14-062 ExacTrac System による前立腺内金マーカー変動の評価

○中島 里美[1)]、船越 猛[1)]、菅原 庸介[1)]、日山 篤人[2)]
1）セントヒル病院 放射線部、2）放射線科

【目的】当院では前立腺癌に対する放射線治療時に前立腺内にインプラントマーカー（Φ2㎜金球マーカー3ヵ所）を留置し、位置決めに利用している。インプラントマーカーを利用したセットアップは組織内でマーカーの変動がないことが前提となるが、実際にIGRTを行う際にマーカーの変動があるように見える症例が認められた。そこでExacTrac Systemを用い、毎日の治療日において金マーカー座標を測定し、変動の有無を評価した。

【方法】5名（患者A～E）の前立腺治療患者に対して、治療計画用CTと各回のExacTracの結果を用いて前立腺内の3点金マーカーの座標を求め、マーカー間の距離・角度を測定した。

【結果】各マーカー間の距離については患者A・Bでは、全体的に約2～4㎜の変動となった。頭尾方向においては経過とともに距離が若干縮小傾向にあるように見えた。患者Cでは全体的にばらつきが大きく、全体的に約3～4㎜の変動となった。患者D・Eは、全体的に約1.5～2㎜の小さな変動であった。

患者Cの変動が他の患者と比べ著しくばらついていたため、3点マーカーからなる平面の角度のズレを求めた。図1からわかるように、どの患者も日々約5°程度の変位はあることがわかる。患者Cの角度の変位は大きく、前半は5～15°、後半は15～35°と最大で35°を超える日もあった。患者CはExacTracの画像にてほぼ毎日腸内ガスが見られていた。

3点マーカーを用いたセットアップでは、角度補正を行わずにアイソセンターのセットアップを行うと、マーカーの座標は計画時とは異なる。下図は患者C・Dのアイソセンターを中心にした時の各マーカーの座標を矢状断・冠状断・水平断方向から見たものである。

表1　各金マーカー間距離の比較

	［㎜］	CT	ExacTrac				
			平均値	最大値	最小値	差	標準偏差
A	L12	21.6	22.3	23.3	21.5	1.8	0.51
	L23	13.1	13.3	13.6	12.8	0.8	0.16
	L31	15.5	14.7	17.5	13.3	4.2	1.03
B	L12	30.7	30.3	31.2	29.3	1.9	0.58
	L23	34.9	35.7	36.6	35.1	1.5	0.38
	L31	18.2	16.5	17.9	15.2	2.7	0.80
C	L12	17.3	16.4	17.6	15.2	2.4	0.47
	L23	28.6	27.3	28.7	25.9	2.8	0.59
	L31	20.9	21.0	23.0	19.3	3.7	0.77
D	L12	30.1	30.8	31.7	30.2	1.5	0.36
	L23	43.3	43.9	44.7	42.6	2.0	0.45
	L31	26.1	25.8	26.6	24.8	1.7	0.42
E	L12	14.2	13.9	14.7	13.3	1.3	0.32
	L23	29.4	29.6	30.4	28.7	1.6	0.43
	L31	18.4	18.9	19.4	18.4	1.0	0.23

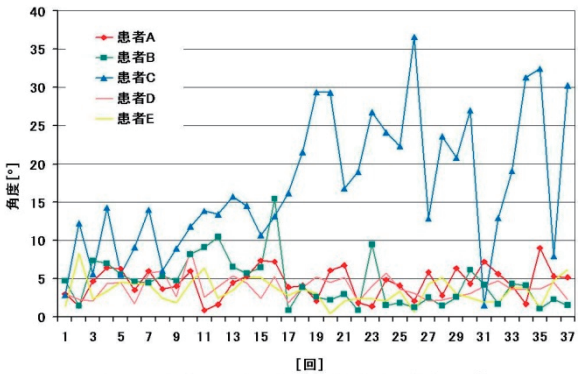
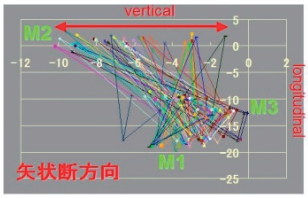
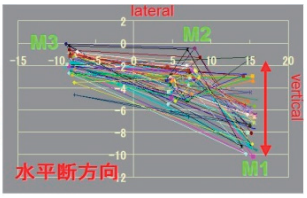


図1　3点金マーカーからなる平面の角度のズレ





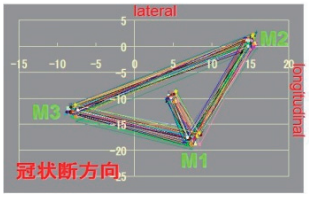
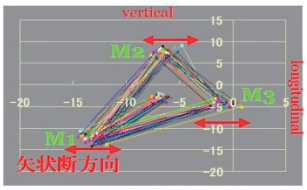
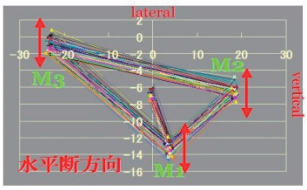


図2
アイソセンターセットアップ時の
金マーカー座標（患者C）





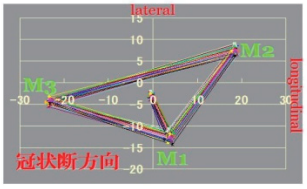


図3
アイソセンターセットアップ時の
金マーカー座標（患者D）

ばらつきが大きかった患者Cは、腸内ガスの影響を受け、腹背方向での変位が著しく、最大で8.9㎜の誤差が見られた。変動が小さかった患者Dでも腹背方向、頭尾方向では3㎜以上の誤差が多く見られた。

【考察】治療期間中に前立腺の大きさが変わらないケースと若干縮小するケースが見られた。前立腺のような実質臓器であっても、周囲臓器からの圧排により変形が認められた。角度補正を行わずに、アイソセンターを合わせた場合、各マーカーの位置は計画時とは異なる。特に腹背方向にはズレが大きい。背側方向にはマージンを狭くしている施設も多いと思われるため、今後の課題として検討が必要と思われる。

14-063 前立腺外部放射線治療における固定具精度に関する検討

○佐々木 翼[1)]、笈田 将皇[2)]、山田 正雄[3)]、甲斐 功一[3)]、小川 邦夫[3)]、松田 和久[3)]
1）岡山大学医学部保健学科、2）岡山大学大学院保健学研究科、
3）島根県立中央病院医療技術局放射線技術科

【背景】放射線治療の臨床現場では、患者固定具利用において種類の違いにより患者体位の再現性（セットアップ精度）に違いが生じることが知られている。

【目的】本研究では、前立腺外部放射線治療患者において、患者固定具の使用パターンを変えた時のセットアップ精度について検討を行うことを目的とする。

【方法】前立腺外部放射線治療（66Gy/33fr ～74Gy/37fr）を行った患者計38症例において、Vac Lock のみの場合（17症例、598データ；以下、単体群とする）と、Vac Lock および体幹部固定具（Hip Fix）を併用した場合（21症例、743データ；以下、併用群とする）の2群に分け、これら両群について、オンボードイメージング装置搭載リニアック（Trilogy、Varian 社製）を用いた3D-3D マッチング法により腫瘍中心で位置照合を行い、皮膚・固定具マークの Setup Error を解析[1)]した。

【結果】単体群、併用群でそれぞれ求めた Systematic Error（Σ）、Random Error（σ）の結果を**表1**に示す。Σについては、左右、前後、頭尾方向について単体群ではそれぞれ、1.9 ㎜, 1.7 ㎜, 1.6 ㎜、併用群ではそれぞれ1.0 ㎜, 1.5 ㎜, 2.4 ㎜となり、頭尾方向を除き、左右方向、前後方向で単体群より併用群の方が小さな値となった。σについては左右、前後、頭尾方向について単体群ではそれぞれ、2.4 ㎜, 4.4 ㎜, 5.0 ㎜、併用群ではそれぞれ1.3 ㎜, 2.3 ㎜, 4.9 ㎜となり、いずれの方向も単体群より併用群の方が小さな値となった。

表1　Setup Error の文献値と比較

		左右 ［㎜］	前後 ［㎜］	頭尾 ［㎜］	3D ［㎜］
Σ	単体群	1.9	1.7	1.6	3.1
	併用群	1.0	1.5	2.4	3.0
	文献値[3)]	1.7	2.7	1.9	2.9
σ	単体群	2.4	4.4	5.0	7.1
	併用群	1.3	2.3	4.9	5.6
	文献値[3)]	1.9	3.2	2.1	4.3

また、van Herk らの計算式[2)]を利用して最適 PTV Margin を求めた結果を**表2**示す。これより、左右、前後、頭尾方向について単体群ではそれぞれ、6.5 ㎜, 7.4 ㎜, 7.6 ㎜、併用群ではそれぞれ3.3 ㎜, 5.3 ㎜, 9.3 ㎜となり、頭尾方向を除き、左右方向、前後方向で単体群より併用群の方が小さな値となった。Setup Error の標準偏差（SD）について、は左右、前後、頭尾方向について単体群ではそれぞれ、3.7 ㎜、2.0 ㎜、4.3 ㎜となり、併用群ではそれぞれ、2.3 ㎜、1.3 ㎜、4.8 ㎜となった。

表2　最適 PTV Margin の比較

	左右 ［㎜］	前後 ［㎜］	頭尾 ［㎜］	3D ［㎜］
単体群	6.5	7.4	7.6	12.7
併用群	3.3	5.3	9.3	11.4

【考察】Hip Fix と Vac Lock を併用した場合、Vac Lock のみの使用に比べて、頭尾方向の初期セットアップエラーが大きくなった。この原因として、固定具を付ける際に規定位置の認識が難しいため、位置再現性が悪くなることが考えられた。また、体位に関わらず IGRT を使用しない施設では、Vac Lock のみの使用でも複数回の位置照合でΣを減らすことにより、Hip Fix の併用と同等のセットアップ精度が得られることが示唆された。しかし、Hip Fix は照射中の体動を抑える効果が期待され、総合的な精度の向上に寄与し、有用であることが示唆された。

【結語】前立腺外部放射線治療においては、VacLock と HipFix 併用群は、VacLock 単体群に比べて、頭尾方向でΣが大きくなり、IGRT を使用していない施設では注意が必要であると考えられましたが、σは同等以下に抑えられるため、全体の PTV マージン軽減に有効であることが示唆されました。

【参考文献】

1） Peter R et al.『3-D PORTAL IMAGE ANALYSIS IN CLINICAL PRACTICE: AN EVALUATION OF 2-D AND 3-D ANALYSIS TECHNIQUES AS APPLIED TO 30 PROSTATE CANCER PATIENTS』Int J Radiat Oncol Biol Phys 46, 1281-1290, 2000
2） M van Herk et al.『INCLUSION OF GEOMETRIC UNCERTAINTIES IN TREATMENT PLAN EVALUATION』Int J Radiat Oncol Biol Phys 52, 1407-1422, 2002
3） E K Osei et al.『Evaluation of daily online set-up errors and organ displacement uncertainty during conformal radiation treatment of the prostate』BJR, 82, 49-61, 2009

14-064 kV イメージガイドシステムを用いた適切な Set up margin の算出に関する検討

○三浦 勇人[1)]、青山 英樹[1)]、大塚 裕太[1)]、井俣 真一郎[1)]、杉原 誠治[1)]、藤井 俊輔[1)]、笈田 将皇[2)]、宇野 弘文[1)]、田原 誠司[1)]、稲村 圭司[1)]
1）岡山大学病院 医療技術部放射線部門、2）岡山大学大学院 保健学研究科

【背景および目的】Set up margin（以下、SM）は、各施設で蓄積された位置修正データの解析処理によって算出することが可能である。また、最適な照合回数および患者数の算出は、各施設において検討を行わなければならない重要な課題とされている。そこで、本報告は、2組の X 線管球とフラットパネルおよび赤外線を備えた kV イメージガイドシステム（ExacTrac System、BrainLab 社製）による患者位置照合データを用いて、必要最小限な照合回数および患者数の算出を試みたものである。

【方法】対象症例は、画像誘導放射線治療を実施した症例（頭部：25、頸部：25、胸部：59、腹部：32、骨盤：74）である。本検討における SM は Van Herk の 2.5 Σ + 0.7 σ から算出した。評価方向は左右、頭尾、腹背方向である。ここで、最大限収得されたサンプル数から算出した SM を本検討における真値として取り扱うことと定義した。最大限取得されたサンプル数から算出した治療部位別の SM は、頭部の腹背方向で最大 2.16 ㎜であった。一方、頸部、胸部では 頭足方向でそれぞれ最大3.43、6.84 ㎜であった。腹部、骨盤においては腹背方向の SM が最大でそれぞれ4.63、3.41 ㎜であった。次に、最大限取得されたサンプル数から患者数と照合回数を任意に設定し、シミュレーションを行った。シミュレーションの詳細は、患者数を5、10、15、20、25 人、照合回数を5、10、15、20、25回と変化させ、それぞれの組み合わせによる SM を算出した。また、シミュレーションを行う上で真値に対する許容値の設定を行った。許容値は、ExacTrac system のフラットパネルの識別可能限界を考慮し、最少を0.5 ㎜、また寝台の精度を考慮し、1.0 ㎜、2.0 ㎜の設定も行った。

【結果】Table.1 は、SM に収束するための条件（患者数、照合回数）の許容値0.5 ㎜の場合である。

同様に、Table.2 は許容値1.0 ㎜、Table.3 は許容値2.0 ㎜の場合を示す。胸部や腹部では、他部位に比べ患者数、照合回数ともに大きくなった。また、許容値が大きくなると、患者数、照合回数ともに小さくなった。

【考察】SM に関する先行研究は、骨盤部に関するものが多く報告されている。本研究では、骨盤部以外に頭部、頸部、胸部、腹部における SM に関しての検討を試みた。胸部における SM が他の部位と比較して大きくなった原因であるが、ExacTrac System における自動照合の限界があげられる。本システムの画像間の照合は、線形による画像位置合わせに機能が限定されている。したがって、解剖学的な情報量が複雑に存在する胸部領域での位置照合精度は、他部位に比べて低下することが考えられる。また、SM の算出における許容値の設定は、各施設で使用する位置照合装置の特性や画質に見合った分解能を考慮することで、スループットの向上や SM を効率よく調整することが可能である。

【結語】SM の算出は、最大限に蓄積された照合データの解析からシミュレーションをすることにより可能であった。また、許容値を設定することで、患者数と照合回数が顕著に変化することが明確となった。

Table.1 シミュレーション（許容値0.5 ㎜）

	Lateral	Long	Vertical
頭部	5 人 20 回	5 人 10 回	15 人 10 回
頸部	5 人 10 回	25 人 5 回	25 人 15 回
胸部	25 人 25 回	20 人 25 回	25 人 25 回
腹部	10 人 10 回	15 人 25 回	20 人 20 回
骨盤	5 人 25 回	15 人 5 回	5 人 10 回

Table.2 シミュレーション（許容値1.0 ㎜）

	Lateral	Long	Vertical
頭部	5 人 5 回	5 人 5 回	5 人 5 回
頸部	5 人 10 回	15 人 10 回	15 人 5 回
胸部	15 人 25 回	15 人 20 回	10 人 25 回
腹部	5 人 10 回	10 人 10 回	20 人 20 回
骨盤	5 人 15 回	5 人 5 回	5 人 10 回

Table.3 シミュレーション（許容値2.0 ㎜）

	Lateral	Long	Vertical
頭部	5 人 5 回	5 人 5 回	5 人 5 回
頸部	5 人 5 回	5 人 5 回	5 人 5 回
胸部	5 人 25 回	5 人 15 回	5 人 25 回
腹部	5 人 5 回	10 人 5 回	10 人 25 回
骨盤	5 人 5 回	5 人 5 回	5 人 5 回

14-065 O-リング型リニアックにおける kV X-ray およびコーンビーム CT 位置照合システムの精度評価

○加茂前 健[1)]、溝手 里花[1)]、銅山 恒夫[1)]、中山 真一[1)]、門前 一[2,1)]、坂本 隆吏[1)]
1）岡山中央病院 放射線がん治療センター、2）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

【背景】線量勾配が急峻な定位放射線照射（Stereotactic Irradiation：STI）や強度変調放射線治療（Intensity Modulated Radiation Therapy： IMRT）などを実施する場合、通常の外照射以上の幾何学的位置精度を担保することが必要とされる。また、位置照合用装置を備えた治療機が多くの施設に導入され、画像誘導放射線治療（Image Guided Radiation Therapy： IGRT）が実施可能となりつつあるが、装置の品質管理が不十分であれば､深刻な系統的誤差を生じる可能性がある[1,2)]。

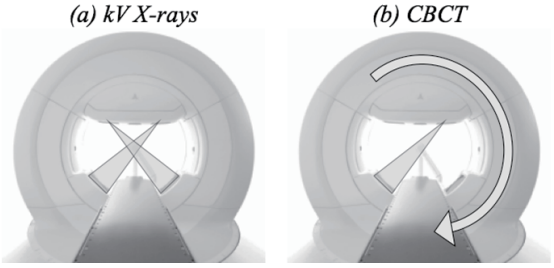


Fig.1　Vero4DRT に実装された画像照合システム

【目的】三菱重工社製 O-リング型リニアック Vero4DRT の位置照合システム（Fig.1）である ExacTrac X-ray（ETX）およびコーンビーム CT（CBCT）の精度評価を行う。

【方法】

（1）ETX 単独の画像フュージョン精度

骨盤ファントムを CT 撮像し、IC を Vertical（Y）、Long（Z）、Lateral（X）方向に 2 から 10 ㎜移動させた複数の治療計画を作成した。治療室にて設置誤差が無い状態でファントムを固定し、IC を移動させた計画 DRR を対象として位置照合した。検出値と IC 移動量の差を ETX 検出誤差とした。

（2）寝台移動誤差を含めた ETX および CBCT の位置精度

骨盤ファントムに対して故意の初期設置誤差を与え ETX による位置照合および修正を行い、再度確認の照合を実施した。再照合時の検出値を寝台の移動誤差を含めた残差とした。続いて、CBCT を撮像し ETX の検出値と比較した。ファントムに与えた初期設置誤差は 2 から 10 ㎜とし複数回繰り返した。

（3）End-to-End 試験

CT シミュレーションから位置照合、治療ビーム照射までの総合的な精度評価を行う。先ず骨盤ファントムの表面に IR マーカを設置し（Fig.2）CT を撮像した。撮像した CT 画像に対して治療計画を作成した。IC は IR マーカの中心とし、3 × 3 ㎠の照射野、ガントリ角度 0, 90, 180, 270° とした。

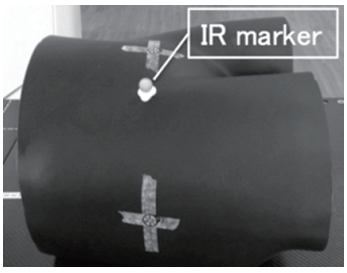


Fig.2　End-to-End 試験で用いた骨盤ファントムと IR マーカ

リニアック実機にて骨盤ファントムに対して ETX を用いて位置照合および補正を実施し、治療計画と同条件にてビーム照射し得られた EPID 画像より誤差値を算定した。

【結果】

（1）ETX 単独の画像フュージョン精度

結果を平均値 ± 2SD で示す。Y、Z、X 各々の方向に対し ETX の検出誤差は 0.0 ± 0.1 ㎜, 0.1 ± 0.2 ㎜, −0.1 ± 0.1 ㎜であった。

（2）寝台移動誤差を含めた ETX および CBCT の位置精度

寝台移動誤差を含めた ETX の位置修正後残差は 0.0 ± 0.3 ㎜, 0.1 ± 0.2 ㎜, 0.1 ± 0.2 ㎜, ETX と CBCT の照合値の逸脱は 1.0 ± 0.3 ㎜, −0.6 ± 0.2 ㎜, 0.2 ± 0.1 ㎜であった。

（3）End-to-End 試験

Fig.3 に IR マーカを透過した EPID 画像を示す。Y､Z､X 各々の方向に対し誤差は約 1 ㎜、0 ㎜、0 ㎜であった。

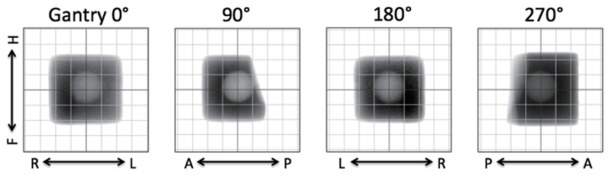


Fig.3　End-to-End 試験における EPID 画像
（グリッドサイズ：6 × 6 ㎟）

【結論】画像誘導放射線治療を実施する上で十分な位置精度が担保されていることが示唆された。

【参考文献】

1）Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators, Med. Phys. 36（9）, September 2009.
2）Quality assurance for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies: A report of the AAPM TG-179, Med. Phys. 39（4）, April 2012.

14-066

仮想ファントムを用いた市販レジストレーションソフトウェアの ROI レジストレーション精度の検討

○河原 大輔、中島 健雄、相田 雅道、越智 悠介、河合 信太朗、奥村 拓朗、増田 弘和、大野 吉美
広島大学病院

【背景】MIM Maestro（以下 MIM）は体型や腫瘍の経時的な変化を伴う画像に対し ROI のレジストレーションを行い輪郭作成の時間短縮、線量合算も可能な放射線治療計画支援ソフトウェアである。

ROI のレジストレーション機能は、二組の画像をレジストレーションさせ、その移動、変形情報を ROI に適用する事で実現している。しかし ROI のレジストレーション精度検証の報告は少ない。

【目的】放射線治療計画支援ソフトウェアである MIM の ROI のレジストレーション精度の検討を行う。

【使用機器】

- 放射線治療計画支援ソフトウェア：MIM Maestro ver.5.4.6（MIM Software）
- 画像処理ソフトウェア：ImageJ1.44（NIH）
- DICOM 画像編集ソフトウェア：DICOMan ver.3.4.4（UNIVERSITY OF ARKANSUS FOR MEDICAL SCIENCE）

【方法】ImageJ を用いて仮想ファントム画像を作成し、TIFF 画像にて保存した。この画像ファイルを DICOMan 上で、ヘッダ情報、スライス位置情報を追加して DICOM 画像に書き直し MIM に転送した。MIM 上で画素値のしきい値を設定し基準画像の ROI（Air、Spine、Body）を作成した。さらに基準画像に対して既知の移動、変形を与えた移動、変形画像の ROI を作成し、ROI のレジストレーションを行った。 まず移動、回転を行う Rigid Image Registration（RIR）を行い、次に変形を行う Deformable Image Registration（DIR）を行った。作成された ROI をレジストレーション ROI とした。Volume Overlap Index（VOI）を求め、レジストレーション精度の評価を行なった。この際 ROI 設定時の誤差、及び RIR、DIR による誤差を考慮しレジストレーション成功の指標を VOI が 0.95 以上とした。

▶検討項目

- X 軸、Y 軸座標移動
- 全体の回転移動
- Spine の回転移動
- Air、Body の半径変化

【結果】座標移動、Spine の回転移動、Body の半径変化については追従した。回転移動では 35° 以上回転した場合に RIR が機能しなかった。Air の半径変化は半径が基準画像の 40％（10pixcel）以下の場合 DIR の精度が低下した。

【考察】著しい回転、ピクセルの小さい領域を除き他は高い精度を示した。回転移動では情報量変化が Air と Spine のみで小さく Air では回転角 25° 以上で重ならず 35° 以上では探索範囲内で相互情報量を増やすことに困難が生じたために RIR が機能しなかった可能性がある。Air の半径が基準画像の 40％（10pixel）以下の場合、DIR 変形グリッドサイズが元画像のピクセルに比べ大きく標本化定理より変形空間で正しくサンプリングできなかったために精度が低下した可能性がある。

【結語】MIM に使用されているレジストレーション機能は、今回検討した範囲では RIR は回転角度 35°、DIR は極端に小さな関心領域を除き高い ROI レジストレーション精度を有していることが示唆された。

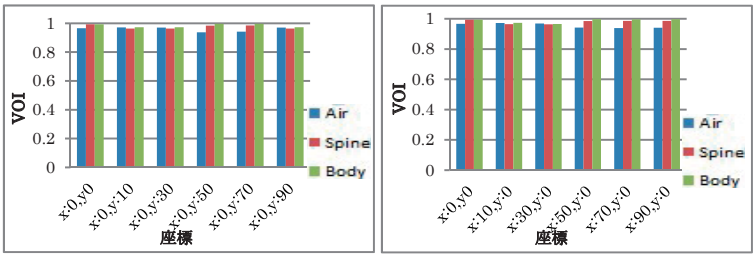


Fig.1　X 軸、Y 軸座標移動

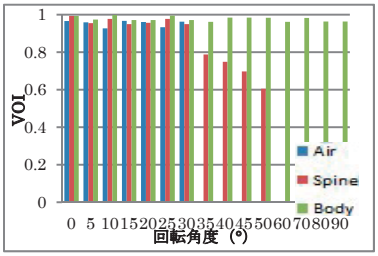


Fig.2　全体の回転移動

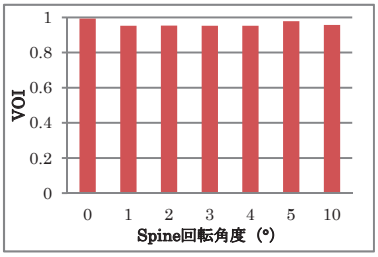


Fig.3　Spine 回転移動

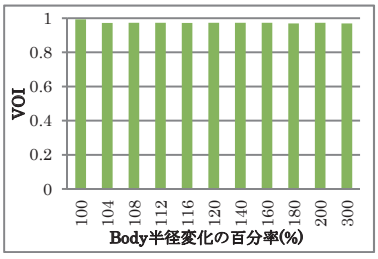


Fig.4　Body 半径変化

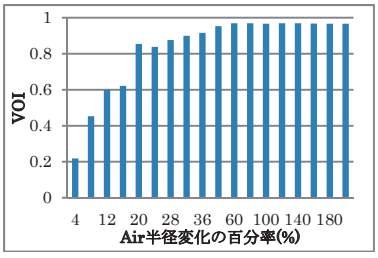


Fig.5　Air 半径変化