

○増田 圭吾¹⁾、富永 正英²⁾、生島 仁史²⁾、福良 亮介¹⁾、岸 太郎³⁾、佐々木 幹治³⁾

1) 徳島大学保健学科

2) 徳島大学大学院保健科学教育部

3) 徳島大学大学院診療支援部放射線技術部門

【背景および目的】 現在、高精度放射線治療を行ううえで6軸システムが必須となりつつあるが、6軸システムの基礎データの報告は少ない。そこで、本研究では、6軸システムの基礎データを収集し、臨床使用における注意点を検討することで、高精度放射線治療を安全に施行できることを目指して行った。

【使用機器】

- Linac Novalis Tx (BrainLAB, Varian)
- 放射線治療寝台 Exact couch base (BrainLAB)
- EPID : Portal imaging (Varian)
- 画像誘導装置 ExacTrac X-ray [ExacTrac] (BrainLAB)
- 6軸対応カウチトップ imaging couch top (BrainLAB)
- Winston Lutz test ファントム (BrainLAB)
- ファントム isocenter phantom (BrainLAB)

【方法】 Winston Lutz テスト (WLT) では、Novalis Tx 付属の WLT キットを使用し、Linac および ExacTrac による中心位置精度の検証を行った。ガントリ角度4方向(0, 90, 180, 270)とテーブルアングル6方向(0, 30, 60, 270, 300, 330)を組み合わせで行った。但し、Linac および ExacTrac 双方で、ガントリと治療寝台が接触するような角度については除外して行った。ExacTrac の不確かさの検証では、ExacTrac 付属の isocenter phantom を使用し、テーブルアングル0度で位置照合を行い、初回位置照合の結果をもとに6軸で治療寝台の移動。そして、再度テーブルアングル0度で位置照合を行った結果を基準座標とした。また、テーブルアングルについては、WLT と同様の角度で証を行った。

6軸治療寝台を含む ExacTrac の不確かさの検証では、ロール方向とピッチ方向を変化させ、ExacTrac の不確かさの検証と同様の検証を行った。

【結果】 WLT の結果を Fig.1 に ExacTrac の不確かさの検証結果を Fig.2 に6軸治療寝台を含む ExacTrac の不確かさの検証結果を Fig.3 に示す。

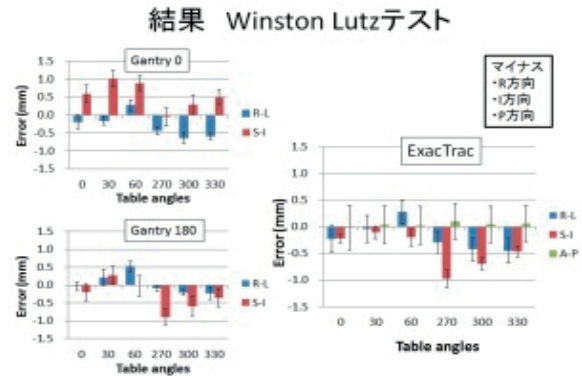


Fig.1

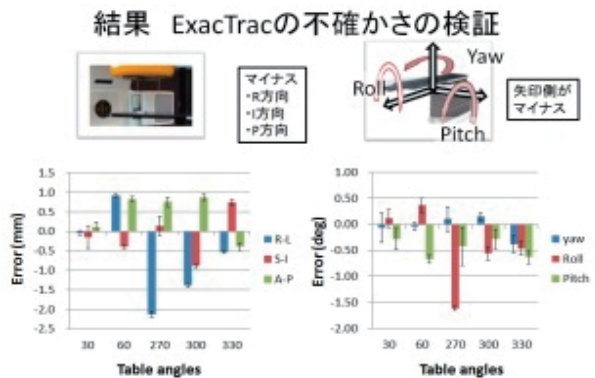


Fig.2

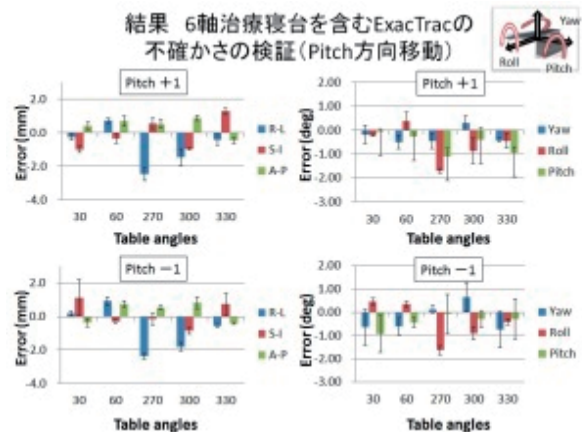


Fig.3

【結論】 6軸システムを使用したIGRTでは最大2.5mmの誤差が生じる可能性があり、臨床使用には基礎検証を行ったうえで開始する必要がある。

Roll, Pitch 角の回転誤差による影響
— 回転型強度変調放射線治療の線量分布において —

○小林 仁、鐵原 滋、西谷 仁博、石割 美香、松本 純、小野 康之、山田 聖、山根 武史、平田 吉春
鳥取大学医学部附属病院

【背景】 当院では中枢神経系の腫瘍と上顎腫瘍に対して回転型強度変調放射線治療 (Volumetric Modulated Arc Therapy: 以下、VMAT) を実施する場合、CBCT による平行移動3軸 (X 軸、Y 軸、Z 軸) と回転方向軸 Yaw 角の4軸の位置補正を行っている。Roll 角と Pitch 角は位置誤差としては表示されるが、現有システムでは補正できない。

【目的】 2010年5月～2012年5月の間に中枢神経系の腫瘍と上顎腫瘍において VMAT を施行した11症例15プラン (2ARC は1ARC ずつに分けた) をレトロスペクティブに解析し、Roll 角及び Pitch 角の回転誤差が線量分布に及ぼす影響とその許容範囲を求めること。

【方法】

1. 治療計画装置 (Pinnacle³) で計画されたプランを多列半導体検出器線量検証システム (Delta⁴) に転送し、Roll 角及び Pitch 角が0° の状態で照射する。
2. 水等価ファントムと角度計を用いて、Delta⁴ の Roll 角及び Pitch 角を ± 2.5° まで0.5° 刻みで変化させて照射する。このとき、Delta⁴ はアイソセンタを中心として回転させる。
3. Roll 角及び Pitch 角が0° の場合を対照群とし、± 2.5° まで0.5° 刻みで変化させた場合を処理群とする。
4. 対照群と処理群とで Dose Difference (DD)、Distance To Agreement (DTA)、 γ index のパス率と Dose Volume Histogram (DVH) の変化について比較検討を行う。
5. γ index において線量域を10% 刻みで分けて、どの線量域において Roll 角及び Pitch 角の影響が大きいかを調べる。

【結果及び考察】 Roll 角及び Pitch 角とも回転誤差が大きくなるにつれて、DD・DTA・ γ index のパス率は低下した。 γ index における角度ごとのパス率の変化を Fig.1 に示す。Fig.1 より Pitch 角の方が回転誤差によるパス率の低下が大きいことがわかる。これは Roll 角の誤差は回転中に相殺されているためと考える。

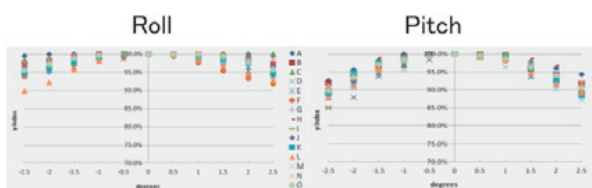


Fig. 1. Change of γ pass rate in each angle when it compared with a reference

γ index のパス率では Friedman 検定の結果、Roll 角及び Pitch 角とも回転誤差が ± 1.5° 以上で有意差を認めた。(p < 0.05) Friedman 検定の結果を Table 1 に示す。DVH で比較すると -1.0° と -1.5° ではほとんど差は見られなかった。しかし、-2.5° になると顕著に乖離が見られた。角度による DVH の相違を Fig.2 に示す。線量域ごとに見てみると、 γ index において 50% 以下の線量域のパス率が大きく低下していた。このことより、50% 以下の低線量域において回転誤差の影響がより大きいことがわかる。これらのことより、セットアップ時の Roll 角及び Pitch 角の回転誤差を ± 1.5° までに抑えれば、計画時の線量分布が許容できる範囲で再現できていると考える。しかし、今回はあくまで対象はファントムで、Roll 角及び Pitch 角それぞれの回転誤差だけの検証結果であり、実臨床のような Roll 角及び Pitch 角の両方向が複雑に組み合わせる条件下での更なる検討が必要であると考ええる。

Table 1. Result of the Friedman test(post-hoc test : Dunn's multiple comparison)

	DD		DTA		γ index	
	Roll	Pitch	Roll	Pitch	Roll	Pitch
0° vs -2.5°	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05
0° vs -2.0°	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05
0° vs -1.5°	p<0.05	p<0.05	ns	p<0.05	p<0.05	p<0.05
0° vs -1.0°	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0° vs -0.5°	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0° vs 0.5°	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0° vs 1.0°	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0° vs 1.5°	ns	p<0.05	ns	p<0.05	p<0.05	p<0.05
0° vs 2.0°	p<0.05	p<0.05	ns	p<0.05	p<0.05	p<0.05
0° vs 2.5°	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05	p<0.05

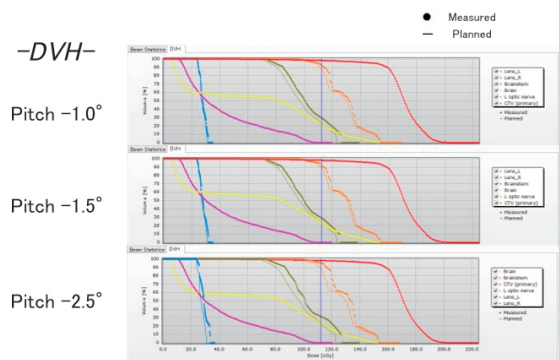


Fig. 2. Difference in DVH by the degree of pitch angle

【結語】 Roll 角及び Pitch 角の回転誤差が頭部 VMAT の線量分布に及ぼす影響について評価を行った。セットアップ時の回転誤差 ± 1.5° が当院での計画時の線量分布の再現性をみる一つの指標になると考える。

Planning target volume margins for prostate intensity-modulated radiotherapy using the real-time tumor-tracking radiotherapy system

○Takuya Uehara¹⁾, Takehiro Shiinoki²⁾, Yuki Yuasa¹⁾, Masahiro Koike¹⁾, Ryuji Kanzaki¹⁾, Shinji Kawamura¹⁾, Keiko Shibuya²⁾

1) Department of Radiological Technology, Yamaguchi University Hospital

2) Department of Therapeutic Radiology, Graduate School of Medicine, Yamaguchi University

【Introduction】 Real-time tumor-tracking radiotherapy (RTRT) system is one of the effective techniques of image guided radiotherapy (IGRT). In our institution, the RTRT system is used to set up the patients implanted three fiducial markers for intensity-modulated radiotherapy (IMRT) of prostate cancer. The purpose of this study is to evaluate planning target volume (PTV) margins for prostate IMRT with and without correction of intra-fraction motion during treatment using the RTRT system.

【Methods】 The nineteen supine patients who underwent IMRT for prostate cancer using the RTRT system were enrolled in this study. The patients were positioned based on skin markers. After that, those were repositioned in left-right (LR), anterior-posterior (AP) and superior-inferior (SI) directions after the differences between actual and planned isocenter positions were calculated and corrected using the RTRT system. Those differences were acquired before treatment delivery and during treatment course. Three set-up methods of IMRT for prostate cancer were simulated using acquired data for the following situation (1) skin-based set-up, (2) pretreatment set-up using three fiducial markers and (3) pretreatment set-up using three fiducial markers and correct intra-fraction motion for each beam. Systematic and random errors were calculated for these situations. PTV margins were calculated using Van Herk's formula and compared.

【Results】 For skin-based set-up, the required PTV margins were 5.0 mm, 13.2 mm and 9.0 mm in LR, AP and SI directions, respectively. For pretreatment set-up using three fiducial markers, the required PTV margins were 1.4 mm, 3.4 mm, and 2.5 mm in LR, AP and SI directions, respectively. For pretreatment set-up using three fiducial markers with intra-fraction motion correction for each beam, the required PTV margins were 0.6 mm, 1.5 mm, and 1.3 mm in LR, AP and SI directions, respectively. Figure 1 shows the isocenter placement errors (in mm) of three methods, along (a) : SI

and AP axes, and (b) : SI and LR axes. The outer box shows PTV margins. (1) set-up based on skin markers (2) set-up using three fiducial markers with inter-fraction motion (3) set-up using three fiducial markers and correct intra-fraction motion for each beam.

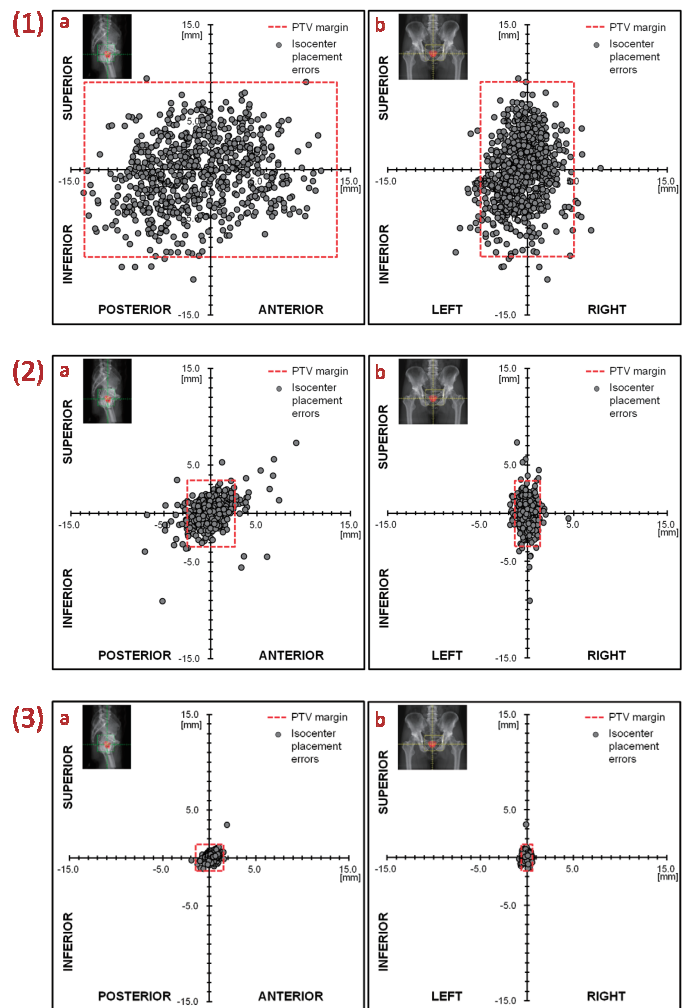


Fig.1 The isocenter placement errors of three methods

【Conclusion】 Our research has shown that correction of intra-fraction motion of prostate in each beam using the RTRT system and PTV margins were reduced, suggesting that further investigation may be required to apply the PTV margins in clinical setting.

○福良 亮介¹⁾、富永 正英²⁾、生島 仁史²⁾、増田 圭吾¹⁾、岸 太郎³⁾、佐々木 幹治³⁾

- 1) 徳島大学保健学科
- 2) 徳島大学大学院保健科学教育部
- 3) 徳島大学大学院診療支援部放射線技術部門

【背景および目的】 前立腺に対する IMRT 及び VMAT については、3D-CRT と比較した場合に臨床成績の優位性を示す報告が多い。

しかし、現在、IMRT・VMAT の治療計画手法は、過去の報告を参考にして、施設独自の方法によって線量制約を決定し、施行されているのが一般的である。

そこで、本研究では過去に徳島大学病院で治療計画を行った症例を対象とし、それらの計画をレトロスペクティブに評価を行うことで計画指標を導き出すことを目的とした。

【使用機器】

- Linac Novalis Tx (BrainLAB、Varian)
- 治療計画装置 Eclipse version 8.9.17 (Varian)

【対象および方法】 対象患者は、徳島大学病院で過去に前立腺に対して IMRT および VMAT 計画を行った 53 名とした。76Gy 処方による IMRT を行った症例が 16 名、78Gy 処方による IMRT を行った症例が 20 名。VMAT は全て 78Gy 処方で 17 名。線量制約を Fig.1 に示す。

方法：治療計画（線量制約）

ターゲット	D95	V100
PTV-Rectum	76 or 78Gy	
CTV		99.5% ≤

リスク臓器	V40	V60	V65	V70	V75
直腸体積	<50%	<25%		<15%	<5%
直腸壁	<65%	<35%		<25%	
膀胱体積	<50%		<25%		
膀胱壁	<65%			<35%	

15X
IMRT 7門 ガントリ角度 (0, 55, 105, 155, 205, 255, 305)
VMAT 2arc(181~179, 179~181,)

Fig.1

評価方法は、PTV 体積および直腸体積を集計し、PTV および直腸の DVH 形状の違いを評価した。前立腺 IMRT 計画を行う際には、CTV から PTV マージンを付加させた場合には必ず直腸と重なりあう体積である overlap 領域が発生する。本研究では overlap 領域と直腸との比 (O/R 比) において PTV の最低線量との相関関係を評価した。

【結果】 直腸体積の違いによる PTV の DVH 形状の結果を Fig.2 に PTV 体積の違いによる直腸の DVH 形状の結果を Fig.3 に O/R 比と PTV の最低線量との相関関係を Fig.4 に示す。

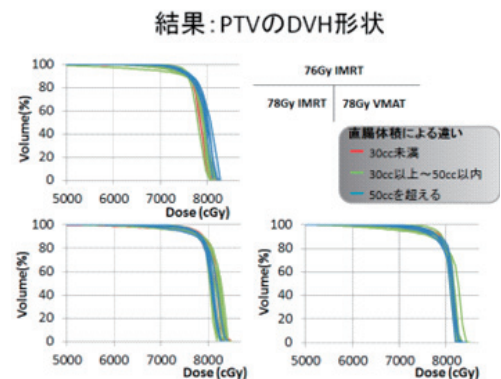


Fig.2

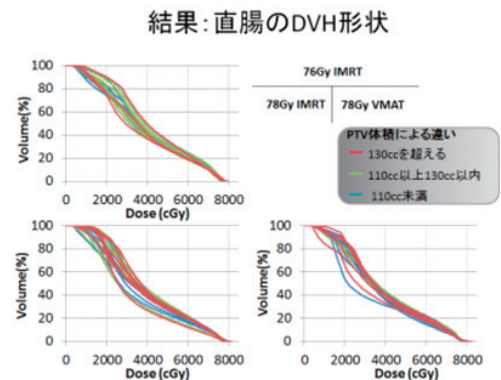


Fig.3

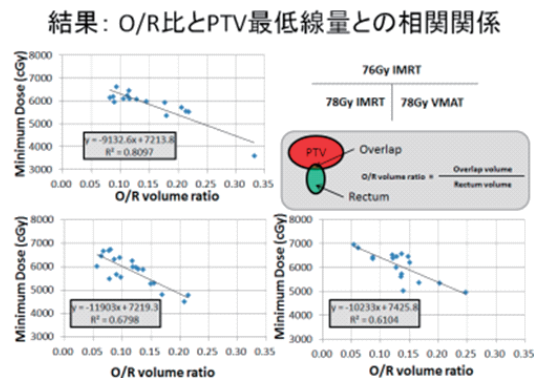


Fig.4

【結論】 前立腺 IMRT および VMAT の計画指標として O/R 比を用いることができると示唆された。

前立腺 IMRT における位置確認用金属マーカーからの散乱線が及ぼす影響についての基礎的検討

○長谷 和樹¹⁾、川島 歩¹⁾、松本 未希¹⁾、角場 幸記²⁾、長瀬 尚巳²⁾、谷 忠司²⁾、樋口 真樹子²⁾、柳元 真一²⁾

1) 川崎医療短期大学 放射線技術科

2) 川崎医科大学附属病院 中央放射線部

【背景および目的】前立腺の IMRT では金属マーカーによる位置照合で高精度な治療を行っているが、放射線治療計画装置 (RTPS) による線量計算では金属などの高原子番号・高密度物質の存在下では線量が正しく計算されないことが報告されている¹⁾。今回我々は、線量計を用いた実測、RTPS での線量計算、ガフフィルムを用いた解析の3つの測定方法を用いて金属マーカーからの散乱線が臨床に影響を及ぼすか否かを比較検討した。

【使用機器・実験方法】リニアックは SIMENS PRIMUS-MD2 で 10MV X 線 (300MU/min) を使用した。線量計 N30013 型 -0.6ml (PTW)、電位計 RAMTEC 1000plus (東洋メディック)、RTPS は XioVer.4.70 (ELEKTA)、ガフフィルムは EBT2 (ISP) を用いて DD-System Ver.9.0 (R-Tech) から解析し以下の実験を行った。

1. 1 門照射での各測定方法で得た線量からの検討

- ① 測定は Mix-DP ファントム 5cm 深 (SSD 95cm) で、線量計および EBT2 をセットして、金属マーカー (Ag-Au: Φ 0.28 × 5mm) をビーム入射側に +0.35, +1, +2cm, 出射側に -0.35, -1, -2cm に1個ずつ配置して、MU 値を 2, 4, 6, 8, 10, 30, 50, 100, 250 と変化させた時の線量計、EBT2、Xio での各々で得られた線量を比較する。
- ② 線量計の実測値に対する EBT2 と Xio で得られた計算値の誤差率を求める (いずれもマーカー有り)。
- ③ 金属マーカー無しの各々の測定方法で得られた線量に対する金属マーカー有り得た線量の誤差率を算出する。

2. 臨床例を用いた多門照射からの検討

検証用 ImRT ファントム (SCANDITRONIX WELL-HOFER) のアイソセンターから 1cm の距離で互いに重ならない X, Y, Z 方向 3か所に金属マーカーを配置し、当院で前立腺 IMRT を施行した 7 症例の治療計画から、金属マーカー無しでの各線量に対して、金属マーカーを配置した場合の各々で得られた線量の誤差率を求めた。

【結果と考察】1. ①に関する検討では、線量計を用いた場合に 100MU, 250MU の -0.35cm, +0.35cm の位置にマーカーを挿入した場合の測定値にのみ若干の増減を認めた (Fig.1)。1. ②の結果は低 MU 値における誤差率が +5% を上回る結果となった。1. ③での誤差率は全ての測定法で ±5% 以内だった (Fig.2)。3つの測定法の中でも Xio では誤差がほとんど見られなかったのは、Xio が後方、前方、側方散乱による線量の増加、線量の減少を正しく計算できていないため

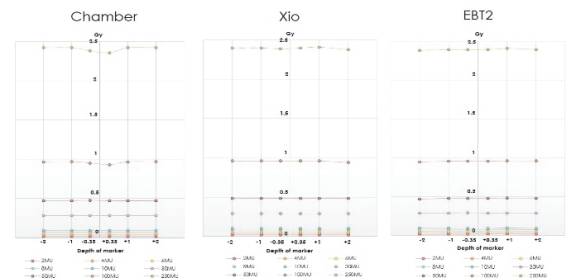


Fig.1 金属マーカー挿入時の各測定法による吸収線量の変化

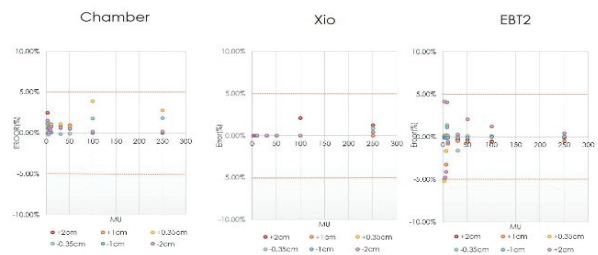


Fig.2 1 門照射での金属マーカー無しに対する線量誤差率

と考えられる。また、EBT2 を用いた測定で低 MU 値での誤差にばらつきが見られたのは、測定が 1 回のみ

のため、ガフフィルム特有の感度斑が原因と考えられる。多門照射を行った臨床例での金属マーカー無しに対する誤差率を Table.1 に示す。IMRT のガイドラインでは RTPS と実測の誤差率が ±3% 以内の精度で行われる必要がある。今回の結果では、金属マーカーを装着した全ての臨床例による照射を行った。

結果でも許容範囲内であった。

【結論】今回の研究では、各測定法でバラつきはあるが、金属マーカーによる人体への影響はない結果が示された。しかし今後、モンテカルロ等の計算による比較を行いさらなる追加検討が必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) 羽原幸作, 他: 外部放射線治療における腫瘍位置確認用金属マーカーからの散乱線による人体への影響の検討: 日本放射線技術学会雑誌 67 (9), 1164-1173, 2011

Table.1 臨床例での金属マーカー無しに対する線量誤差率

Case	vs 実測	vs Xio	vs EBT2
1	0.15	0.48	2.20
2	1.22	0.52	2.74
3	1.13	0.53	0.21
4	0.12	0.49	0.00
5	0.35	-0.51	-0.90
6	-2.41	-1.09	1.99
7	-2.86	-0.93	-1.21
Average (SD) %	-0.33(0.02)	-0.07(0.01)	0.72(0.02)
CV %	5.02	9.92	2.20

○片山 博貴¹⁾、大久保 正臣¹⁾、續木 将人¹⁾、高橋 洋輔¹⁾、加藤 耕二¹⁾、高橋 重雄²⁾、戸上 太郎²⁾、柴田 徹²⁾

1) 香川大学医学部附属病院 放射線部

2) 香川大学医学部附属病院 放射線治療科

【背景】 照射位置精度に影響を及ぼす因子としては Setup Error と臓器の internal motion が考えられる。Setup Error は適切な固定具の選択および使用により低減が可能であり、また前立腺は膀胱・直腸の状態によって移動するため前処置を行う必要がある。当院では金マーカー留置下前立腺治療を対象とし、固定具および前処置の変更を行ってきた。

【目的】 金マーカー留置下前立腺治療時の固定具および前処置の変更によって照射精度の改善を行う。

【方法】 当院で治療を行った以下の3種類の固定具と前処置の組み合わせを対象とした。

A) 体幹部定位用天板 + ECR バキュームクッション (LEIBINGER) / 排尿後 / 27人 / 205回

B) Vac-Lok + Kneefix (CIVCO) / 排尿後 / 20人 / 205回

C) 自作かかと台 / 蓄尿1時間 / 18人 / 205回

それぞれ治療直前に撮影した正側二方向の LG と DRR を骨構造と比較し、X (L-R)、Y (A-P)、Z (S-I) 方向の setup error、setup margin (stroom らの式より算出) を求めた。また、LG と DRR を骨構造と金マーカーの重心位置で比較し、骨修正量と金マーカー修正量から前立腺のみの位置誤差 (internal error) を算出し、internal error の平均値、標準偏差を求め比較した。
※自作かかと台は左右のかかとの位置を固定するためのスタイロフォームを加工して作成。

【結果】

① Inter-fraction Setup error

結果を図1に示す。すべての固定具および方向で平均値は1mm以内となっていた。X、Z方向のばらつきは固定具の変更によって小さくなっていた。Y方向は固定具Bでばらつきが大きくなっていた。X、Y、Z方向の Setup margin (mm) は固定具 A (6.6、3.7、5.6)、固定具 B (4.7、6.7、4.6)、固定具 C (3.3、3.4、3.5) となった。

② Inter-fraction prostate motion (internal error)

結果を図2に示す。前立腺の変動が大きいのはY、Z方向で排尿直後から蓄尿1時間とすると各方向でSDの低減がみられた。特にY方向においてばらつきが小さくなっていた。

【考察】

① Inter-fraction Setup error

結果より Setup error の平均値はすべて1mm以内で

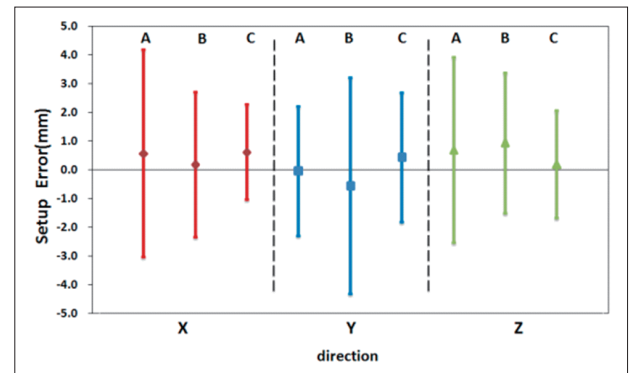


図1 固定具による Setup error (Mean ± SD)

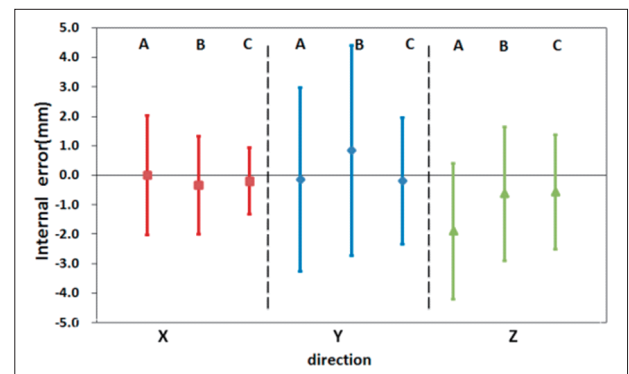


図2 前処置による前立腺の Internal error (Mean ± SD)

固定具によるかたよりはなかった。

固定具 A は LR、SI 方向のばらつきが大きくローテーション、ピッチングの影響が大きいと考えられる。固定具 B に変更し、体に線を書くことで LR、SI 方向の改善は見られたが、膝台位置の再現性や膝の開きに対して固定ができないため骨盤が安定せず AP 方向のばらつきが大きくなったと考える。かかと台の使用により足の開き、膝の高さを一定に保つことが可能となりマージンの縮小につながった。

② Inter-fraction prostate motion

排尿直後の場合、患者毎の平均位置のばらつきが大きく、蓄尿1時間とした方が特に AP 方向の前立腺位置のばらつきの低減が見られた。治療期間中の管理が前立腺の位置再現性において重要である。今回の検討ではフィルムによる二方向での照合のため、体の回転に対して骨と金マーカーの関係を正確に評価できていない。

【結論】 自作かかと台を使用し、前処置は蓄尿1時間としたことで照射精度が改善した。