

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月1日現在

機関番号：16201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21791224

研究課題名（和文） 複数回治療に対応した次世代がん放射線治療計画支援システムの開発

研究課題名（英文） Development of next-generation system for aiding design of repeated radiotherapy

研究代表者

上村 幸司（UEMURA KOJI）

香川大学・医学部附属病院・准教授

研究者番号：00308199

研究成果の概要（和文）：同一被検者の時期の異なる胸腹部 CT 画像の非線形位置合わせを行った結果、位置合わせの精度を、放射線治療時に求められる誤差 3mm 以内に収めることが可能だった。さらに、DICOM-RT データを対象に位置合わせを行うことで、経時的な線量分布情報を同じ座標系で重ね合わせて表示することが可能になった。この方法を用いれば、医師が放射線治療計画を行う際に、過去の治療計画を参照しながら、線量分布が重複することがないように、新たな治療計画を行うことが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method for obtaining the reliable mutual relationship of location among the dose distribution of a few times irradiation with some intervals using the 3-dimensional nonlinear registration. In the patients who received several times radiotherapy, the earlier CT image was realigned to the later CT image by the nonlinear registration, and the transformational parameters were obtained. Next, dose-distribution image of each irradiation was generated from the DICOM-RT Plan, Structure Set, Dose, Image information, and the dose-distribution image of the earlier radiotherapy was realigned to that of the later radiotherapy by the transformational parameters obtained from the registration of CT images. This transformed image of the previous irradiation was converted to the DICOM-RT format, and displayed on the CT image acquired for a new radiotherapy. As a result, the error of registration was smaller than 3mm by an expert's visual inspection. The proposed system would be valuable for designing a new radiotherapy by referring to a dose distribution of previous irradiations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：医用工学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学、放射線科学

キーワード：非線形位置合わせ, 放射線治療, がん, 局所再発, 線量分布, DICOM-RT

1. 研究開始当初の背景

がんの放射線治療後に局所再発した場合、再発病巣は以前治療した部位と近接しているため、新たに放射線治療を行うことは、照射の重複による放射線障害のリスク上、困難な場合が多かった。

近年、強度変調放射線治療(IMRT)や重粒子線治療などの高精度な照射方法が開発され、複雑な形状の病巣に放射線を集中照射し、かつ周辺の正常組織にはなるべく照射しない治療が可能になってきた。そのため、放射線治療後の局所再発患者への、複数回の放射線治療が可能となるケースも増えてきている。

局所再発部位に対して新たな治療計画を行う場合、なるべく過去の線量分布と重複しないように計画しなくてはならない。その場合、治療計画を行う医師が、過去の治療計画で作成した3次元的な線量分布の情報を、正確に把握する必要がある。そのためには、過去の線量分布を現在の治療計画 CT 画像と3次元的に位置合わせし、融合表示することが有効である。しかし、胸・腹部においては、同じ患者であっても、時期が異なれば、体位や患者の状態により、治療計画 CT 画像の形状も異なるため、単純に剛体レジストレーションを用いて、線量分布の位置合わせを行うことは不可能である。

さらに、現在、自動的な手法は存在しないため、放射線腫瘍医は、過去の線量分布と現在の治療計画 CT 画像を別々に参照し、頭の中で重複をイメージしながら、手動で新たな治療計画を行っており、その作業は非常に煩雑であり主観的になりがちである。

2. 研究の目的

本研究では、胸・腹部に複数回放射線治療を行う際、非線形レジストレーションを放射線治療計画に適用し、副作用が少なく治療精度のよい放射線治療を実現する、次世代の放射線治療計画支援システムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 線量分布の位置合わせに必要な要件

DICOM規格では、線量分布は治療計画用 CT 画像の位置情報に関連付けられた形で保存されている。複数の線量分布を合成し計算するためには、まず CT 画像の重ね合わせを行わなければならない。そして、CT 画像を変形するパラメータを求め、同じパラメータを線量分布に適用して合成する。

(2) 非線形位置合わせ

名古屋大学で開発された MIST(Medical Integration Standard Toolkit)の非線形位置合わせライブラリをもとに画像処理を行

った。ただし、DICOM 画像として記録された 16bit 階調で画像処理を行い、結果を DICOM 画像として出力できるよう、既存ライブラリを改造した。

位置合わせ処理は、FFD(Free Form Deformation)と正規化相互情報量(Normalized Mutual Information; NMI)のアルゴリズムを用いて行われる。まず、対象画像の x 軸、y 軸、z 軸それぞれに対して、指定する数で分割した格子状の制御点を設定する。

次に、制御点付近のヒストグラムから NMI を繰り返し計算して、許容相対誤差範囲内に収まれば、基準画像に一致すると判断し、制御点の移動量を求める。制御点の移動量に基づいて物体が自然に変形するよう、FFD を用いて画像変形を行う。この処理を、さらに各軸の制御点を 2 倍にして再分割を繰り返し、詳細な画像位置合わせを行う。

(3) 線量分布画像の位置合わせ

線量分布画像を位置合わせするために、以下の手順を用いた。

① 上述した FFD を用いた手法により、同一被検者で時期の異なる治療計画 CT 画像間の非線形位置合わせを行い、対象画像を基準画像に合わせる変形パラメータを得る。

② 対象画像の治療計画 CT 画像に対応した DICOM-RT の Plan, Structure Set, Dose, Image 情報から、任意の座標における線量値を画素値に持つ、線量分布画像を作成する。

③ ステップ①で得られた、非線形の変形パラメータを用いて、ステップ②で作成された線量分布画像を変形させ、基準となる治療計画 CT 画像に位置合わせする。

④ 最後に、位置合わせされた線量分布画像を、DICOM-RT の Plan, Structure Set, Dose, Image 情報に再変換する。

4. 研究成果

(1) 結果

図 1 に、同一患者で時期の異なる腹部 CT 画像に、非線形レジストレーションを適用した結果を示す。上段：axial 画像、中段：coronal 画像、下段：sagittal 画像の結果であり、左から、基準画像、対象画像を変形した出力画像、対象画像と基準画像の差分、出力画像と基準画像の差分となっている。位置があわず差分が生じている部位に、色をつけて表示している。赤のグレースケールは正の差分値、青のグレースケールは負の差分値を表している。腸管や胃などの管腔臓器では、若干差分が見受けられ、位置合わせが不十分な部位が認められるが、全体的には非常によく位置合わせができています。解剖学的に特徴的な基準点を複数点定めて、エキスパートに

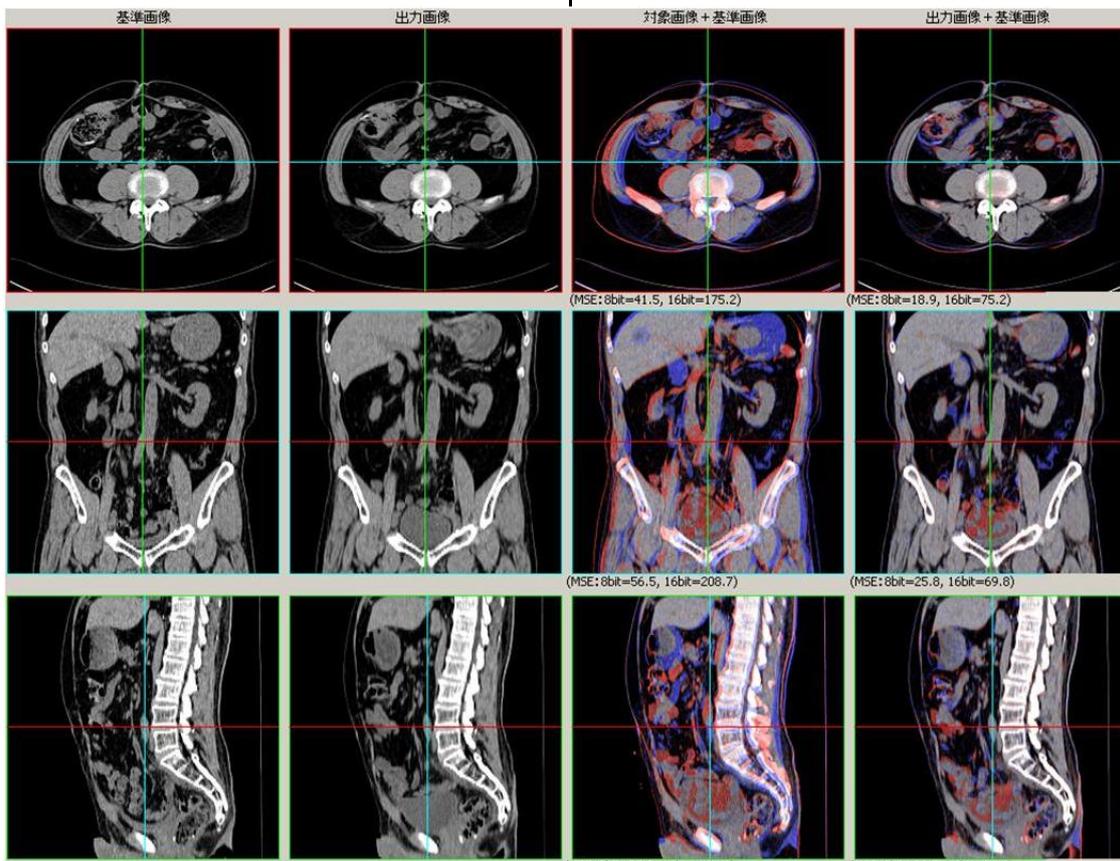


図 1. 腹部 CT 画像の非線形レジストレーション

よる目視評価を行った結果、両画像間の基準点のずれは平均 1.13 mm となり、放射線治療で求められる 3 mm の精度は満たしていた。

次に、2 回放射線治療を行った患者の、1 回目の線量分布 (左) を非剛体レジストレーションし、2 回目の線量分布 (右) と治療計画 CT 画像に融合表示した結果を図 2 に示す。その結果、1 回目と 2 回目の線量分布の位置関係や、各部位の照射線量が明確に把握できた。

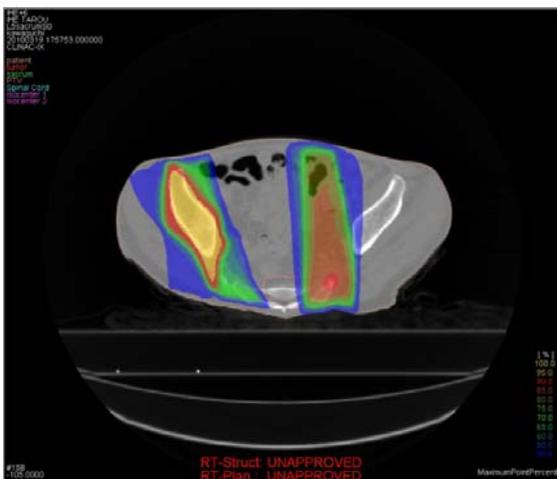


図 2. 2 回の線量分布と CT 画像の融合結果

(2) 考察

肝臓、腎臓などの実質臓器の位置合わせは平均 1.13mm という高い精度で行われていた。放射線治療では、標的臓器の位置合わせを十分に行う必要があり、一般的に 3mm 以内の精度を求められる。本研究で得られた結果はこれを十分満たすものであった。従って、本手法は線量分布を含めた治療計画画像の位置合わせに適用可能であると思われる。

一方、腸管や胃などの管腔臓器では、位置合わせが不十分な部分が認められた。特に腸管は他の周囲臓器に比べて耐容線量が低く、線量計画において注意すべき臓器である。これらの臓器は、内容物が経時的に異なるため、自動処理による精度の向上は難しい。しかし、線量分布の位置合わせを高い精度で行うためには、管腔臓器の輪郭の位置合わせ精度の向上が必要である。そのための 1 手法としては、臓器のセグメンテーションを行うことにより腸管や胃などの各臓器を精確に抽出し、臓器の形状や長さ・体積などの解剖学的な特徴をもとに、各臓器間のより精度の高い位置合わせを行う方法などが考えられる。

腹部に 2 回放射線治療を受けた患者の線量分布 (DICOM-RT) を対象に、非線形位置合わせを行った結果、不均一な分布が生ずるなど矛盾のある不自然な変形は見受けられなかった。本法を用いることで、過去の線量分

布を現在の治療計画 CT 画像に融合表示することが可能になり、新たな治療計画において、過去の線量分布を正確に参照しながら、照射方向や照射線量などを設定できる可能性が示せた。

(3)おわりに

同一被検者の時期の異なる胸腹部 CT 画像の非線形位置合わせを行った結果、位置合わせの精度を、放射線治療時に求められる誤差 3mm 以内に収めることが可能だった。さらに、DICOM-RT データを対象に位置合わせを行うことで、経時的な線量分布情報を同じ座標系で重ね合わせて表示することが可能になった。この方法を用いれば、医師が放射線治療計画を行う際に、過去の治療計画を参照しながら、線量分布が重複することがないように、新たな治療計画を行うことが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 上村幸司, 谷川琢海, 安藤裕, 他 7 名, 放射線治療計画のための経時的線量分布参照法の開発、日本医用画像工学会大会予稿集 (CD-ROM)、30th、2011、査読無
- ② 谷川琢海, 上村幸司, 安藤裕, 他 2 名, 複数回の放射線治療における治療計画支援システムの構築—3 次元 FFD による Registration の精度評価—、電子情報通信学会技術研究報告、109、407、93-96、2010、査読無
- ③ 上村幸司, 安藤裕, 谷川琢海, 他 6 名, 非線形位置合わせを用いた放射線治療計画支援システムの開発、日本医用画像工学会大会予稿集 (CD-ROM)、29th、2010、査読無
- ④ 向井まさみ, 谷川琢海, 上村幸司, 他 6 名, DICOM-RT 線量分布を含めた画像の 3 次元非線形位置合せ手法の開発、医療情報学連合大会論文集、30th、1322-1323、2010、査読無
- ⑤ 増澤高, 長田雅和, 向井まさみ, 他 3 名, 5 番目, 3 次元非線形位置合わせ処理の結果評価支援ツールの開発、医療情報学連合大会論文集、30th、1370-1371、2010、査読無

[学会発表] (計 11 件)

- ① 上村幸司, 放射線治療計画のための経時的線量分布参照法の開発, 第 30 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT Annual Meeting 2011), 2011 年 8 月 5 日, 国際医療福祉大学大田原キャンパス (栃木

県)

- ② Yutaka ANDO, Synthesis of Overall Dose Distribution for Multiple Radiation Therapy by Nonlinear Registration Method, CARS2011 (25rd International Congress and Exhibition), June 23 2011, ESTREL HOTEL BERLIN (Berlin, Germany)
- ③ 上村幸司, 非線形位置合わせを用いた放射線治療計画支援システムの開発, 第 29 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT Annual Meeting 2010), 2010 年 7 月 30 日, 東海大学伊勢原キャンパス (神奈川県)
- ④ Yutaka ANDO, Radiation Dose Distribution Support System by Using Nonlinear Registration method; Application for DICOM-RT Information, CARS2010 (24rd International Congress and Exhibition), June 23 2010, University Medical Center (Geneva, Swiss)

[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:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上村 幸司 (UEMURA KOJI)

香川大学・医学部附属病院・准教授

研究者番号: 00308199