

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K16459

研究課題名(和文)4次元コーンビームCTの画質改善と位置照合精度の最適化

研究課題名(英文)Optimization of image quality and target position accuracy for four-dimensional cone-beam computed tomography

研究代表者

下東 吉信(Shimohigashi, Yoshinobu)

熊本大学・病院・主任診療放射線技師

研究者番号：60771110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高精度な腫瘍位置照合の実現を目的に、4次元コーンビームCT(4D-CBCT)の高画質を担保できる撮像条件の設定および画質と位置照合精度の最適化を図り、短時間撮像を可能にすることである。ガントリ回転速度(GRS)の違いによる4D-CBCT画質と位置精度の結果から、画質、撮像時間、位置精度の点において、GRS：67°/分と85°/分が最適な設定値であった。また体幹部定位放射線治療中における4D-CBCT(In-treatment 4D-CBCT)は、画質と位置精度の結果から、治療中の腫瘍位置確認において十分な精度を有していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究による高精度な腫瘍位置照合の実現は、体幹部定位放射線治療の局所制御率の向上と有害事象の低減に繋がり、患者に安全な放射線治療を提供する可能性がある。また本研究成果は、4次元コーンビームCTの短時間撮像を可能とし、患者体動の誘発や腫瘍位置および動きの変化を最小限にし、結果として位置照合精度の向上に繋がる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the image qualities of 4D cone-beam CT (CBCT) images obtained using various gantry rotation speeds (GRSs) for stereotactic body radiation therapy (SBRT) were quantitatively evaluated. Our findings suggest that GRSs of 67 and 85°/min are optimal selections in terms of image quality, acquisition time, and positional errors for 4D-CBCT-based image guidance. Moreover, the image quality of in-treatment 4D-CBCT (In-4D-CBCT) obtained with various prescription doses were quantitatively evaluated in volumetric modulated arc therapy (VMAT) for SBRT of the lungs and liver. We concluded that the image quality of In-4D-CBCT degraded compared with the reference image; however, it was sufficiently accurate for assessing the tumor position in VMAT for SBRT of the lungs and liver both in terms of the target volume similarity and accuracy of the fiducial marker position.

研究分野：放射線治療

キーワード：4次元コーンビームCT 体幹部定位放射線治療 画質改善 位置照合精度 最適化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

現在、肺や肝腫瘍に対する体幹部定位放射線治療は、良好な局所制御率が得られると報告されているが、放射線肺臓炎や肝機能障害などの合併症が問題となっている。より安全に高線量を腫瘍に投与するためには、ミリ単位の高精度な位置照合が必要不可欠であり、呼吸性移動による腫瘍の動きを正確に把握する必要がある。

近年、放射線治療装置にキロボルト-X線管とフラットパネル検出器を組み合わせた画像誘導装置3次元コーンビームCT(3D-CBCT)が搭載され、さらに呼吸性移動を把握できる時間軸を加えた4次元CBCT(4D-CBCT)が撮像可能となった(1)。これにより、治療直前に腫瘍の4次元の動きの評価や呼吸性移動に対する腫瘍の正確な位置照合が可能となってきた。

しかし、4D-CBCTによって取得される各位相(一般的に、10位相)の画質は、撮像時間に比例する投影データ数に大きく影響を受ける。4D-CBCTは、各位相の3D画像再構成に必要な投影データを十分に収集するために、低速なガントリ回転速度(gantry rotation speed:GRS,一般的に、 $50^{\circ}/\text{min}$)でCBCT撮像を行っている(2)。低速なGRSは、長い撮像時間のため、患者体動の誘発や腫瘍位置および動きの変化に影響を及ぼし、結果として位置照合精度の低下に繋がる。したがって、高精度な腫瘍位置照合の実現には、短時間撮像かつ高画質を担保できる撮像条件の設定が必要である。

加えて近年の技術進歩により、4DCBCTを肺や肝臓の体幹部定位放射線治療中に撮像できる技術が導入されている(3)。治療中(In-treatment)の4DCBCT(In-4D-CBCT)は、治療中の腫瘍動態を確認できるため、高精度な位置照合で体幹部定位放射線治療が行われたかを確認でき、また標的体積の動きの変化に対するマージン設定の検証に使用することができる。しかしながら、In-4D-CBCTの使用は、その画質と位置精度を定量的に評価しなければならない。本研究による高精度な腫瘍位置照合の実現は、体幹部定位放射線治療の局所制御率の向上と有害事象の低減に繋がり、患者に安全な放射線治療を提供する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、高精度な腫瘍位置照合の実現を目的に、4D-CBCT(In-4D-CBCTを含む)の高画質を担保できる撮像条件の設定および画質と位置照合精度の最適化を図り、短時間撮像を可能にすることである。

3. 研究の方法

研究期間中に2つ研究を行なった。

3.1 ガントリ回転速度(GRS)の違いによる4D-CBCTの画質と位置精度評価

肝腫瘍に対する体幹部定位放射線治療を想定した肝臓ファントムを用いて、GRS:50(基準)67、85、100、200 $^{\circ}/\text{min}$ に設定した4D-CBCTを撮像し、それぞれのファントム画像の信号ノイズ比(SNR)、コントラスト比(CNR)、構造的類似度(SSIM)の画質指標を測定し、基準画像に対して比較した。位置精度の評価は、ファントムに挿入された金マーカ位置を測定、Root Mean Square Errors(RMSEs)を算出し、基準位置に対して比較した(図1)。また、肝定位放射線治療を受けた患者6名の4D-CBCT画像を用いて同様の評価を行なった。

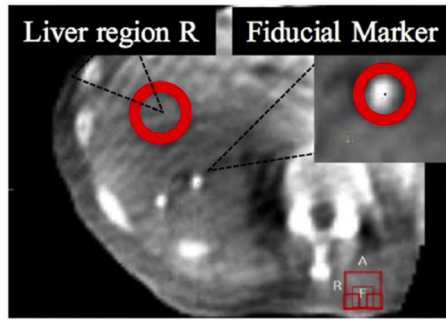


図1 . SNR と CNR の画質指標と位置精度は、肝臓領域 (Liver Region : R) と金マーカ位置 (Fiducial Marker) を測定し、評価した。

3.2 体幹部定位放射線治療中における In-4D-CBCT の画質と位置精度評価

肺と肝腫瘍に対する体幹部定位放射線治療を想定したファントムを用いて、強度変調回転放射線治療 (VMAT) 計画を行なった。治療計画における処方線量は、肺腫瘍において 6、7.5、10、12Gy/fraction、肝腫瘍において 5、6、7、8Gy/fraction に設定した。処方線量を変えた VMAT 治療計画プランをファントムに照射し、それと同時に In-4D-CBCT を撮像した (図2)。In-4D-CBCT の画質評価は、SNR と CNR を測定し、基準となる 4D-CBCT 画像と比較した。また、位置精度の評価は、肺腫瘍においてはダイス係数 (DSC)、肝腫瘍においては金マーカ位置を測定、RMSEs を算出し、基準位置に対して比較した。

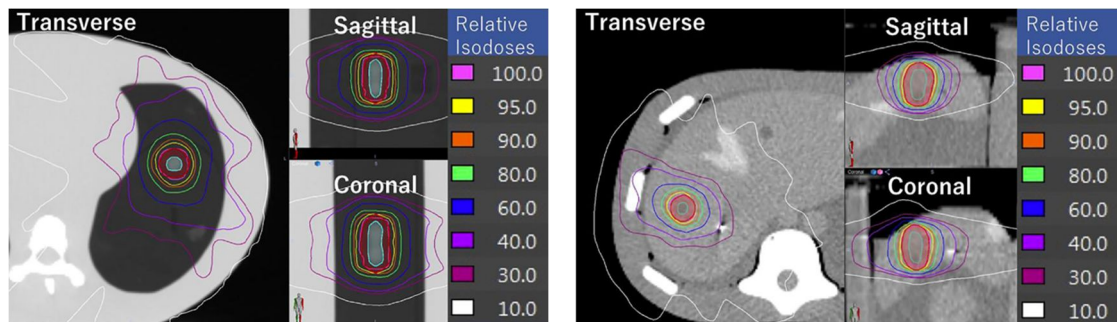


図2 . 肺腫瘍 (左) と肝腫瘍 (右) を想定したファントムを用いた VMAT 治療計画における相対線量分布 (0-100%) を示す。

4 . 研究成果

4.1 ガントリ回転速度の違いによる 4D-CBCT の画質と位置精度評価

患者 6 名の 4D-CBCT の画質指標 (SNR、CNR、SSIM) は、GRS : 50 から 200 ° /min に増加するにつれ、減少した。また、位置精度も同様に低下した (図3)。本研究の結果より、画質、撮像時間、位置精度の点から、GRS : 67 と 85 ° /min が最適な設定値であった。本研究の結果は、海外学会 (第 59 回米国医学物理学学会学術大会) および英文誌にて発表した (4)。

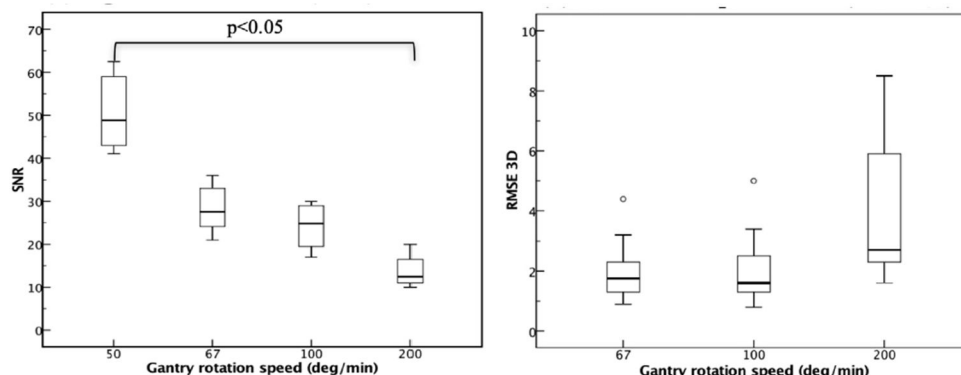


図 3. GRS に対する 4D-CBCT 画質 (左図: SNR)、位置精度 (右図: RMSE) との関係。

4.2 体幹部定位放射線治療中における In-4D-CBCT の画質と位置精度評価

In-4D-CBCT の画質指標 (SNR、CNR) は、処方線量が増加するにつれ、増加した。また位置精度は、全ての処方線量で許容範囲内であった。本研究の結果より、体幹部定位放射線治療中における In-4D-CBCT は、画質、位置精度の点から、腫瘍位置確認において十分な精度を有していた。本研究の成果は、海外学会 (第 38 回欧州放射線腫瘍学会) および英文誌にて発表した (5)。

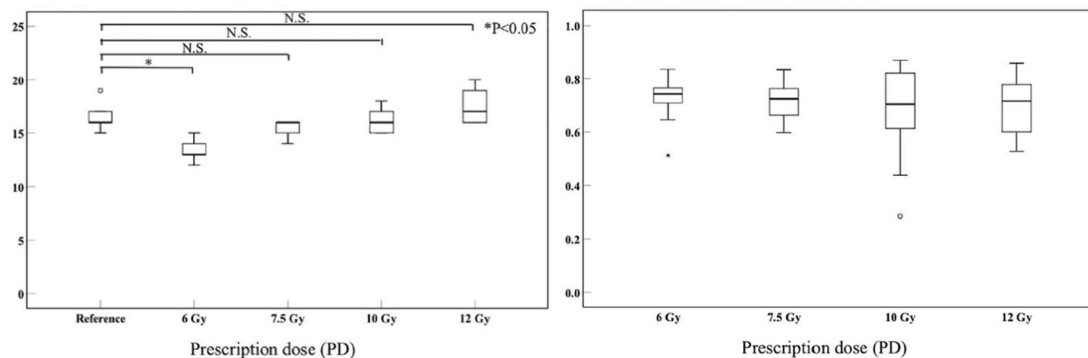


図 4. 処方線量に対する In-4D-CBCT 画質 (左図: SNR)、位置精度 (右図: DSC) との関係。

引用文献

1. Sonke JJ, Zijp L, Remeijer P, van Herk M. Respiratory correlated cone beam CT. *Med Phys* 2005;32:1176-86.
2. Shimohigashi Y, Araki F, Maruyama M, Nakaguchi Y, Nakato K, Nagasue N, et al. Optimization of acquisition parameters and accuracy of target motion trajectory for four-dimensional cone-beam computed tomography with a dynamic thorax phantom. *Radiol Phys Technol* 2015;8:97-106.
3. Takahashi W, Yamashita H, Kida S, et al. Verification of planning target volume settings in volumetric modulated arc therapy for stereotactic body radiation therapy by using in-treatment 4-dimensional cone beam computed tomography. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013;86:427-31.
4. Shimohigashi Y, Araki F, Maruyama M, Yonemura K, Nakaguchi Y, Kai Y, et al. Image quality of four-dimensional cone-beam computed tomography obtained at various gantry rotation speeds for livers stereotactic body radiation therapy with fiducial markers. *Phys Med*. 2018;45:19-24.
5. Shimohigashi Y, Doi Y, Kouno Y, Yotsuji Y, Maruyama M, Kai Y, et al. Image quality evaluation of in-treatment four-dimensional cone-beam computed tomography in volumetric-modulated arc therapy for stereotactic body radiation therapy. *Phys Med*. 2019;68:10-6.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Yoshinobu Shimohigashi, Yasuhiro Doi, Yumiko Kono, Yohei Yotsuji, Masato Maruyama, Yudai Kai, Ryo Toya | 4. 巻 68 |
| 2. 論文標題 Image quality evaluation of in-treatment four-dimensional cone-beam computed tomography in volumetric-modulated arc therapy for stereotactic body radiation therapy | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Physica Medica | 6. 最初と最後の頁 10-16 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2019.11.003 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Shimohigashi Yoshinobu, Araki Fujio, Maruyama Masato, Yonemura Keisuke, Nakaguchi Yuji, Kai Yudai, Toya Ryo | 4. 巻 45 |
| 2. 論文標題 Image quality of four-dimensional cone-beam computed tomography obtained at various gantry rotation speeds for liver stereotactic body radiation therapy with fiducial markers | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physica Medica | 6. 最初と最後の頁 19～24 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2017.11.020 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y Shimohigashi, Y Doi, Y Kono, M Maruyama, Y Kai, R Toya |
| 2. 発表標題 Validation of Four-Dimensional Computed Tomography Without An External Respiratory Signals Device for the Radiotherapy Planning of Lung Cancer Patients |
| 3. 学会等名 2020 joint AAPM/COMP Meeting VIRTUAL（国際学会） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Y Shimohigashi, Y Doi, Y Kono, M Maruyama, Y Kai, R Toya |
| 2. 発表標題 Determination of Planning Target Volume Margin for Gastric Lymphoma Radiotherapy Using Daily Four-Dimensional Cone-Beam Computed Tomography |
| 3. 学会等名 2020 joint AAPM/COMP Meeting VIRTUAL（国際学会） |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 YOSHINOBU SHIMOHIGASHI, YASUHIRO DOI, MASATO MARUYAMA, YOHEI YOTSUJI, YUDAI KAI and RYO TOYA |
| 2. 発表標題 Image Quality of In-Treatment 4D-CBCT Obtained at Various Prescription Doses in VMAT for SBRT of Lung Tumor: A Phantom Study |
| 3. 学会等名 ESTRO 38 conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shimohigashi Yoshinobu, Araki Fujio, Maruyama Masato, Yonemura Keisuke, Nakaguchi Yuji, Kai Yudai, Toya Ryo |
| 2. 発表標題 Image quality of 4D-CBCT with varying gantry rotation speeds for liver SBRT with fiducial markers |
| 3. 学会等名 第59回米国医学物理学学会学術大会 (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |