の線巢を作成する多分割原体照射装置を完成し、実際の治療を開始した。完成した装置では、アイソセンターで3cm間隔で楕円形ないしその類似形の線巢を5層作成する。この装置の原理・各部門の構成と機能・装置の特性・実施要領などを解説した。ついで脳腫瘍と直腸癌の実例について治療計画の立て方、実施方法、結果を説明した。この研究結果からコンピュータ制御で理想的な原体照射が可能であることを考証した。

本研究の内容は、第39回日本医放会総会（昭和55年4月）、7th ICCR（昭和55年9月）、MEDINFO 80（昭和55年10月）で発表した。MEDINFO 80 の three best papers に選ばれ MEDINFO MEDALS (GOLD) を受賞した。

本研究は厚生省がん研究助成金（54—34松田班）の援助によった。感謝の意を表す。

この研究に協力いただいた放射線治療部放射線技師

一同に厚く感謝する。

文 献

- 1) Takahashi, S.: Conformation radiotherapy rotation techniques as applied to radiography and radiotherapy of cancer. Acta Radiol. Suppl. 242, 1965
- 2) Rosenbloom, M.E.: Treatment monitoring, verification, recording and automated set-up. Proceeding of the sixth international conference on the use of computers in radiation therapy. 300—311, 1978
- 3) 松田忠義, 稲田清也: コンピュータを応用した単分割原体照射法の研究. 日本医放会誌, 39: 1088—1097, 1979
- 4) Matsuda, T., Goto, A., Makino, N., Tsuya, H. and Yoshigaki, M.: Computer controlled monoblock conformation radiotherapy. Proceeding of the seventh international conference on the use of computers in radiation therapy, 293—297, 1981
- 5) Munzenrider, J.E., Pilepich, M., Rene-Ferrero, J.B., Tchakarova, I. and Carter, B.L.: Use of body scanner in radiotherapy treatment planning. Cancer, 40: 170—179, 1977
- 6) 小幡康範, 森田鶴三, 渡辺道子: CT を応用した原体照射法の治療計画. 日本医放会誌, 40: 1076—1082, 1980
- 7) Matsuda, T., Matsuoka, A. and Inamura, K.: Computer controlled multi-leaf conformation radiotherapy. Proceeding of the seventh international conference on the use of computers in radiation therapy, 298—302, 1981
- 8) 尾内能夫, 入船寅二, 都丸禎三, 内田 勲: コンピュータによる原体照射の線量分布計算法の開発. 厚生省がん研究助成金 松田班 班会議資料 (Dec. 6, 1980)
- 9) Matsuoka, A., Inamura, K. and Matsuda, T.: Design and development of multi-leaf conformation radiotherapy system integrated with CT and treatment planning. Proceeding of the seventh international conference on the use of computers in radiation therapy, 350—354, 1981
- 10) Bjärngård, B. and Kijewski, P.: The potential of computer control to improve dose distribution in radiation therapy. Proceeding of the fifth international conference on the use of computers in radiation therapy 110—124, 1976
- 11) Noblett, D.K., Shaefflein, J.W., Haymond, H.R., George, III, F.W., Ahten, E.R. and Mackinney, J.G.: Dynamic treatment. Proceeding of the fifth international conference

- on the use of computers in radiation therapy, 145—153, 1976
- 12) Chung-Bin, A., Wachtor, T. and Hendrickson, F.: Computer controlled moving isocenter technique in clinical application. Abstract of the seventh international conference of the use of computers in radiation therapy B-d-3, 1980
 - 13) Umegaki, Y.: The automation of radiotherapy. Computers in radiotherapy. Special Report No. 5, 147—153, British Institute of Radiology, 1971
 - 14) Mantel, J., Perry, H. and Weinkam, J.J.: Automatic variation of field size and dose rate in rotation therapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2: 697—704, 1977
 - 15) Levene, M.B., Kijewski, P.K., Chin, L.M., Bjärngard, B.E. and Hellman, S.: Computer controlled radiation therapy. *Radiology*, 129: 769—775, 1978
 - 16) Perry, H.: Computer control of patient and machine parameters in radiation therapy. Proceeding of the seventh international conference on the use of computers in radiation therapy, 21—27, 1981
 - 17) Glicksman, A.S.: Conformation and dynamic treatment. Chairman's summary report. *ibid*, 470, 1981
 - 18) Matsuda, T., Inamura, K., Inada, T., Fujita, H., Suzuki, K. and Tanka, N.: Survey on the state of arts in the use of computers in radiation therapy. Questionnaire No. 5 Automated radiotherapy machines. *ibid*
 - 19) Wood, R.G.: Computers in radiotherapy-physical aspects. Butterworths, London, 1974
-