

令和元年6月19日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K15803

研究課題名（和文）患者体位再現性の高精度化を目的としたフレキシブルな位置照合システムの開発

研究課題名（英文）Development of flexible localization system designed to optimize patient positioning reproducibility in radiotherapy

研究代表者

上原 和之 (Uehara, Kazuyuki)

神戸大学・医学研究科・医学研究員

研究者番号：80582006

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は画像誘導放射線治療において位置照合精度の向上と患者被ばく線量の低減、位置照合時間の短縮を目的としたフレキシブルな位置照合システムの開発である。現状の位置照合手法における残余誤差を解析し、放射線線量分布への影響を明らかにした。既存の固定器具を利用した位置照合システムの試作器を作成し、システムの実現性について検討した。その結果としてより対応能力のある自由度の高いシステムとするための課題を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において現状実施されている皮膚マーキングとレーザー照合機による体軸補正、それに続けて一回から複数回のX線画像による照合で再現される体位において補正しきれていない残余誤差について評価した。またその残余誤差が線量分布、特にリスク臓器に及ぼす影響について評価した。この結果が本研究の開発要素が目指すべき基準となると考えられる。フレキシブルな患者位置照合システムの開発では体位の側屈に対する補正についての構造的課題や専用のコンプレッサの必要性が認められた。これらの課題をクリアすることで画像誘導放射線治療において患者被ばく線量の低減や照合時間の短縮が可能となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a flexible patient setup system for the improving of patient positioning reproducibility, imaging dose, and setup time in image-guided radiation therapy. We analyzed the residual setup error in the existing method and clarified the impacts on the radiation dose distribution. The feasibility of our system was evaluated by the patient positioning unit prototyped using commercial immobilization devices. The results in this study has found additional challenges to make the device more flexible.

研究分野：医学物理学

キーワード：放射線治療 画像誘導放射線治療

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

放射線治療システムの発展によって定位放射線治療や強度変調放射線治療といった体内で選択的に放射線を集中させる照射法が可能となっている。これら高精度放射線治療において有効性と安全性を担保するためには治療回ごとの高い患者位置再現性が求められる。画像誘導放射線治療 (IGRT) は放射線治療の直前および治療中の画像情報をもとに位置誤差を補正することで治療計画を可能な限り再現する手法である。最も普及している X 線画像や X 線 CBCT 画像による位置照合に加えて、近年では患者被ばくを伴わない体表面ベースの位置照合法も運用されており、これらの技術と 6 軸補正可能な患者寝台を組み合わせることで精度の高い位置照合が実施されている。しかし実際の患者の体は剛体ではないため、並進 3 軸と回転 3 軸の 6 軸照合では体軸の回旋・伸展の状態を補正することはできない。現状では皮膚マーキングとレーザー照合機によって体軸の再現を行うがそれだけで体内の状態を十分に再現することは困難であり、その後に X 線画像撮影と補正を繰り返すことで体軸の再現を実施している。このため患者の被ばく線量や位置照合時間の増加、微調整困難な残余誤差 (RSE) が存在する可能性があり、6 軸照合では困難な誤差に対して高速かつ正確な補正手法が求められる。

### 2. 研究の目的

画像誘導放射線治療と 6 軸補正による照合方法では患者体位の回旋・伸展の補正は困難であり、体表面へのマーキングとレーザーシステムによる照合や主に被ばくを伴う X 線画像によって得られた情報を基に補正が行われている。またその補正方法として高速かつ高精度なシステムは確立していない。本研究の目的は現行の画像誘導放射線治療と 6 軸補正による照合方法では解消できない残余誤差を効率的に最小化するためのフレキシブルな位置照合システムの開発である。

### 3. 研究の方法

#### (1) RSE の評価と解析

CT 画像をベースとした体軸の回旋や伸展状態の評価法について検討し、既存症例の X 線 CBCT を用いて RSE を評価した。放射線の照射領域に含まれる各椎体をメルクマールとして、局所的な剛体画像照合を行って RSE を評価した。また局所的な RSE が線量分布に及ぼす影響について、CT 画像と CBCT 画像との非剛体画像照合を行い、その照合情報とともに RSE を反映した CT 画像を作成した。この CT 画像を用いて基準プランを再現して線量再計算を行い、リスク臓器の線量指標を評価した。

#### (2) フレキシブルな患者体位補正機能を有した固定器具の試作

研究期間内に全ての器具を自作することは困難であるため、一般に使用されている固定器具を応用して患者体位の部分的な補正機能を付加した固定器具について検討した。また、固定器具の要素として補正による体表面の変化や Intra-fractional error をモニタリングするためのデブスカメラを利用した体表面モニタリングシステムについて検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) RSE の評価と解析

治療計画用の CT 画像と CBCT 画像との照合を照射は範囲内の各椎体で実施した結果、胸腹部症例において RSE は並進成分として左右、背腹、頭尾方向の Mean  $\pm$  SD でそれぞれ  $0.20 \pm 0.84\text{mm}$ 、 $-0.23 \pm 0.40\text{mm}$ 、 $-0.23 \pm 0.64\text{mm}$  であった。同時に回転成分として roll、pitch、yaw 方向は Mean  $\pm$  SD でそれぞれ  $-0.04 \pm 0.54\text{deg}$ 、 $0.38 \pm 0.66\text{deg}$ 、 $0.03 \pm 0.67\text{deg}$  であった。最も誤差が発生すると思われる照射範囲の頭尾側の両端の RSE の差異は roll、pitch、yaw 方向の Mean  $\pm$  SD でそれぞれ  $-0.54 \pm 0.50\text{deg}$ 、 $-0.39 \pm 0.97\text{deg}$ 、 $-0.48 \pm 0.59\text{deg}$  であり、X 線画像による体軸補正後の RSE として回旋・伸展状態による誤差がみられた。非剛体画像照合から作成した CT 画像上で線量再計算を実施し、リスク臓器である脊髄を各椎体に対応した領域に分割した各領域で線量変化を評価した。この中で最大線量では  $-1.4\%$  から  $+1.2\%$  の線量差異が発生していた (図 1)。

これらは実臨床での CBCT 画像であり、撮影の前に 1 回から複数回の X 線画像撮影による体軸の補正がなされている。患者被ばく線量について評価していく上で照合の過程についての詳細なデータ収集の必要性がある。

## (2)フレキシブルな患者体位補正機能を有した固定器具の試作

固定器具の開発は素材から検討する必要があり、研究機関内に全てを自作することは困難であったため、既存の吸引式固定具を組み合わせることで固定具の試作器を作成した。試作器は頭頸部から骨盤部にかけて5つの部位に独立した構造とし、各部位の調整を行うことで患者体位の回旋・伸展を補正する機能について検討した。高速かつ精密な補正のためには独立した複数個の吸引機構に対応可能であり、位置照合の結果から得られた補正量に対して空気の入出量を定量的に制御が可能なコンプレッサと制御システムの開発が必要と考えられた。また、現状の構造では患者体位の側屈の状態に対応することが困難であり、固定器具の構造的な改善の必要性が明らかとなった。

患者の Intra-fractional error のモニタリング用の体表面モニタリングシステムとして、アクティブステレオ方式のデプスカメラを採用していたが十分な精度が達成できておらず、現在検討しているシステムに加えて TOF 方式のカメラを導入し、今後も開発を継続する。

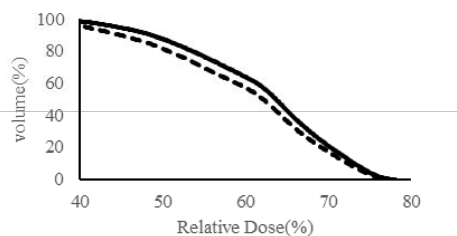
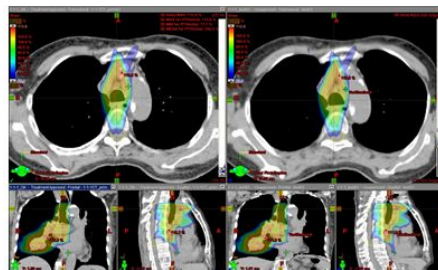


図1. RSEを考慮した再計算結果の一例  
(左) 治療計画、(右) 再計算結果  
(下) DVH

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Nakayama M, Uehara K, Nishimura H, Tamura S, Munetomo Y, Tsudou S, Mayahara H, Mukumoto N, Geso M, Sasaki R, Retrospective assessment of a single fiducial marker tracking regimen with robotic stereotactic body radiation therapy for liver tumours., Rep Pract Oncol Radiother., 2019, Paper Accepted, now Printing, 査読有

Nakayama M, Nishimura H, Mayahara H, Uehara K, Tsudou S, Harada A, Akasaka H, Sasaki R, Clinical log data analysis for assessing the accuracy of the CyberKnife fiducial-free lung tumor tracking system, Pract Radiat Oncol., 2018 Apr;8(2):e63-70, DOI:10.1016/j.ppro.2017.10.014., 査読有

Ogata T, Nishimura H, Mayahara H, Uehara K, Okayama T, Identification of the suitable leaf margin for liver stereotactic body radiotherapy with flattening filter-free beams, Med Dosim., 2017 Winter;42(4):268-272. DOI:10.1016/j.meddos.2017.06.002., 査読有

〔学会発表〕(計 2 件)

上原和之, 溝延数房, 沖裕也, 王天縁, 西村英輝, 馬屋原博, 原田文, 門脇伸行, 佐々木良平, ヘリカル式強度変調放射線治療における MLC Latency モデルの評価手法の検討, 第32回日本高精度放射線外部照射部会学術大会, 2019/3/2, 東京

Nakayama M, Uehara K, Tsudou S, Tamura S, Nishimura H, Mayahara H, Sasaki S, Assessment of Clinical Accuracy of the Cyberknife Fiducial-Free Lung Tumor Tracking System., AAPM 59th Annual Meeting & Exhibition, 2017/7/30-8/3, USA

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：  
ローマ字氏名：  
所属研究機関名：  
部局名：  
職名：  
研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。