原 著

原体照射法による定位的放射線照射の線量分布の検討

藪谷俊峰・鈴木昇一¹⁾・加藤正直・安野泰史¹⁾論文受付
2000年4月28日論文受理
2000年10月3日

Code No. 852

藤田保健衛生大学病院放射線部

1) 藤田保健衛生大学衛生学部放射線技術学科

緒 言

スウェーデンの脳外科医 Lars Leksell はメスの代わりに放射線の細いビームを用いて、頭蓋内の微小な標的に対し正確に、定位的手法により1回に高線量を照射し、病巣部を破壊する方法を定位手術的照射(stereotactic radiosurgery: SRS)と定義した¹⁾。一方、厚生省がん研究阿部班では、定位手術枠などを用い、治療中を通じて照射中心精度が1mm以内である放射線治療

を定位放射線照射(stereotactic irradiation: STI), そのうち1回照射をSRS, 分割照射を定位放射線治療(stereotactic radiotherapy: SRT)と定義し、用語の統一を図るよう提唱している。

このSTIを行う方法は、コバルト60- γ 線を用いた gamma unit^{2~5)}, Bragg peakを用いた陽子もしくは重粒子線治療法^{6, 7)}, 医療用直線加速装置(linear accelerator)を用いたmultiple non-coplanar converging arcs

Study of Dose Distribution for Stereotactic Irradiation by Conformational Radiotherapy

TOSHIMINE YABUTANI, SHOUICHI SUZUKI,¹⁾ MASANAO KATO, and HIROFUMI ANNO¹⁾

Department of Radiology, Fujita Health University Hospital

1) Department of Radiological Technology, Fujita Health University School of Health Sciences

Received April 28, 2000; Revision accepted Oct. 3, 2000; Code No. 852

Summary

Current stereotactic irradiation techniques with high-energy photon beams are based either on gamma units that use 201 stationary cobalt beams or on isocentric linear accelerators. The techniques using linear accelerators are divided into multiple non-coplanar techniques and others, all of which have their respective physical characteristics, such as precision of dose convergence and isodose distribution. Conformational stereotactic irradiation was developed in order to improve the precision of dose convergence, and we compared isodose distributions to conventional multiple shots of stereotactic irradiation by the film method using a globular Mix-Dp phantom with a diameter of 20 cm. Results were as follows: (1) isodose distribution was shown as curved lines with conformational stereotactic irradiation, rather than the simple ovals with multiple-isocenter stereotactic irradiation; (2) the precision of dose convergence of simple shaped conformational stereotactic irradiation was equal to that of multiple-isocenter stereotactic irradiation; (3) the possibility existed of deterioration of the precision of dose convergence according to complex shaped conformational stereotactic irradiation.

Key words: Stereotactic irradiation, Conformational radiotherapy, Dose distribution, Measurement of dose convergence, Linear accelerator

別刷資料請求先: 〒470-1192 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98
藤田保健衛生大学病院放射線部 藪谷俊峰 宛

Fig. 1 Angles of arcs of the multiple non-coplanar converging arcs technique with isocentric linear accelerators used up to 6 arcs, each from 20° to 130° (b) with treatment couch angles of 75°, 45°, 15°, -15°, -45°, and -75° (a).

a | b

Fig. 2 Dose delivery to the target of precessional convergent irradiation with isocentric linear accelerators. The irradiated angle of the gantry was 8° along with 11 shots.

法^{8~13)}(以下, MCA法), 同じく直線加速装置を用いた歳差集光照射法(precessional convergent irradiation)^{14~19)}, 直線加速装置を用いたその他の方法^{20~22)}等がある。

いずれの照射法も微小な標的に集中して大線量を与え, なおかつ健常組織には影響を少なくするため, 各種の技術と工夫が盛り込まれている。そして, その治療計画の方法も同様に特徴がある。gamma unitの治療計画は球状の照射野の位置と数, および線量配分, コリメータの大きさなどを変化させながら, 試行錯誤的に最適な線量分布を作成する²³⁾。コリメータヘルメットのコリメータの一部をpluggingして塞ぐことで線量分布をある程度変形できるが, 大きな標的や複雑な形状の標的には, 複数の照射野を三次元的に組み合わせることで標的に近い形の線量分布を作成する²³⁾。そして, 通常50%当線量曲線で病変を取り囲むため, 照射計画では標的に一致しているが標的内部には多数のホットスポットが存在する²⁴⁾。このようなtumor dose inhomogeneityは, 合併症の出現と有意に相関するとの報告もある²⁵⁾。

一方, 直線加速装置を用いたSTIにおける照射計画の特徴は, 至適な大きさの照射野を用いて, arcの本数や角度, beam weight等を変化させることにより, 可能ならば1個のアイソセンタへの照射ですまないかと工夫する²⁴⁾。しかし, それが不可能ならばgamma unit的なmultiple isocentersを用いたSTI(以下, M-STI)にならざるを得ない²⁴⁾。

今般, われわれは線量分布の改善を求め, 直線加速装置を用いたSTIと原体照射法^{26~29)}を組み合わせた原体定位放射線照射(以下, 原体STI)を考案³⁰⁾し, 線量

分布の集中度(以下, 集光度)の検討を行った。この原体STIは照射角度ごとにコリメータを操作して標的の形状に一致した照射野を得るよう, 標的に一致した高線量域を得る手法である。STIの方法はMCA法と歳差集光照射法を採用した。

1. 方法

原体STIとM-STIの等線量曲線図を取得し, 集光度を検討した。測定用フィルムを挟み込み直径20cmの球になるように作製した半球状のMix-Dp³¹⁾ファントム2個を使用し, フィルム法^{32, 33)}により等線量曲線図を得た。一連の測定はまとめて標準照射フィルムと同時処理し, 吸収線量に変換して評価した。MCA法は宮原¹³⁾の方法を採用し, ファントム中心に向け, 正中線より左右に15°, 45°, 75°のarc数6, arc角度110°にて照射した(Fig. 1)。歳差集光照射法は8°刻みの11門で照射した(Fig. 2)。M-STIでは照射野10×10mm²にてshotを重ねた。使用したフィルムおよび現像処理条件によりフィルム黒化度の最高値が約2.0になるよう, 最大標的線量は1Gyに設定した。

臨床において原体照射法を用いる場合は, 複雑な形状の標的に対してなるべく一致した照射野を設定する。そのため, 一定の標的の形状は存在しない。そこで本研究では最も簡単な標的の形状である10mmφの照射野2個並べたものに相当する楕球体を基準標的の形状として比較検討を行った。

なお, 本装置におけるM-STIはshot間のギャップが

0mmの時、ホットスポットの発生が抑制されたため、M-STIのギャップは0mmとした。

MCA法における原体STIでは体軸から横方向にのばした線量分布が良好な結果を得たので、その方向にて検討を行った。MCA法は10mmφの照射野2個並べたM-STI、10mmφの照射野2個のM-STIに相当する原体STI、さらに少し形状を複雑にする目的で10mmφの照射野3個のM-STIに相当する原体STIにて比較検討した。

一方、歳差集光照射法における原体STIでは体軸方向にのばした原体STIの線量分布が良好な結果を得たので、その方向にて検討を行った。歳差集光照射法は10mmφの照射野2個並べたM-STI、10mmφの照射野2個のM-STIに相当する原体STI、さらに10mmφの照射野3個のM-STIに相当する原体STI、さらに歳差集光照射法では光照射野を体軸方向に長い矩形に固定する(以下、矩形固定)と楕円球の治療容積輪郭が得られるため10mmφの照射野2個のM-STIに相当する照射野10×20mm²の矩形固定照射野を用いた歳差集光照射法にて比較検討した。

原体STIの照射角度ごとのコリメータ開度(アイソセンタ上での一辺の長さで表す)をFig. 3に示す。10mmφの照射野2個のM-STIに相当する原体STIの照射角度ごとのコリメータ開度Lの近似式は $L=2r(1+\sin\theta)$ であり、10mmφの照射野3個のM-STIに相当する原体STIのコリメータ開度L'の近似式は $L'=2r(1+2\sin\theta)$ である。この式は平行ビームの場合に成り立つ式であるが、同一平面上に同じ直径を持つ二つの円が接しているとき、二つの円外にある1点から接線を引いた2本の接線が引ける。円外の1点から二つの円の接点へ引いた直線と2本の接線の開き角は異なる。すなわち、このことを原体照射に当てはめた場合、左右のコリメータ開度は異なる。しかし、線源回転中心間距離80cmにおいて最大3cmの小さな照射野ではコリメータ開度の左右の差は無視できると考える。

1-1 線量分布形状

取得した各照射法の等線量分布図から、線量分布の形状を比較した。

1-2 照射面積比

今回は冠状断面の照射面積比をSTIの集光度の指標として検討を行った。各照射法の等線量分布から90%以上の面積と50%以上の面積との比より高線量域の集光度、50%以上の面積と10%以上の面積との比より低線量域の集光度を求めた。今回の方法では理論的に歳差集光照射法は冠状断面と矢状断面とは等線量分布図が同一形状になり、軸位断面は円形になる。一方、

Fig. 3 The conformational stereotactic irradiation field L that was calculated with a model of 10 mmφ in diameter and two-shot multiple isocenter stereotactic irradiation.

MCA法は冠状断面と軸位断面とは等線量分布図が同一形状になり、矢状断面は円形になる。そのため、冠状断面の照射面積比のみでSTIの集光度の指標になると考えた。

集光度の測定のために、4MeV直線加速装置NELAC-1004B(日本電気株式会社製)から発生する4MV X線(TMR20/TMR10による線質評価は3.6MV)を用いた。歳差集光照射法は回転イスの代わりにレコードプレーヤのターンテーブルを加工して使用し、Mix-Dpファントムを毎分約15回転で回転させた。フィルムはGRAVURE FILM GN-135T(富士写真フィルム株式会社製)、等濃度記録装置はPDI-10(コニカ株式会社製)、面積計は複式プランメータKP-13/15(株式会社島津製作所製)、自動現像機はFIP-4000(富士写真フィルム株式会社製)を使用し、現像処理条件は現像液温度23.0°C、処理時間5分30秒を用いた。

2. 結果

2-1 線量分布曲線の形状

MCA法10mmφ2個のM-STIの線量分布をFig. 4に示す。高線量域は楕円形であるが50%以下の低線量域では球形の照射野を二つ並べた影響が現れ中央部がくびれた形状を示した。

MCA法の原体定位放射線照射(以下、原体MCA法)の10mmφ2個に相当する照射野の線量分布をFig. 5に示す。90%線量曲線はほぼ円形を示したが、70%以下の線量曲線は卵形を示した。さらに、10mmφ3個に相当する原体MCA法の線量分布をFig. 6に示す。10mmφ2個の原体MCA法と形状的に似た線量分布曲

Fig. 4 Coronal isodose distribution of two-shot multiple isocenter fields of $10 \times 10 \text{ mm}^2$ by multiple non-coplanar converging arcs for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4 MV x-rays.

Fig. 5 Coronal isodose distribution of conformational multiple non-coplanar converging arcs matched for two fields of 10 mmφ in diameter for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4 MV x-rays.

Fig. 6 Coronal isodose distribution of conformational multiple non-coplanar converging arcs matched for three fields of 10 mm in diameter for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4MV x-rays.

Fig. 7 Coronal isodose distribution of two-shot multiple isocenter fields $10 \times 10 \text{ mm}^2$ by precessional convergent irradiation for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4MV x-rays.

線が得られた。

一方、歳差集光照射法では10mmφ 2 個のM-STIの線量分布をFig. 7に示す。90%から50%線量曲線は線量分布の中心が頭頂部側に偏った瓢箪形を示した。

歳差集光照射法における10mmφの照射野 2 個のM-STIに相当する矩形固定の照射野の線量分布をFig. 8に

示す。90%から30%線量曲線は楕円形状を示したが、10%線量曲線はラグビーボール様の形状を示した。

一方、10mmφ 2 個のM-STIに相当する歳差集光照射法の原体STIの線量分布をFig. 9に示す。線量分布曲線はすべての曲線で楕円形であった。

10mmφ 3 個に相当する歳差集光照射法の原体STIの

Fig. 8 Coronal isodose distribution of precessional convergent irradiation in a rectangular field of 10×20 mm² for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4 MV x-rays.

Fig. 9 Coronal isodose distribution of conformational precessional convergent irradiation matched for two fields of 10 mmφ in diameter for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4 MV x-rays.

線量分布をFig.10に示す。90%線量曲線は線量分布の中心が頭頂部側に偏った流線形を示し、70%から10%線量分布曲線は楕円形状を示した。

以上、線量分布曲線形状の比較は、M-STIでは高線量域における照射野の接合部がくびれた形状を示した。一方、原体STIの線量分布曲線は単純な楕円の形状を示した。

2-2 線量分布曲線面積比

MCA法の各照射法の線量分布曲線面積比の結果をTable 1に示す。高線量域の集光度の指標である90%照射面積/50%照射面積比と低線量域の集光度の指標である50%照射面積/10%照射面積比ともに、M-STIと10mmφ 2個の原体MCA法を比較すると優劣はほとんどなかった。しかし、それらと10mmφ 3個の原体MCA法を比較すると後者は高線量域と低線量域ともに集光度が劣っていた。

一方、歳差集光照射法の各照射法の面積比の結果をTable 2に示す。MCA法に比較し、M-STIと10mmφ 2個の原体STIの集光度がやや優れる結果になった。しかし、矩形の照射野ではM-STIと比較し高線量域は集光度が劣り、低線量域は集光度が優れ、およそ10mmφ 2個の原体歳差集光照射法の集光性と同等になった。10mmφ 2個と10mmφ 3個の原体歳差集光照射法を比較すると、高線量域および低線量域ともに集光度が劣る結果になった。

Fig. 10 Coronal isodose distribution of conformational precessional convergent irradiation matched for three fields of 10 mmφ in diameter for the globular Mix-Dp phantom of 20 cm in diameter with 4 MV x-rays.

3. 考 察

1960年に高橋により開発された原体照射法(conformation radiotherapy)²⁶⁾は運動照射法の一部改良型と考えられていた²⁹⁾。一方、1992年にアメリカで実用化されたconformal radiotherapyは標的の形状に合わせた複雑な形をした照射野(conformal field)による多門固定

Table 1 Irradiated area ratios (90% irradiated area/50% irradiated area, and 50% irradiated area/10% irradiated area) of multiple non-coplanar converging arcs techniques. The fields are multiple isocenters and conformational fields.

Multiple non-coplanar converging arcs	Irradiation area ratio (%) 90% irradiation area/ 50% irradiation area	Irradiation area ratio (%) 50% irradiation area/ 10% irradiation area
Multiple isocenters shot 10×10 mm ² +10×10 mm ²	16.7	36.7
Conformation field (10→20)×10 mm ²	17.2	36.2
Conformation field (10→30)×10 mm ²	14.3	33.0

Table 2 Irradiated area ratios (90% irradiated area/50% irradiated area and 50% irradiated area/10% irradiated area) of precessional convergent irradiation techniques. The fields are multiple isocenters, rectangular fields, and conformational fields.

Precessional convergent irradiation	Irradiation area ratio (%) 90% irradiation area/ 50% irradiation area	Irradiation area ratio (%) 50% irradiation area/ 10% irradiation area
Multiple isocenters shot 10×10 mm ² +10×10 mm ²	25.4	31.0
Rectangular field 10×20 mm ²	17.2	36.1
Conformation field (10→20)×10 mm ²	27.0	35.4
Conformation field (10→30)×10 mm ²	23.0	28.7

照射を、能率良く実施するために開発されたものである²⁹⁾。両者は日本において共に原体照射法と呼ばれている²⁹⁾。われわれが検討した原体STIは高橋の発想に基づいた照射法であり、塩田らの多門歳差集光照射法¹⁹⁾、中川らの歳差集光原体照射³⁴⁾も同じ原理である。

一方、後者の原理に基づいた原体STIはVivianらがアイソ・センタ上にて最小3mm幅のマイクロ・マルチリーフ・コリメータを使用した固定多門non-copla-

nar conformally SRS³⁵⁾である。これらの原体STIとの比較を行いたいと考えるが、その検討は次回に行いたい。

線量分布曲線形状の比較は、MCA法および歳差集光照射法ともにM-STIでは照射野の接合部がくびれた形状を示した。一方、原体STIは楕円形を示した。このことより、原体STIの線量分布曲線形状がM-STIより単純なため、標的の形状に一致させやすいと考える。

線量分布曲線面積比による集光度の検討では、MCA法および歳差集光照射法ともに10mmφ 2個の原体STIはM-STIとほぼ同等であった。

一方、歳差集光照射法における固定矩形照射野では、M-STIと比較すると線量分布曲線形状は楕円形を示したが、高線量域の集光度が低下した。

他方、MCA法と歳差集光照射法ともに10mmφ 2個相当の原体STIと10mmφ 3個の原体STIを比較すると、後者は集光度が劣る結果になった。原体STIは形状を複雑にすると集光度が低下することを示唆していると考ええる。しかし、今回の原体STIは照射角度ごとのコリメータ開度を操作しただけで、線量配分は特に考慮していない。コリメータ開度と線量配分を考慮した原体STIは、より複雑な形状が可能であり、集光度の低下も改善されと考えられ、今後の課題にした。

原体STIの方向はMCA法では体軸から横方向にのびた方向、歳差集光照射法では体軸方向にのび

した方向で、あえて違う方向にて検討を行った。その理由はそれぞれの線量分布が良好な結果を得た得意な方向で比較を行ったためである。しかし、欠点を明らかにするためにも標的の形状への適性を調べるため、いろいろな方向、さらに複雑な標的の形状にて検討する必要がある。さらに、今回の研究では線量分布曲線照射面積を測定し、高線量域と低線量域の集光度を求めた。理想的には照射容積を求めるべきであるが、線

量分布曲線形状が複雑な形状を示しフィルム法では照射容積を求めるのが困難であったため、面積計を用い等線量曲線の面積を求めた。しかし、dose-volume histogram解析(DVH)³⁶⁾を用いれば照射容積の比較がより正確に行えると考える。これらの検討は次の機会に行いたい。

4. 結 語

- 1) 原体STIの線量分布曲線はM-STIと比較し、単純な楕円の形状を示した。
- 2) 原体STIは線量分布曲線が単純な形状であるため、標的の形状に一致させやすい。
- 3) 単純な原体STIの集光度はM-STIとほぼ同等であった。

- 4) 原体STIは形状を複雑にすると集光度が低下した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご教示をいただきました藤田保健衛生大学医学部放射線医学教室 古賀佑彦教授に感謝いたします。また、本研究にご協力いただきました藤田保健衛生大学衛生学部および藤田保健衛生大学病院放射線部の各位、資料を快くご提供いただきましたエレクトラ株式会社、千代田テクノル株式会社、東洋メディック株式会社の関係各位にこの場を借りて深く御礼申し上げます。

この論文の要旨は平成7年度(1995)X線発見100周年記念全国放射線技師総合学術大会にて発表した。

参考文献

- 1) Leksell L: The stereotactic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand*, 102, 316-319, (1951).
- 2) Leksell L: Cerebral radiosurgery. *Acta Chir Scand*, 134, 585-595, (1968).
- 3) Steiner L, Leksell L, Greitz T, et al.: Stereotaxic radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *Acta Chir Scand*, 138, 459-464, (1972).
- 4) Steiner L, Leksell L, Forster DM, et al.: Stereotaxic radiosurgery in intra-cranial arteriovenous malformations. *Acta Neurochir Suppl*, 21, 195-209, (1974).
- 5) Backlund EO: Stereotactic Radiosurgery in Intracranial Tumors and Vascular Malformations. pp.17-34, Springer-Verlag, Stockholm, (1982).
- 6) Kjellberg RN, Hanamura T, Davis KJ, et al.: Bragg-peak proton-beam therapy for arteriovenous malformations of the brain. *N Engl J Med*, 309, 269-274, (1983).
- 7) Fabrikant JI, Lyman JT, and Hosobuchi Y: Stereotaxic heavy-ion Bragg peak radiosurgery for intracranial vascular disorders: Method for treatment of deep arteriovenous malformations. *Br J Radio*, 57, 479-490, (1984).
- 8) Dunbar SF, Tarbell NJ, Kooy HM, et al.: Stereotactic radiotherapy for pediatric and adult brain tumors: Preliminary report. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 30, 531-539, (1994).
- 9) 鈴木恵士郎, 白土博樹: ライナックによるラジオサージェリー. *INNERVISION* 10(5), 42-45, (1995).
- 10) Hartmann GH, Schlegel W, Sturm V, et al.: Cerebral radiation surgery using moving field irradiation at a linear accelerator facility. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 11(6), 1185-1192, (1985).
- 11) Betti OO and Derechinsky VE: Hyper-selective encephalic irradiation with linear accelerator. *Acta Neurochir, Suppl*, 33, 385-390, (1984).
- 12) Colombo F, Benedetti A, Pozza F, et al.: External stereotactic irradiation by linear accelerator. *Neurosurgery*, 16, 154-160, (1985).
- 13) 宮原郷士, 古賀健治, 西川 清, 他: CT guided stereotactic cerebral irradiation by linear accelerator—照射手技と線量分布—. *日医放会誌*, 46(8), 1063-1065, (1986).
- 14) 安野泰史, 古賀佑彦, 鈴木昇一, 他: Convergent radiotherapy by liniac X-ray. *放治システム研(suppl 2)*, 122-124, (1985).
- 15) Anno H, Koga S, Takeuchi A, et al.: A technique of precessional convergent radiotherapy with linear accelerator. *Radiology, (suppl 157)*, 311, (1985).
- 16) 鈴木昇一, 立木秀一, 沢田武司: 放射線治療における照射法の研究—歳差集光照射法. *日放技会誌*, 35(2), 146-172, (1988).
- 17) 安野泰史, 古賀佑彦, 竹内 昭: 4MVX線による歳差集光照射法の研究. *日本医放会誌*, 48(5), 608-614, (1988).
- 18) 寺尾栄夫, 西川秀人, 大石仁志, 他: 新しい原理, 装置によるlinear acceleratorを用いたradiosurgery—その原理・装置と臨床経験. *脳外*, 20, 583-592, (1992).
- 19) 塩田 晃, 福井利治, 田原和彦, 他: 多門歳差集光照射法の検討. *日放技学誌*, 52(9), 1158, (1996).
- 20) Podgorsak EB, Olivier A, Pla M, et al.: Dynamic stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 14, 115-126, (1988).
- 21) 堀川よしみ, 石垣武男, 佐久間貞行: ヘルメット式固定具を用いたライナックによるステレオタキシク照射の試み. *日本医放会誌*, 51(9), 1053-1058, (1991).
- 22) 橘 昌幸, 泉 隆, 城戸五郎, 他: リニアックによるStereotactic Radiosurgeryの検討. *日放技学誌*, 48(5), 770-773, (1992).
- 23) 中川恵一, 青木幸昌, 佐々木康人, 他: ガンマナイフ治療の現状と展望. *INNERVISION*, 10(5), 34-40, (1995).
- 24) 田中清明: XKknife[®]システムによる定位放射線治療. *INNERVISION*, 12(10), 15-20, (1997).
- 25) Nedzi LA, Kooy H, Alexander III E, et al.: Variables associated with the development of complications from radiosurgery of intracranial tumors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 21(3), 591-599, (1991).
- 26) 高橋信次: Co-60廻転照射に於ける新しい工夫. *臨床放射*

- 線, 5, 653-658, (1960).
- 27) 植田俊男: 原体照射法の技術と応用. 日放技学誌, 32 (9), 217-248, (1976).
- 28) 森田皓三: 原体照射法(conformal RT)とその発展. 癌の臨床, 40, 33-46, (1994).
- 29) 森田皓三: 原体照射法. INNERVISION, 12(10), 39-42, (1997).
- 30) 藪谷俊峰, 鈴木昇一, 澤田武司: Radiosurgeryの基礎的検討(原体歳差集光照射法の可能性について). 日放技会誌, 42(9), 1441, (1995).
- 31) 藪谷俊峰, 井田義宏, 澤田武司: 水等価ファントムの比較検討. 日放技学誌, 54(6), 747-753, (1998).
- 32) 平林久枝: 放射線治療領域におけるフィルム線量測定法の有効利用と問題点. 日放技学誌, 51(1), 48-61, (1995).
- 33) 後藤紳一: 写真フィルムによるナロー・ビームの線量評価. 放医物理, 17(1), 9-14, (1997).
- 34) 中川恵一, 青木幸昌, 後藤正治, 他: Cアームライナックと歳差集光原体照射. INNERVISION, 14(10), 96-99 (1999).
- 35) Cosgrove VP, Jahn U, Pfaender M, et al.: Commissioning of a micro multi-leaf collimator and planning system for stereotactic radiosurgery. Radiotherapy and Oncology, 50, 325-336, (1999).
- 36) Drezymala RE, Mohan R, Brewster L, et al.: Dose-volume histograms. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 21, 71-78, (1991).

図表の説明

- Fig. 1 multiple non-coplanar converging arcs法はファントム中心に, 軸位断面より正中面に向け 15° , 45° , 75° の左右対称にarc数6, arc角度 110° にて照射した. (a)は冠状断面, (b)は矢状断面における照射角度を示す.
- Fig. 2 歳差集光照射法は 8° 刻みの11門にて照射した.
- Fig. 3 原体定位的放射線照射の照射角度 θ ごとのコリメータ開度L(アイソセンター上での一辺の長さで表す)を10mm ϕ の照射野2個のmultiple isocentersに相当するモデルにてコリメータ開度Lの計算過程を示す.
- Fig. 4 multiple non-coplanar converging arcs法10mm ϕ 2個でのmultiple isocentersの線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Fig. 5 10mm ϕ 2個に相当する原体定位的multiple non-coplanar converging arcs照射法の線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Fig. 6 10mm ϕ 3個に相当する原体定位的multiple non-coplanar converging arcs照射法の線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Fig. 7 歳差集光照射法10mm ϕ 2個でのmultiple isocentersの線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Fig. 8 10mm ϕ 2個に相当する矩形照射野での歳差集光照射法の線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Fig. 9 10mm ϕ 2個に相当する原体定位的歳差集光照射法の線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Fig. 10 10mm ϕ 3個に相当する原体定位的歳差集光照射法の線量分布を示す. 直径20cmのMix-Dpファントムを使用し, 測定方向は冠状断面, 4MV X線を使用した.
- Table 1 multiple non-coplanar converging arcs法における照射面積比の測定結果.
- Table 2 歳差集光照射法における照射面積比の測定結果.