

## 臨床技術

## 前立腺用IMRT固定具を用いたセットアップ精度と至適PTVマージンに関する検討

高倉 亨・中田 学・矢野慎輔・岡田 孝・藤本隆広  
松原佳菜・溝脇尚志<sup>1)</sup>・高山賢二<sup>1)</sup>・則久佳毅<sup>1)</sup>論文受付  
2005年4月28日論文受理  
2005年9月27日

Code No. 430

京都大学医学部附属病院放射線部

1) 京都大学大学院医学研究科放射線腫瘍学画像応用治療学

## 緒言

近年、多くの施設で普及しつつある強度変調放射線治療(intensity-modulated radiation therapy: IMRT)は計画標的体積(planning target volume: PTV)とリスク臓器(organ at risk: OAR)との間に急峻な線量分布を実現することが可能である<sup>1-5)</sup>。そのため、IMRTは従来の照射法と比較して、セットアップ精度が臨床標的体積(clinical target volume: CTV)とOARへの最終投与線量に大きく影響し、治療期間を通してのセットアップ精度の維持が重要となる。さらにPTVマージンの設定においては、個々の施設の固定精度や誤差修正法を考慮した適切な値を適用しないとCTVへの過小線量、OARへの無用な線量増加の原因となり得る。

本検討では、当院の前立腺癌IMRTにおけるシステムティックセットアップエラー修正法の有効性を検討するとともに、患者固定位置の再現性と必要なセットアップマージンを評価した。

## 1. 対象

## 1-1 対象患者

2003年11月までに、前立腺癌に対し腹臥位シェル固定下で根治的にIMRTを実施した35症例を対象に検証を行った。

対象患者に使用した固定具はFig. 1に示すように、Prone Pillo, Body Shell, Vac-Lok, HipFix, 足台としてMOLDCAREを使用した。実際の照射における固定

## Evaluation of Setup Error and Adequate Setup Margins in Patients with Prostate Cancer Treated by IMRT and Fixed in the Prone Position Using a Set of Immobilization Devices

TORU TAKAKURA, MANABU NAKATA, SHINSUKE YANO, TAKASHI OKADA, TAKAHIRO FUJIMOTO, KANA MATSUBARA, TAKASHI MIZOWAKI,<sup>1)</sup> KENJI TAKAYAMA,<sup>1)</sup> and YOSHINORI NORIHISA<sup>1)</sup>Clinical Radiology Service, Kyoto University Hospital  
1) Department of Radiation Oncology and Image-applied Therapy, Kyoto University Graduate School of Medicine

Received April 28, 2005; Revision accepted Sept. 27, 2005; Code No. 430

## Summary

Purpose: Positional reproducibility in patients with prostate cancer fixed in the prone position with a set of immobilization devices for external-beam intensity-modulated radiation therapy(IMRT) was evaluated. In addition, the adequacy of our positional error reduction strategy and current planning target volume(PTV) margins was also evaluated. Results: Systematic error was corrected by the positional correction that we executed at the first stage of irradiation. The setup margin that we had calculated was 1.1 mm in the L-R direction, 1.3 mm in the A-P direction, and 2.7 mm in the C-C direction. Conclusion: We determined that the effectiveness of the method of correcting the error margin and the setup accuracy of the fixed method were well maintained.

**Key words:** IMRT, Systematic error, Random error, Setup error, Margin別刷資料請求先: 〒606-8507 京都市左京区聖護院川原町54  
京都大学医学部附属病院放射線部 高倉 亨 宛

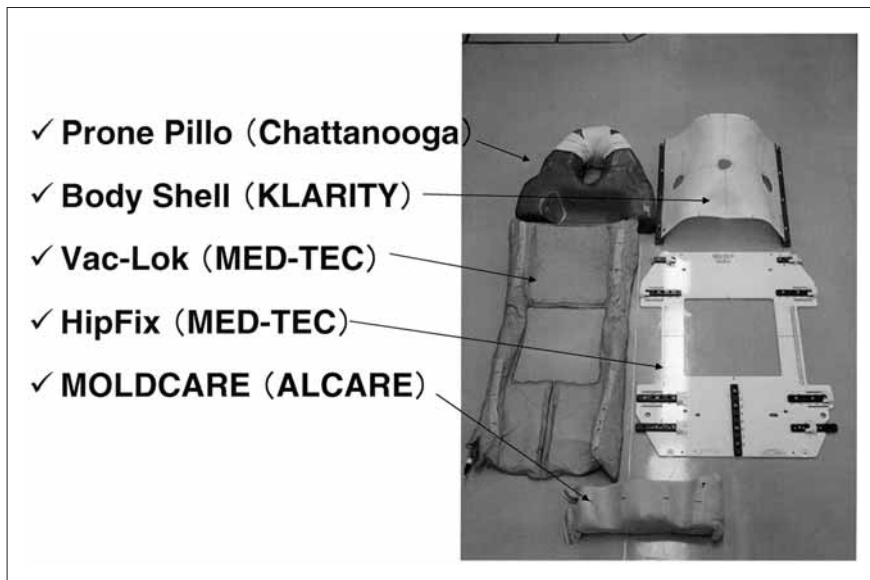


Fig. 1 Fixation device.

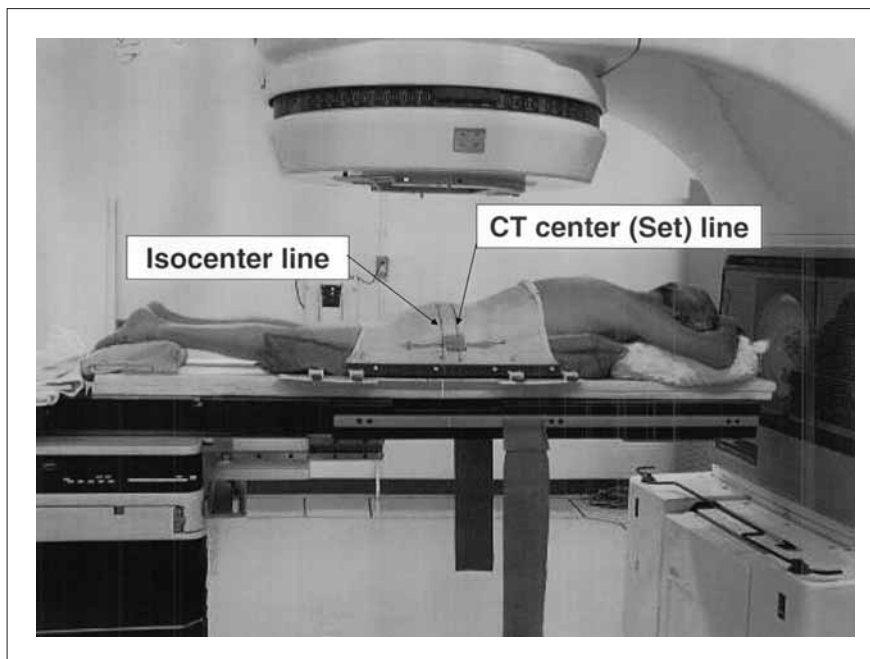


Fig. 2 General view of fixation.

具装着時の概観をFig. 2に示す。

#### 1-2 セットアップと位置照合

照射時は、体表面のセットポイントとシェル上のアイソセンタポイントの2段階によるセットアップを行った。セットポイントはProne Pilloのマークと壁付けレーザーロカライザが患者のセットマークと一致するようにし、均等な押さえ込みが確認できるように窓穴を開けたシェルを装着した。アイソセンタポイントはシェル上に記入したアイソセンタマークにより合わせた。位置照合はX, Y, Zの各座標軸(それぞれL-

R, A-P, C-C方向)について骨構造における誤差を観察者目視により行った。位置の基準はCTシミュレーション時に取得したaxial画像からアイソセンタ位置、ガントリ角度 $0^\circ$ ,  $270^\circ$ 方向,  $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ の矩形照射野によるbeam's eye view(BEV)の再構成画像(digitally reconstructed radiographs: DRR)を用い、対象は同条件のLiniac graph(LG)を用いた。このときのCT撮影プロトコルは当院の治療計画用CT撮影プロトコルであるコンベンショナルスキャンおよびスライス厚・テーブルピッチともに5mmを用いた。

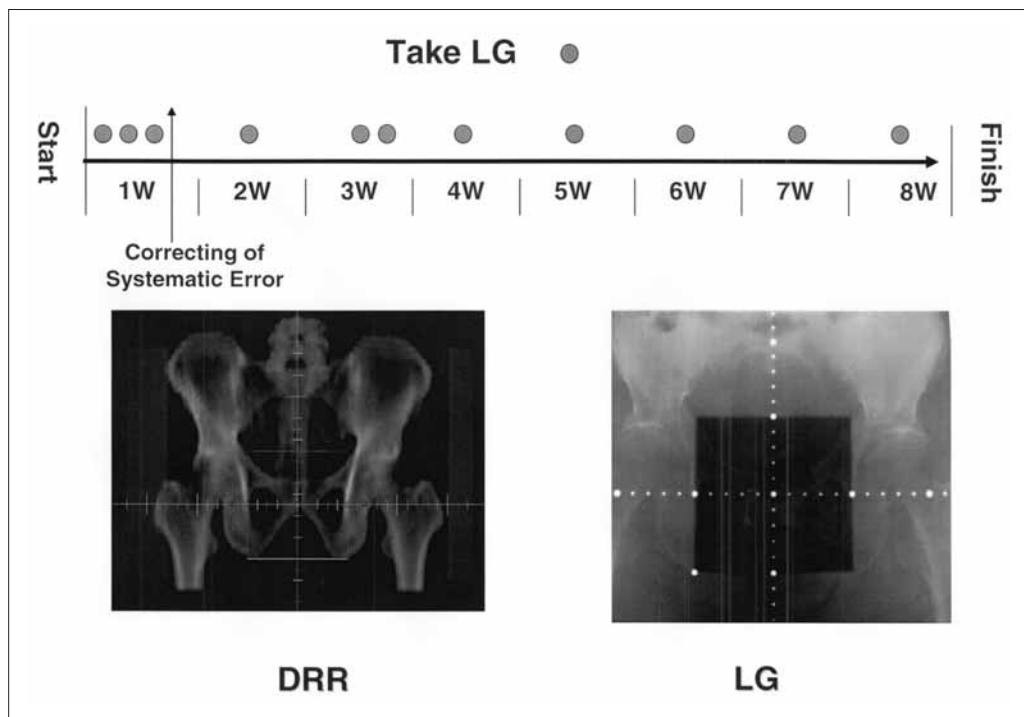


Fig. 3 Timetable of Liniac graph.

1-3 システムティックセットアップエラーの修正法

Fig. 3にLG撮影タイミングの例を示す．照射開始日から3日間もしくは4日間連続してLGを撮影し，各方向についてそれまでに検出された誤差の平均値（カレントシステムティックエラー）を計算し，シェルのアイソセンタマークを修正した．修正の概念図をFig. 4に示す．以降，このアイソセンタマークを基準に1週間に一回LGを撮影し，大きな誤差が生じていないかの確認を行った．2mmを超える誤差が生じた場合は翌照射日に再度LGを撮影し，誤差の方向・大きさからシステムティックエラーかランダムエラーかの判断を行った．前者と判断される場合はシェル上のアイソセンタマークを修正した．以上により撮影回数は各患者9回から12回前後であった．

2. 検証方法

2-1 システムティックセットアップエラー修正法の妥当性に関する検証

比較を行うための患者群のデータとして，「修正を行った実際の誤差データ」は各患者のシステムティックセットアップエラーの誤差データから平均値と1SDを算出して用いた．また，「修正を行わなかった場合の誤差データ」は上記各患者の誤差データと修正の際に記載している値から計算により戻し，無修正の誤差データとして用いた．前者はFig. 4のcorrectionで，後者はno correctionに相当する．

2-2 固定具の再現性評価

患者群において必要なセットアップマージンを算出し，再現性の評価を行った．セットアップマージンはvan Herkら<sup>6)</sup>により提案されている下記の(1)式を用いて算出した．

$$\text{Margin} = 2.5\Sigma + 0.7\delta \dots\dots\dots(1)$$

ここでΣはシステムティックエラー，δはランダムエラーである．患者群のΣは各患者におけるシステムティックエラーの1SDを用いた．一方，患者群のδは各患者におけるランダムエラーの平均値を用いた．

3. 結果

3-1 システムティックセットアップエラー修正法の検証

患者群における修正前後のシステムティックセットアップエラーの「mean±1SD」をFig. 5に示す．平均値を比較すると，L-R方向は-0.3mmから-0.1mmに，A-P方向は0.1mmで変わらず，C-C方向は0.7mmから-0.1mmという結果になった．1SDを比較すると，R-L方向は1.3mmから0.3mmに，A-P方向は1.6mmから0.3mmに，C-C方向は1.4mmから0.7mmになり，いずれの方向も誤差分布の広がりも縮小した．

対象となった患者35名についてF検定を行うと，等分散である両側確率はR-L方向でp=3.4E-13，A-P方向でp=4.0E-15，C-C方向でp=4.9E-5と非常に小さくなり，全方向について等分散ではない有意差が確認され

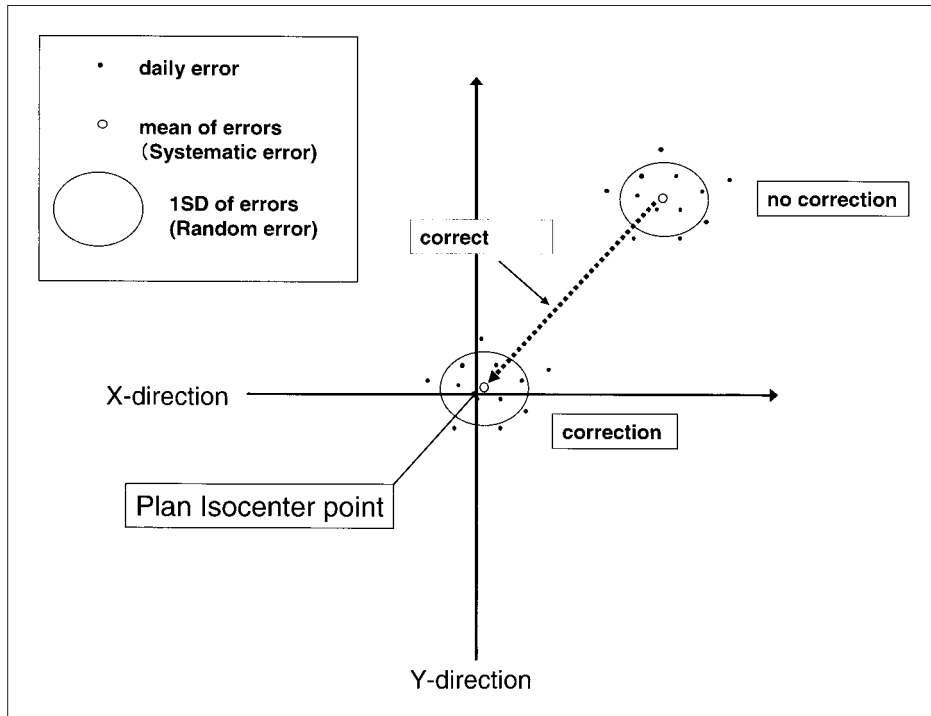


Fig.4 Concept chart for correction of systematic setup error.

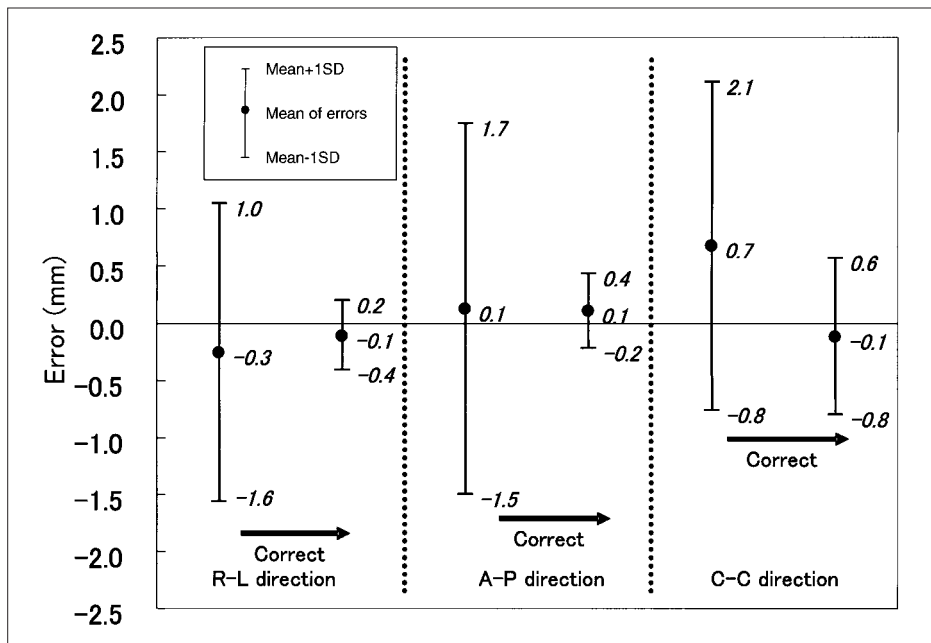


Fig. 5 Correcting systematic setup errors in the patient group.

た．同様に平均値についてはF検定の結果から非等分散における両側分布のT検定を行い，R-L方向は $p=0.527$ ，A-P方向は $p=0.948$ ，C-C方向は $p=0.006$ ，C-C方向以外は $p>0.05$ となり，有意差が認められなかった．

最も有意に誤差分布の広がりが縮小したと思われるA-P方向について，患者個々の修正の有無に関するグラフをFig. 6に示す．

### 3-2 固定具の再現性評価

各患者から算出したデータは，L-R方向で  $\sigma$  が 0.3mm， $\delta$  が 0.5mm，A-P方向で $\Sigma$ が 0.3mm， $\delta$ が 0.7mm，C-C方向で $\Sigma$ が 0.7mm， $\delta$ が1.4mmとなり，それぞれ(1)式にあてはめることによりセットアップマージンを求めた．結果をTableに示す．C-C方向では再現性がやや低く，2.7mmのセットアップマージンを要することとなった．

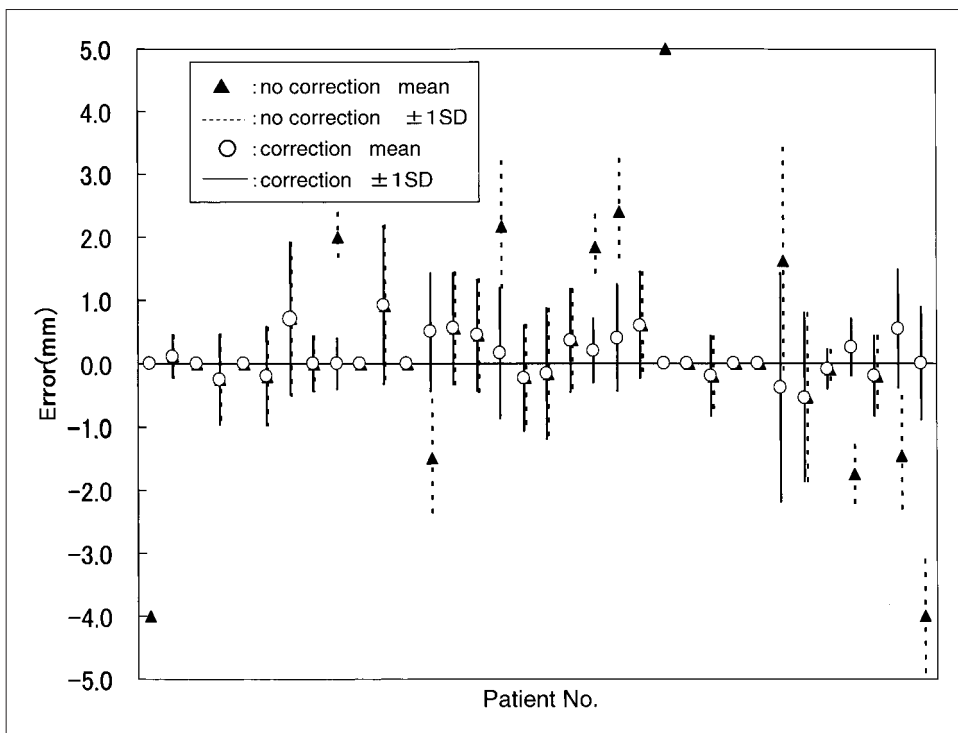


Fig. 6 Comparison with and without error correction( A-P direction )

4. 考 察

IMRTはPTVの形に沿った線量分布の計画が可能であり、治療期間を通して再現性が重要になる。さらに、セットアップエラーの数値は施設、固定具、体位、部位により異なるため、その再現性において最適なPTVマージンを使用することでIMRTの特長を最大限に活用した治療計画になる。

当院では直腸側のPTVマージンを他の方向より小さくしているため、A-P方向誤差分布の広がりが有意に縮小することは効果的である。さらに、(1)式のΣに各患者における誤差平均値の1SDを用いるため、誤差分布の広がりを抑えることは患者群のセットアップマージンの縮小にもつながるといえる。したがって、Yanらの報告<sup>7)</sup>と同様に、照射初期3~4回の平均値を用いたアイソセンタマーク位置修正によりシステムティックセットアップエラーをより小さくすることができ、当院における初期修正法は有効な手段と考えられる。

固定具の再現性評価について、今回はセットアップマージンだけの算出であったが、PTVマージンとして、さらにinter fractional motion, intra fractional motionもCTV線量に影響するため、今後はそれらの要因も検討していく必要がある。これらを個々に算出することが、その施設の治療精度を左右するものと思われる。

本検討においてマージンの算出に用いた(1)式は、

	L-R	A-P	C-C
Σ	0.3	0.3	0.7
δ	0.5	0.7	1.4
Margin	1.1	1.3	2.7

90%の症例において最小線量が計画線量の95%以上といった考え方であり、他にStroomら<sup>8)</sup>によりCTVの99%が計画線量の95%以上といった考え方の次式

$$\text{margin} = 2.0\Sigma + 0.7\delta \dots\dots\dots(2)$$

などがある。どの考え方を用いるかは各施設で十分に検討したうえで採用すべきである。

ただし、最適なマージンを用いたとしても誤差がそれを超える場合もあるため、患者個人に対して定期的な位置再現性の確認は必ず行わなければならない。

最も誤差が大きかったC-C方向の要因はいくつかのことが考えられる。第一に、腹臥位においてはシェルが筒状になり体も臀部を押さえ込むため、若干のセットアップの誤差を含んでいても固定されてしまうことである。セットの位置を安定で照射部位と関連性のあるところに設定することにより改善される可能性がある。例えば、筋肉の収縮によるマークの変化が生じやすい場所や骨盤骨から外れた場所にセットを設定する

ことは避けるべきである。第二に、基準の位置情報は5mmスライスのCT画像を用いてDRRを作成しているため、パーシャルボリューム効果による頭尾側方向の影響が挙げられる。また、このDRR画像とLGの照合は目視によるものであるため、観察者間の検出誤差も影響していると考えられる。

今回はDRRとLGの照合における不確定要因は考慮しておらず、臨床で考慮した誤差値を用いている。したがって、実際の誤差は今回の値にそれらの要因を考慮した値になると考えられる。

## 5. 結 語

当院の固定法による前立腺IMRTの位置精度は最大誤差方向において2.7mm以内であり、治療初期に行う位置修正方法により高い精度が保たれていることが確

認できた。

過去のデータからPTVマージンの数値が算出可能であり、それをフィードバックすることで各施設、体位、固定法等それぞれに応じた治療計画を行う必要がある。

## 謝 辞

本研究においてご指導、ご協力をいただいた京都大学医学部附属病院 放射線科の溝脇医師をはじめ、同院職員諸兄に御礼申し上げます。

なお、緒言の「set up errorが最終投与線量に及ぼす影響」については日本放射線腫瘍学会第16回学術大会(2003年11月21日:東京)にて発表、本論文の内容については第60回日本放射線技術学会総会学術大会(2004年4月9日:横浜市)にて発表した。

## 参考文献

- 1)根来慶春, 永田 靖, 青木徹哉, 他: リニアックによる三次元照射とIMRT. 臨床放射線, 47(2), 277-282, (2002).
- 2)永田 靖, 根来慶春, 高山賢二, 他: 前立腺がんに対するIMRT. 臨床放射線, 47(12), 1687-1692, (2002).
- 3)溝脇尚志, 平岡真寛: 強度変調放射線治療(IMRT). がん看護, 8(2), 144-147, (2003).
- 4)Zelevsky MJ, Fuks Z, Happersett L, et al.: Clinical experience with intensity modulated radiation therapy(IMRT) in prostate cancer. Radiother Oncol, 55(3), 241-249(2000)
- 5)Burman CM, Zelevsky MJ, and Leibel Steven A: Treatment Planning, Dose Delivery and Outcome Of IMRT For Localized Prostate Cancer, A Practical Guide To INTENSITY-MODULATED RADIATION THERAPY. Med Phys, Publishing, 169-190(2003)
- 6)van Herk M, Remeijer P, Rasch C, et al.: The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 47(4), 1121-1135(2000)
- 7)Yan D, Lockman D, Brabbins D, et al.: An off-line Strategy for constructing a patient-specific planning target volume in adaptive treatment process for prostate cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 48(1), 289-302(2000)
- 8)Stroom JC, and Heijmen BJ: Geometrical uncertainties, radiotherapy planning margins, and the ICRU-62 report. Radiother Oncol, 64(1), 75-83(2002)
- 9)ICRU REPORT 62 ICRU Publications, Bethesda(1999)

## 図表の説明

- Fig. 1 使用固定具 左上: プローンピロー, 右上: ボディーシェル, 左中央: バックロック, 右中央: ヒップフィックス, 下: モールドケア
- Fig. 2 固定具装着時の概観
- Fig. 3 LG撮影・アイソセンタ位置修正のタイムテーブル例
- Fig. 4 システムティックセットアップエラーの修正概念図  
この場合, 3回目に計画時アイソセンタ設定ポイントからの系統的誤差(システムティックエラー)を修正し, 3週目に2mm以上の誤差が確認されたため, 翌日再度LG撮影・照合を行った。
- Fig. 5 修正を行うことによるシステムティックセットアップエラーの収束  
各方向について修正前後の患者群における各患者のシステムティックエラーの平均値と±1SDの値
- Fig. 6 A-P方向の「修正を行わなかった場合の誤差データ」と「修正を行った実際の誤差データ」  
初期の修正によってシステムティックエラーが縮小されている。
- Table 算出されたそれぞれの方向に必要なセットアップマージン