

第 43 回放射線治療分科会(名古屋)シンポジウム「重要臓器を防護する放射線治療技術」
スライディングウィンドウによる IMRT
近畿大学医学部附属病院放射線部 橋場久幸

はじめに

21 世紀を迎え高精度放射線治療の計画や実施における技術の進歩はめざましく、コンピュータの発展に伴い三次元治療計画装置や外部照射装置の性能も飛躍的に向上した。また近年では、Multileaf collimator (以下、MLC) の自動電子制御による Dynamic-MLC が出現し、Inverse planning algorithm を用いた Intensity Modulated Radiation Therapy (以下、IMRT) が、国内でも行われるようになった¹⁾。

当院においては、直線加速器 CLINAC 600C (Varian 社：4MV-X 線、MLC type [Millennium80(40 対/1cm 幅)]、X 線位置決め装置 Ximatron-EX(Varian 社)、三次元治療計画装置 Cadplan Helios ver. 6. 2 7(Varian 社)を導入し、2000 年 12 月より、頭頸部領域において Dynamic-MIC を用いた IMRT の臨床応用を開始した。その経験を元に、IMRT 実施の現状と注意点について報告する。

1. 当院 IMRT のフローチャート

Fig.1 に当院での IMRT における手順と必要な時間を示す。

シェル作成後、シェル上に基準点を設定しマーカを付けて CT 撮影を行う。撮影には、Multi Detector-row CT “Aquilion” (Toshiba 社)を使用し、治療計画用には 5mm スライス厚の造影 CT、Digital Reconstructed Radiography(以下、DRR)作成用には、2mm スライス厚の単純 CT 画像を用いる。

治療計画は、10 プラン以上を作成し、線量分布ならびに Dose Volume Histogram(以下 DVH)の比較、検討から最適なものをひとつ選択する。

決定した治療計画の検証は、患者治療条件をファントム上に移して再計算したファントムプランで行う。各ビームおよび総ビームの出力線量、ならびに線量分布を実測し計算値と比較する。

詳細は後述するが、アイソセンタの設定には X 線位置決め装置と付属の CT オプションを利用する。

治療開始後の Dynamic-MLC ポジション精度を管理するため、毎回の治療前には半導体検出器を用いた各ビームの線量プロファイル測定を行い、再現性を確認する。また毎週一回はフィルムを用いて、Dynamic-MIC のポジションエラーのチェックを実施している²⁾

2. 最適化計算とその注意点

Cadplan Helios の最適化計算アルゴリズムには勾配法が採用されており Table 1 に示す輪郭入力と計算パラメータの設定が必要である。現状の最適化計算では照射門数や照射角度など各パラメータは任意に設定されるため、最適線量分布を得るには治療計画者の試行錯誤による経験的判断が必要と

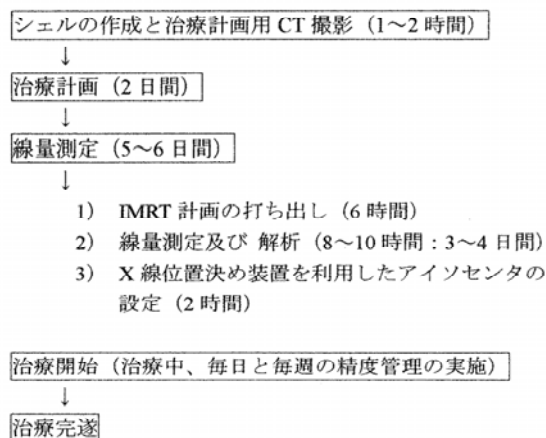


Fig.1 IMRT のフローチャート

Table 1. 最適化計算に必要なパラメータ
輪郭入力

- Clinical target volume (CTV)
- Organs at risk (OAR)
- 腫瘍周囲正常組織

計算パラメータ

- 最大反復回数
- 照射門数、照射角度
- OAR の最大線量、優先度
- CTV の最大線量、最小線量

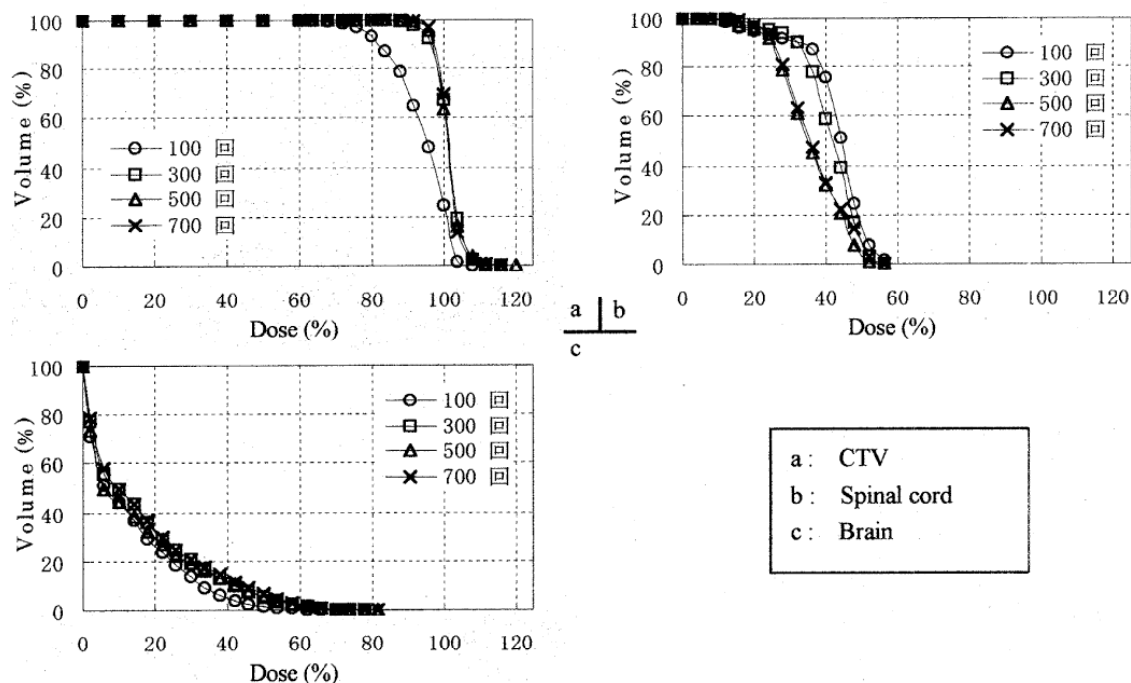


Fig.2 最大反復回数設定による DVH の変化

なる。

2-1.最大反復回数設定による DVH の変化

右上顎洞腫瘍の IMRT において、均等に分割した五門照射(Gantry 角度: 0° 、 72° 、 144° 、 216° 、 288°)を設定し、最大反復回数を 100、300、500、700 回と変化させた場合の DVH を Fig.2 に示す。

CTV の DVH(Fig.2a)では、最大反復回数が 300 回以上で有意な差はみられなかった。

脊髄の DVH(Fig.2b)では、最大反復回数が多くなると脊髄線量が低く抑えられる結果となるが、500 回と 700 回では DVH に大きな差はみられない。

脳の DVH(Fig.2c)においては、最大反復回数 300 回以上で DVH に大きな差は無く回数による有意性を認めない。したがって当院では、五門照射の最適化計算における最大反復回数の設定値は、500 回とした。

2-2. 照射門数の設定による DVH の変化

上咽頭腫瘍の IMRT において、五門照射(Gantry 角度: 0° 72° 144° 216° 288°)、七門照射(Gantry 角度: 0° 50° 100° 150° 210° 260° 310°)、九門照射(Gantry 角度: 0° 40° 80° 120° 160° 200° 240° 280° 320°)、の設定による DVH の変化を Fig.3 に示す。

照射門数が多いほど CTV 内線量の均一性が良くなる傾向を示した。九門照射において左耳下腺の線量低下を認めるが、五門照射と九門照射の比較では、その他の OAR に有意差は無く、当院では治療時間の延長による患者の負担、ならびに装置の負荷を考慮して頭頸部領域の IMRT は全症例五門照射とした。

2-3. 照射角度の設定による DVH の変化

脳腫瘍の症例で、照射角度の異なる 2 プランと DVH の比較を示す(Fig.4、5)。

CTV に対する線量に差は無いが、OAR である下垂体の DVH では、plan-1 の方が良好な結果とな

った。Inverse planning では、照射角度の設定により CTV ならびに OAR の線量分布に差が生じるため、照射角度の異なる数プランの最適化計算を行い比較、検討する必要がある。

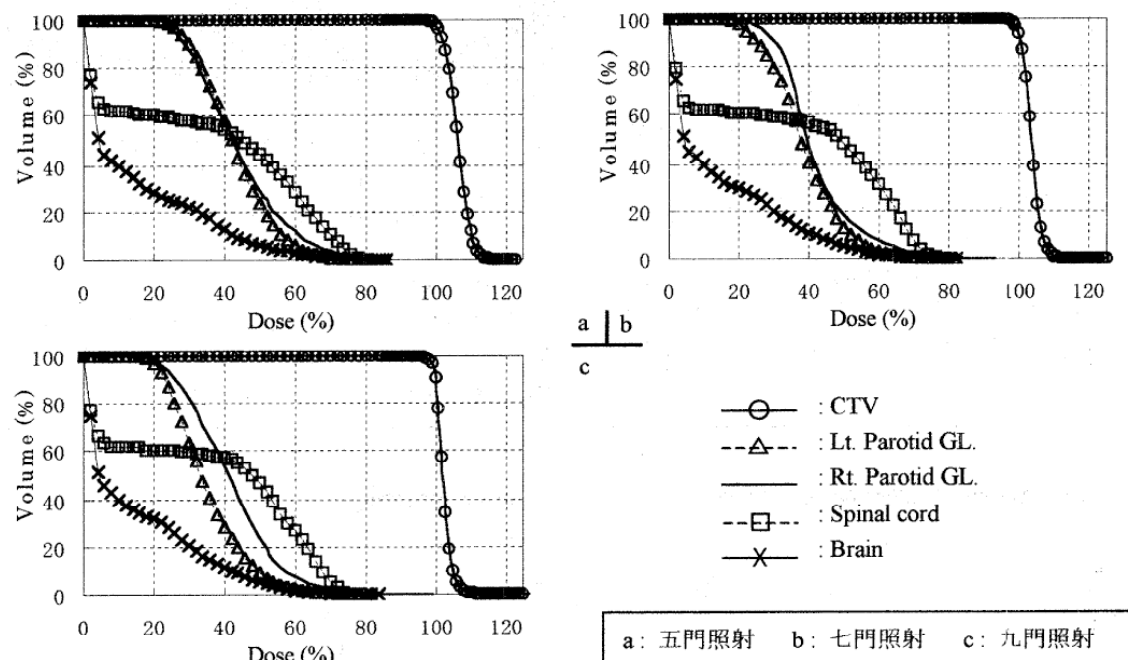


Fig.3 照射門数の設定による DVH の変化

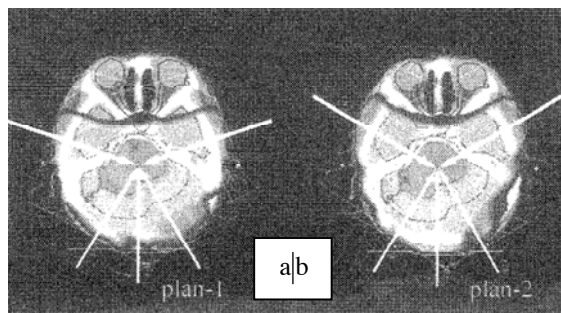


Fig.4 照射角度の異なる 5 門照射

a : plan 1 架台角度 (70° 150° 180° 210° 290°)

b : plan 2 架台角度 (60° 150° 180° 210° 300°)

2-4. OAR の設定による線量分布の変化

上咽頭腫瘍に対する五門照射(Gantry 角度 : 0° 60° 135° 225° 300°)において、OAR 設定の違いによる IMRT 線量分布の変化を Fig.6 に示す。

Fig.6a では、CTV 以外にも高線量域が存在するが、Fig.6b では、CTV への線量が集中し、口腔内に生じていた高線量域が消失している。最適化計算では、OAR の設定もまた重要な因子となることが分かる。

以上の結果より、当院 IMRT における Inverse planning の最適化計算パラメータには以下の設定を採用した。

- ・ 照射門数 : 五門照射
- ・ 照射角度 : 任意(最適なものを選択)

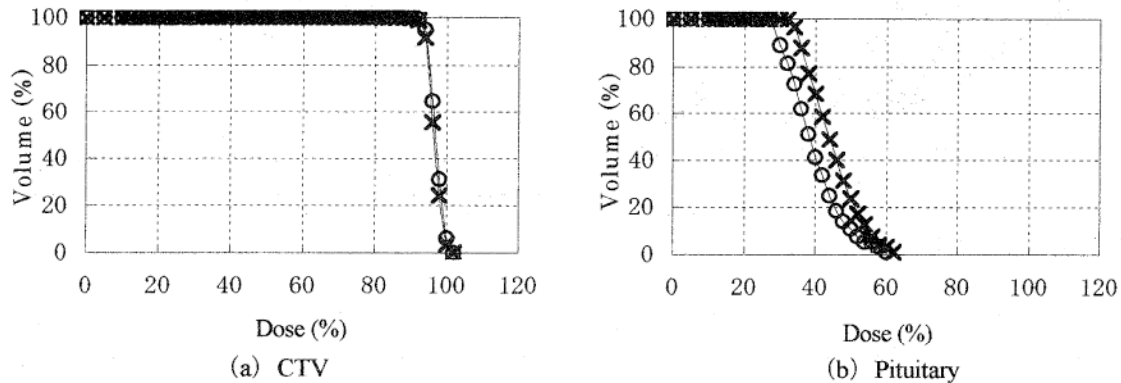


Fig.5 照射角度の設定による DVH の変化 (○plan 1、×plan2)。

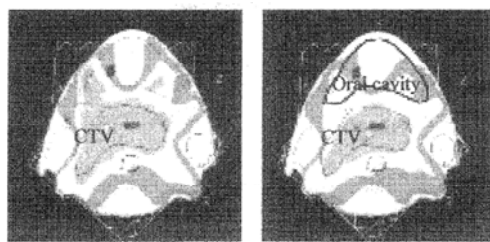


Fig.6 OAR の設定による線量分布の変化。
a : 脊髄と耳下腺を設定
b : 脊髄、耳下腺および口腔を設定

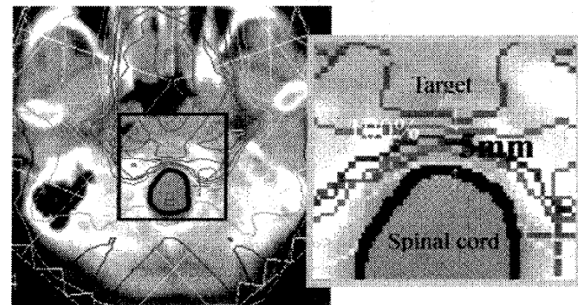


Fig.7 IMRT 線量分布

- ・ 終了許容値 : 0.1%
- ・ 散乱距離 : 1.5cm
- ・ 単位体積当たりの計算密度 : 30 points/cm³

- ・ 最大反復回数の設定値 : 500 回

3. アイソセンタの設定

頭頸部領域における IMRT の線量分布は、線量勾配が急峻で不均一なものとなる。Fig.7 に一例を示すが、脊髄近傍の線量が急激に変化していることが分かる。したがって IMRT では、わずかなアイソセンタ位置の誤差が、重篤な晩期障害を誘発する可能性があるためアイソセンタの設定には十分な注意が必要となる。

当院では、X 線位置決め装置と付属の CT オプションを利用した方法でアイソセンタを設定している。あらかじめ、リファレンス画像として作成した正側二方向の DRR を参考に透視像を確認しながらアイソセンタを設定し、正側の X 線写真を撮影する(Fig.8)。

次に、各 Beam's eye view による透視画像を保存して各々の DRR と比較する。また、治療計画で決定したアイソセンタ面での比較をするため、設定したアイソセンタ面の断層像を CT オプションにより取得し治療計画時の CT 画像との検討を行う(Fig.9)。

以上のように、アイソセンタを設定後、リニアックグラフィと照合し IMRT を開始する。

CT を利用した治療計画では、DRR が位置照合用のリファレンス画像となるため、可能な限り薄いスライス厚で取得した CT 画像による再構成処理が必要となる(Fig.10)。

当院では、治療計画用に 5mm スライス厚の造影 CT 画像を使用し、照合用には、2mm スライス厚の単純 CT 画像を用いて DRR を作成している。

4. 患者固定とその再現性

当院では、頭頸部領域 IMRT の患者固定に Thermoplastic-Shell(MED-TEC 社)を使用し、頭部から両肩・胸にかけた固定を行う(Fig.11)。

4-1. シェルで固定された患者自身の動きの検証

治療時間(約 15 分)を想定したシェル内での患者自身の動きを検証するため、正側二方向の透視画像を 3~5 分間隔で取得する。各画像上でランドマークとなる点を決定し、動きの解析を行った。Fig.12 に結果を示す。結果より、シェル内における照射部位には、呼吸や嚥下運動による周期的なきのあることが分かった。また、頸椎では X ならびに Z 方向への動きが約 2mm と、もっとも大きい部位であることが確認できた。頭頸部領域では、頸部の所属リンパ節が CTV となる場合が多く脊髄との位置関係が重要となる。したがって、当院では治療計画時にマージンとして反映させている。

4-2. 治療台天板位置の記録

現在使用している IMRT 用固定台は、治療台天板の先端部に取り付けるタイプであるため、照射設定における治療台天板位置座標は常に一定の値を示すこととなる。当院ではリアックグラフイによる初期ならびに定期的照合のほか、毎回、治療台天板位置座標(X、Y、Z 方向)の記録を行い再現性指針のひとつとしている。記録方法は、シェル上に設定された各マークと各指示点ならびに光照射野を設定後、位置座標の記録を行う。Fig.13 に 2 症例における結果を示す。症例 1 では、Y、Z 方向は 1mm 以内であるが、X 方向にばらつきを認めた。症例 2 では、Y 方向のみ 1mm 以内であり X、Z 方向において 2mm のばらつきとなった。

今後このばらつきの改善として、シェルによる固定時の工夫、ならびに頭部用枕の改良などが必要と考える。

5. まとめ

- ・勾配法を用いた Inverse planning では、照射門数、照射角度、最大反復回数、ならびに OAR の設定が、最適線量分布を得るための重要な要因となる。
- ・IMRT でのアイソセンタ設定には、細心の注意が必要であり、照合用に正側二方向の DRR を作成し X 線位置決め装置と CT オプションを併用した方法は有用である。
- ・当院使用のシェルによる固定では、シェル内で最大約 2mm の周期的な動きが確認された。固定

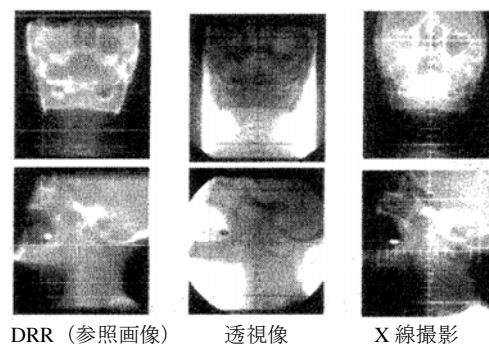


Fig.8 アイソセンタの設定

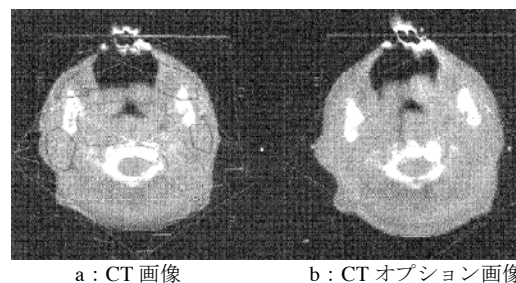


Fig.9 アイソセンタ面の比較

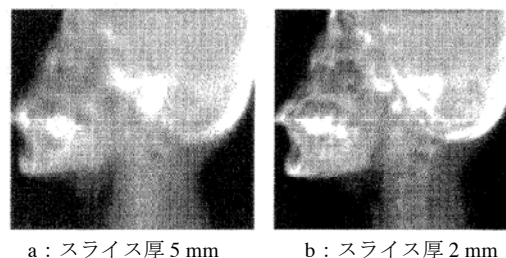


Fig.10 スライス厚の違いによる DRR の比較

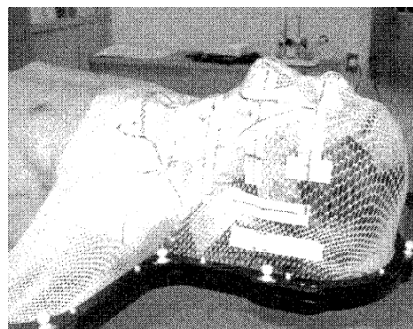


Fig.11 シェルによる固定の例

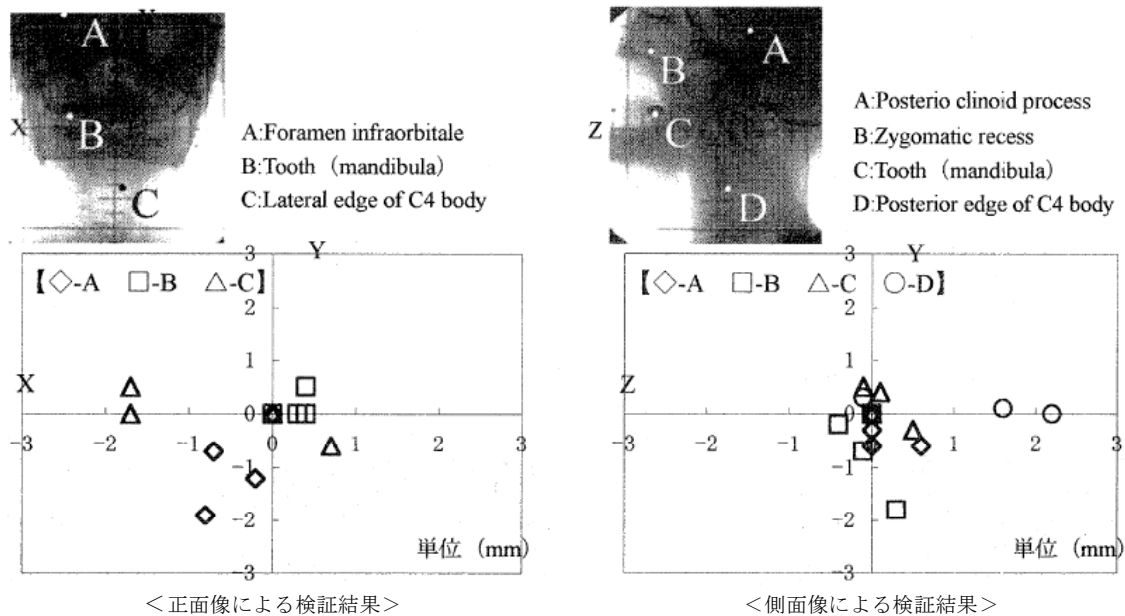


Fig.12 検証の結果

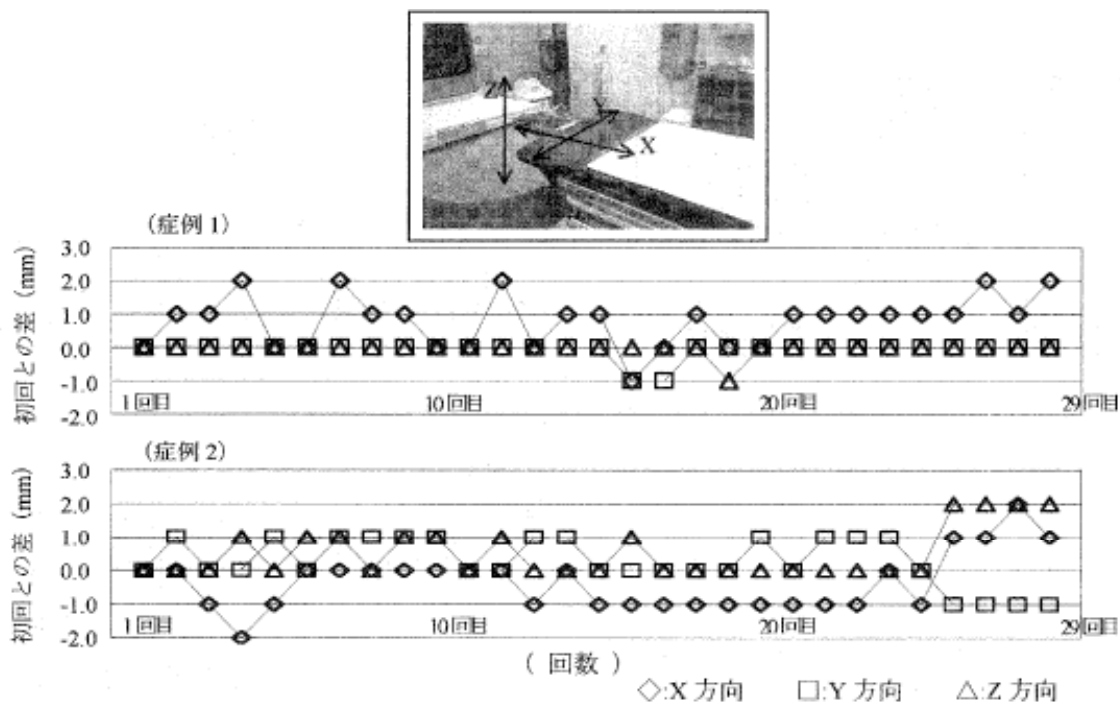


Fig.13 治療寝台天板位置の記録. 上段: Ethmoid cancer (59 歳女)、下段: Nasopharynx cancer (59 歳男)

の再現性を良くするための固定方法の工夫や、自身の動きを考慮したインターナルマージン、

改良を考えなければならない。また今後、患者ならびにセットアップマージンの確立が必要

謝辞

本研究発表の機会を与えていただいた内山幸男分科会会長に深く感謝いたします。また当医学部放射線医学教室西村恭昌教授ならびにご協力いただきました技師諸兄に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Intensity modulated radiation therapy collaborative working group, “Intensity modulated radiotherapy: Current status and issues of interest,” Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. Vol. 51, No.4, pp. 880-914, (2001).
- 2) Thomas LoSasso, Cben-Shou. Chui and C. Clifton Ling, “Comprehensive quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy with a multileaf collimator used in the dynamic mode,” Med. Phys. 28 (11), 2209-2219 (2001).