

■ TECHNICAL NOTE

原体照射対応型高速治療計画装置の有効性

青木 幸昌^{*1}, 中川 恵一^{*1}, 寺原 敦朗^{*1}, 小野木 雄三^{*1}, 坂田 耕一^{*1},
牟田 信春^{*1}, 佐々木 康人^{*1}, 赤沼 篤夫^{*2}, 黒川 正明^{*3}

FEASIBILITY OF A HIGH SPEED TREATMENT PLANNING UNIT FOR ROTATIONAL CONFORMATION RADIOTHERAPY.

Yukimasa AOKI^{*1}, Keiichi NAKAGAWA^{*1}, Atsuro TERAHARA^{*1}, Yuzo ONOKI^{*1},
Kouichi SAKATA^{*1}, Nobuharu MUTA^{*1}, Yasuhito SASAKI^{*1},
Atsuo AKANUMA^{*2}, Masaaki KUROKAWA^{*3}

Abstract Rotational multi-leaf conformation is a standard high precision radiation technique in Japan. It is a combined gantry rotation and movement of multi-leaf collimators to create a similar dose distribution to the target volume. Although treatment planning for this technique is rather simple when compared to further complex techniques such as the non-coplanar technique, it is time and man-power consuming. The authors developed a new type of planning machine for the conformation therapy. Fully automatic field setting based on the beam's-eye-view principle reduces planning time quite drastically. The authors hope that the present planning system will enhance the availability of conformation radiation therapy.

Keywords: Radiotherapy, Conformation, Treatment planning, Multi-leaf collimator

はじめに

原体照射は故高橋信次教授らによって開発され、その後、我が国の多くの研究者の努力により広く国内に普及した優れた放射線治療技術である。限られた症例に複雑な照射技法を適用することは散見されるものの、日常臨床の場で多数の症例に応用されている高精度放射線治療技法としては世界的にも類をみないものである⁽¹⁾。

原体照射は、ガントリーの回転中に多分割絞りコリメータの開度が角度に応じて変化するダイナミック回転照射とされるが²、多門固定照射において多分割絞りコリメータを用いることで同様の線量分布が得られるため、かならずしもガントリーの回転を必要としないとする立場もある。本論文

では便宜上、前者を回転原体照射法、後者を固定原体照射法とする。コリメータの運動は当初、カムによる機械式であったが^{3(2,4)}、その後松田らによってコンピュータ制御式のものが開発され、さらに簡便で、信頼性の高いものとなった⁵⁽⁶⁾。さらに、各コリメータがビームの中心線を超えて移動できる“オーバーラン”型の多分割絞りコリメータ⁷、横方向だけでなく、縦方向のビームの広がりによって運動して、コリメータ間の干渉が少ない“テーパー”型多分割絞りコリメータが開発されて、さらに有用性が高まっている。

一方、原体照射の普及を制限している要素に治療計画の問題がある。もともと、原体照射は我が国で開発、普及した照射技法であるため、海外で開発された治療計画システムがこれに十分対応で

^{*1} 東京大学医学部放射線医学教室 Department of Radiology, Faculty of Medicine, University of Tokyo.

^{*2} 放射線医学総合研究所 National Institute of Radiological Sciences.

^{*3} 三菱電機株式会社 Mitsubishi Electric Company.

きなかったのは事実である。現在、原体照射に対応する治療計画システムとしては、CMS社モジュレックスが普及しているが、米国で開発された装置を多分割絞りコリメータ用に改良したものであり、1) Beam's-eye-viewに対応していない点、2) マルチCT画像上で線量分布を一括表示できない点、3) 計算速度が遅い点、4) ネットワーク環境への対応が不十分である点、などの問題点があり、原体照射の治療計画に多大な時間を要している⁽⁸⁻⁹⁾。このため、多分割絞りコリメータを導入しても原体照射をルーチンに行えない場合があるのが現状である。

筆者らは、三菱電機(株)と協同で、Beam's-eye-viewを基礎に、短時間で原体照射治療計画を作成し、照射装置へデータを転送する新しい治療計画システムを完成した。これによって、従来数時間を要した原体照射の治療計画が大幅に簡易に行えるようになった。本稿では、本システムの特徴と利点を従来のシステムと比較する形で報告する⁽¹⁰⁾。

方法および結果

1. 治療計画システムのハードウェア

ハードウェアは、汎用計算機、19インチカラーグラフィックディスプレイ、16インチカラー操作端末、バックライト付デジタイザ、カラープロッタ、プリンタ、ビデオプリンタ、DATデータストリーマ、水ファントム装置、およびインタフェースケーブルからなる。装置の外観を図1に、ハードウェアの基本仕様を表1にまとめる。

治療計画コンピュータと各装置とのインターフェースはTCP/IPによるイサネットを介して行われる。治療計画用CT装置(島津製CTS10)はイサネットポートを持たないため、パーソナルコンピュータへGPIBによりデータを転送して、イサネットへ接続している。画像転送用のファイルは256×256のマトリックスサイズの非圧縮型(島津製オリジナルフォーマット)である。照射装置、水ファントムへはイサネットを介して直接転送する。ネットワーク下の装置の接続図を図2に示す。

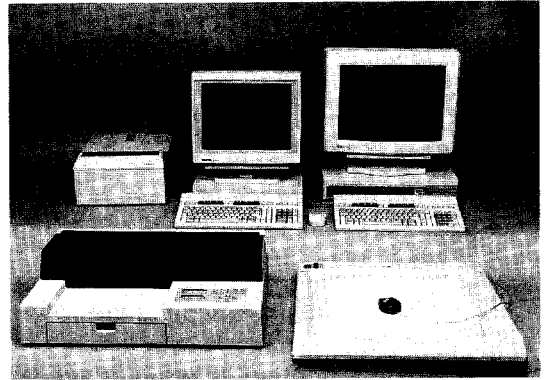


Figure 1. Appearance of the treatment planning system.

Table 1. Specifications of the planning system.

Main computer:	CPU32 bits, main memory 32 MB Calculation speed 76MIPS, 22.9 MFLOPS
Language:	C language, SQL for database
Graphic display:	19 inch monitor, resolution 1280X1024
X terminal:	16 inch monitor, 1024X768
Digitizer:	resolution 0.25mm
Color plotter	
Printer	
Video printer	
Data streamer:	DAT or Optical disk
Water phantom for beam data retrieving	

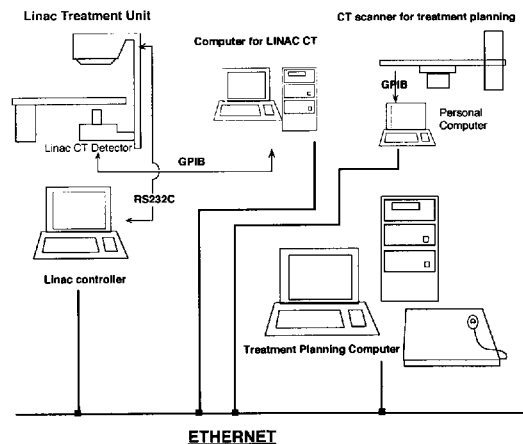


Figure 2. The planning system as a part of the communication environment.

2. 外照射用ソフトウェア

照射技法はモノブロック固定照射，多分割絞り固定照射，モノブロック回転，原体照射をサポートしている。ウェッジフィルター，ブロックフィルター，打ち抜き体の使用が可能である。線量計算方法は計算速度を優先してRatio-TPR法を基本としたが，精度を要する計画ではSPR法の利用が可能である。OCR，TPR用テーブルは水ファントムから転送された実測データから作成する。原体照射，回転照射では360度回転では10度毎，180度回転では5度毎に分布計算を行っている。また，線量分布マトリクスは64×64を標準としている。固定照射1門あたりの分布表示までの時間はRatio-TPR法，SPR法それぞれ約2秒および3秒である。360度原体照射ではそれぞれ約6秒および45秒である。密度補正は，CT画像によるPixel by pixel法もしくはデジタイザからの輪郭入力による指定から選択できる。体輪郭の抽出は自動で行われる。臓器輪郭はカーソルを関心臓器内に設定することにより自動的に抽出可能である。抽出に失敗した場合は手動で修正する。

ターゲット入力後のアイソセンタは数値入力の他，全ターゲットの重ね合わせ表示像上およびBeam's-eye-view画面上で決定可能である（図3参照）。ターゲットとアイソセンタが決定されると，多分割絞りコリメータ各リーフの開度が自動的に決定される。この際，セーフティマージンの設定が可能である。また，各CT画像上のターゲットを各リーフに割り付ける作業も自動化されている。Beam's-eye-view画面は，体輪郭，決定臓器輪郭，ターゲット輪郭をワイアフレームによって表示して，照射野開度と重ね合わせて示す。図4に図3の症例での例を示す。この際，アイソセンタ位置の他，各リーフの開度も手動で微調整が可能である。

線量分布の表示は，CT画像上での重ね合わせ表示で，CT画像1，4，9コマから選択でき，ウィンドー，レベルの調整が可能である。図5に図3，4の症例での線量分布表示を示す。照射用データの転送も自動的に行われる。

患者データ，治療計画データはSQLデータベースソフトウェアによって管理されており，高速で

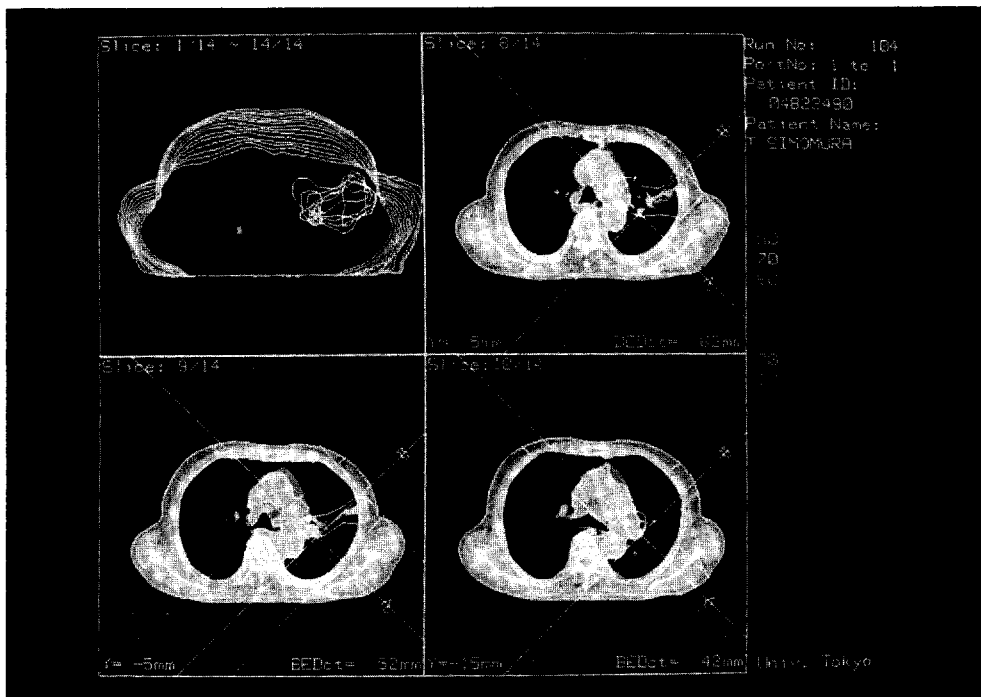


Figure 3. The isocenter is determined on the superimposed target lines.

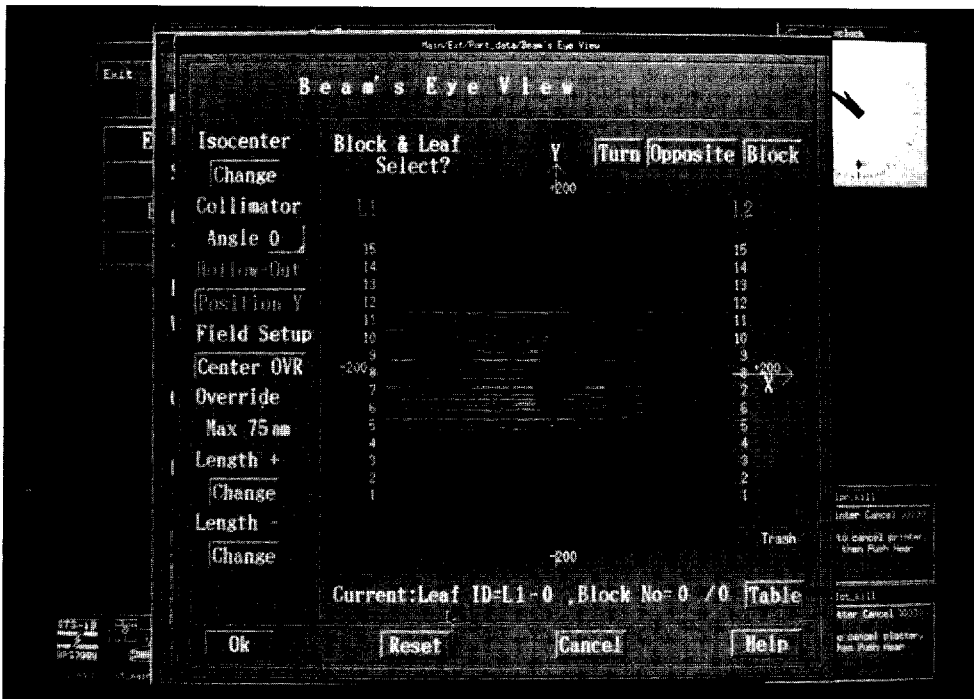


Figure 4. Beam's-eye-view showing external contours, critical organs, targets and collimator shaping.

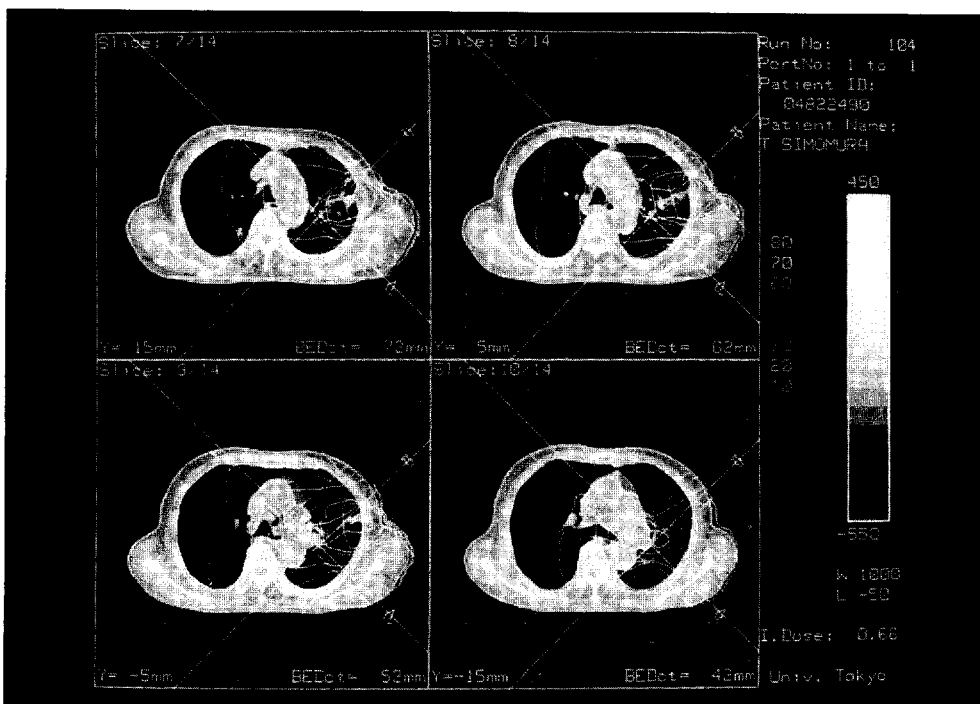


Figure 5. Dose distributions on CTs for the same case as in figures 3 and 4.

効率的な検索が可能である。

3. 治療計画時間

図3, 4, 5で用いた症例（左肺上葉の原発性肺癌）について、従来の原体照射用治療計画装置（CMS社モジュレックス, システム2.70）と本装置とで、原体照射による治療計画を行い、計画の開始から照射装置へのデータ転送完了までの時間を比較した。CT画像の入力は、モジュレックスではフロッピーディスクによるため、CT画像入力後の時間を比較した。

ターゲットは原発巣と肺門部リンパ節を含めて1cmピッチのCT11枚上で行った。モジュレックスでの計算マトリックスは33×33とし、線量分布表示は多分割絞りの中心となるCT画像5スライス上で行った。本装置では、線量計算にはRatio-TPR法を用い、分布はターゲット入力を行った11スライスと上下各1スライスずつの13スライス上で表示した。

治療計画時間の評価は360度回転原体照射と多門固定原体照射のそれぞれに行った。多門固定原体照射は4門で、ウェッジを用いないという制限を設けた。評価は卒業後8-10年の放射線治療専門医によって3名（A, B, C）によって行われた。なお、両治療計画装置に対して公平を期するため、CT画像上でのターゲット設定に要した時間は除外した。

治療計画に要した時間は表2, 3に示すとおりで、回転原体照射では、従来の治療計画装置、本システムそれぞれ53.0分と2.3分、固定原体照射でそれぞれ、38.3分と3分で大きな差が認められた。計画時間の差の原因としては、計算速度の差の他、モジュレックスでは各スライス毎に分布を再計算する必要があるため、スライス分だけパラメータ

の設定と分布計算を繰り返す必要があったことが大きく寄与した。本システム上で回転原体照射より固定原体照射の方が時間を要したのは、後者では各門の入射角度の選択にトライアンドエラーを必要としたためである。

考 察

我が国の原体照射法は、標準化された高精度放射線照射技法としては他に類をみないほど普及した方法である。多分割絞りコリメータ自体が我が国で独自の発達をとげた歴史的背景があり、ガントリーの回転とコリメータのダイナミックな運動とを組み合わせたこの方法は、世界をリードするものと言ってよい。とくに、高線量域から低線量域までターゲットに相似した形状をとるという利点に特徴がある。

しかし、原体照射は本来それほど複雑な照射技法ではない。Non-coplanar照射では、照射条件が無数にありえるため⁽¹¹⁻¹³⁾、治療計画の評価法として、Dose-Volume Histogramに代表される手法を必要とするのに対して⁽¹⁴⁻¹⁶⁾、360度回転原体照射に限れば、治療計画者が操作しうるパラメータはアイソセンタ位置のみであり、ターゲットとアイソセンタが決定されれば、照射条件は一意的に決定されるレディーメイドな照射技法と言える。逆に、ターゲットに近接して危険臓器が存在する場合などには、必ずしも最適な照射法でないこともあるが、多くの症例で有効な方法である。

多分割絞りコリメータが普及した今日でも、前後対向二門などの単純な照射法がいまだに主流であり、原体照射治療計画における簡便性は十分には活かされていない。この原因として、原体照射に十分対応した治療計画システムが開発されなか

Table 2. Times required for completing the rotational conformation technique by three radiation oncologists, with the present and conventional planning systems.

RTP	A	B	C
Conventional system	52 min	46 min	61 min
Present system	2 min	2 min	3 min

Table 3. Times required for completing the static multi-ports conformation technique by three radiation oncologists, with the present and conventional planning systems.

RTP	A	B	C
Conventional system	38 min	32 min	45 min
Present system	6 min	6 min	9 min

ったことが一つの要因と考えられる。本システムは、原体照射の治療計画を短時間に、効率的に行うことを可能とした。このことによる原体照射の普及と期待する。

一方、治療計画の最適化の方法として、原体照射はつねに優れているとは言えない。原体照射では容積線量が大きくなるため、肺などの低線量部分の障害への寄与が高い臓器については必ずしも有利とは言えないし、ターゲットに隣接して決定臓器が存在する場合には、多門照射を用いることによって、ターゲット外の線量を急速に落とす必要があることもある。このように、各症例に応じた最適な治療計画を立てるには、Dose-Volume HistogramやNormal tissue complication probabilityなどの指標が重要である。また、欧米で急速に普及しつつあるNon-coplanar照射への対応も必要であろう。本システムをさらに改良し、原体照射以外にも有効な総合的システムへと発展させたい。

この研究の一部は振興調整費による省際基礎研究“高性能ビーム画像技術に関する基礎的研究”により行われた。

文 献

- 1) Takahashi, S: Conformation radiotherapy Rotation technique as applied to radiography and radiotherapy for cancer. *Acta Radiol, Suppl* **242**: 1-142, 1965.
- 2) 松田忠義, 大沼勲, 高橋信次, 他: 単分割原体絞り照射法の研究. 日本医学放射線学会誌 **35**: 92-100, 1975.
- 3) 北畠隆, 母里知之, 奥村寛, 他: リニアアクセラレーターによる原体照射法. 日本医学放射線学会誌 **26**: 1448-1454, 1967.
- 4) 森田皓三, 寛正兄: 子宮頸癌に対する全骨盤腔内原体照射の際の患者の体型と照射線果の形との関係. 日本医学放射線学会誌 **35**: 780-787, 1975.
- 5) 松田忠義, 稲邑清也: コンピュータを応用した単分割原体照射法の研究. 日本医学放射線医学学会誌 **39**: 1088-1097, 1979.
- 6) 松田忠義, 稲邑清也: コンピュータを応用した多分割原体照射法の研究. 日本医学放射線医学学会誌 **41**: 965-974, 1981.
- 7) 小幡康範, 藤井洋司, 梅村栄行, 他: 偏心性多分割絞りによる原体照射法の研究 (その1) 装置と線量分布計算. 日本医学放射線学会誌 **46**: 513-514, 1986.
- 8) Takahashi, K.; Purdy, J.A.; Liu, Y.Y: Treatment planning system for conformation radiotherapy. *Radiology* **147**: 567-673; 1983.
- 9) 小幡康範, 高橋一広, 渡辺道子, 他: 治療計画用コンピュータを用いた原体照射法の線量分布計算. 癌の臨床 **27**: 1627-1631, 1981.
- 10) 中川恵一, 青木幸昌, 佐々木康人, 他: 高精度放射線治療計画装置の現状と展望. 癌と化学療法 **20**: 2115-2119, 1993.
- 11) Goitein, M., Abrams, M., Rowell, D. et al.: Multi-dimensional treatment planning: II. Beam's eye-view, back projection, and projection through CT sections. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **9**: 789-797, 1983.
- 12) McShan, D.L., Fraas, B.A., Lichter, A.S.: Full integration of the beam's eye view concept into computerized treatment planning. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **18**: 1485-1494, 1990.
- 13) Rosenman, J., Sailer, S.L., Sherouse, G.W. et al.: Virtual simulation: Initial clinical results. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **20**: 843-851, 1991.
- 14) J.T. Lyman and A.B. Wolbarst, Optimization of radiation therapy, IV: A dose-volume histogram reduction algorithm. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **17**: 433-436, 1989.
- 15) J.T. Lyman, Complication probability as assessed from dose-volume histograms. *Radiat Res Suppl.* **8**: 104, S13-S19, 1985.
- 16) M. Austin -Seymour, G. T. Y. Chen, J. R. Castro, et al.: Dose volume histograms analysis of liver radiation tolerance. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **12**: 31-35, 1986.

要旨: 原体照射は我が国で開発され、普及した高精度放射線治療技法である。これは多分割絞りコリメータの開度がガントリー回転に対応して変化するものである。照射野開度はビームズアイビューによって決定されるので、原体照射の治療計画はNon-Coplanar照射等と比較すると単純であるが、従来の治療計画装置では、ビームズアイビュー機能が不十分であったため、時間とマンパワーを要した。今回、原体照射に対応した治療計画システムを開発した。ビームズアイビューに基づく自動的な照射野開度の決定が可能で、治療計画に要する時間が大幅に縮小された。本システムにより、原体照射のさらなる普及が期待される。