

3D プリンタを用いた deformable image registration の 患者個別精度検証手法の検討

山形大学医学部放射線腫瘍学講座 ○金井 貴幸 (Kanai Takayuki)

市川 真由美 佐藤 啓 根本 建二

山形大学大学院重粒子線医学講座 宮坂 友侑也 家子 義朗 岩井 岳夫

山形大学医学部附属病院放射線部 鈴木 幸司

【目的】

Deformable image registration (DIR) は、放射線治療中の線量積算や自動輪郭描出に不可欠な技術である。DIR精度は患者毎に大きく異なり、同一ソフトウェアであっても施設毎に異なることが報告されている¹⁾。しかしながら、DIR精度の定量的な評価は物理ファントムや一般公開されている画像を用いる方法が主流であり、患者個別の定量的な評価は殆ど行われない。そこで、3Dプリンタを用いて実患者を模擬したファントムを作製し、患者個別のDIR精度検証に用いることができるか検討した。

【方法】

3Dプリンタに入力するための三次元輪郭情報の作成手順をFig.1に示す。まず、中咽頭癌患者の放射線治療前のCT画像と治療開始3週間後のCT画像を用い、治療前CT画像を治療開始3週間後CT画像にDIRを行う。DIRにはオープンソースソフトウェアであるelastix ver.4.8を用いた。得られた変形量は治療期間中の患者の変形を表したものとなる。次に、治療前CT画像に閾値処理を行い、CT値が-100 HU以上0 HU未満を脂肪組織、0 HU以上200 HU未満を筋組織、200 HU以上を骨組織として領域の抽出を行った。この画像処理にはMathworks社製MATLAB 2017aを用いた。続いて、筋組織が割り当てられた領域について、画素値が0または1のマスク画像を作成した。3Dプリンタでは中空構造や孤立した点構造の出力が困難であるため、これらの構造をマスク画像から手動で取り除いた。マスク画像に対し、先程のDIRから得られた変形量を適用することで、変形した筋組織マスク画像を取得した。最後に、2つのマスク画像を三次元輪郭情報 (STLファイル) へそれぞれ変換した。手動でのマスク画像修正及び三次元輪郭情報への変換はオープンソースソフトウェアである3D Slicer 4.5.0を用いた。

得られた三次元輪郭情報をStratasys社製Objet500 CONNEX3を用いて3Dプリント出力した。出力は筋組織領域のみについて行い、素材はVeroClear™を用いた。積層ピッチは0.03 mmを用いた。出力したファントムの骨組織及び脂肪組織に該当する領域については石膏及び20 g/Lのゼラチンを流し込んだ。

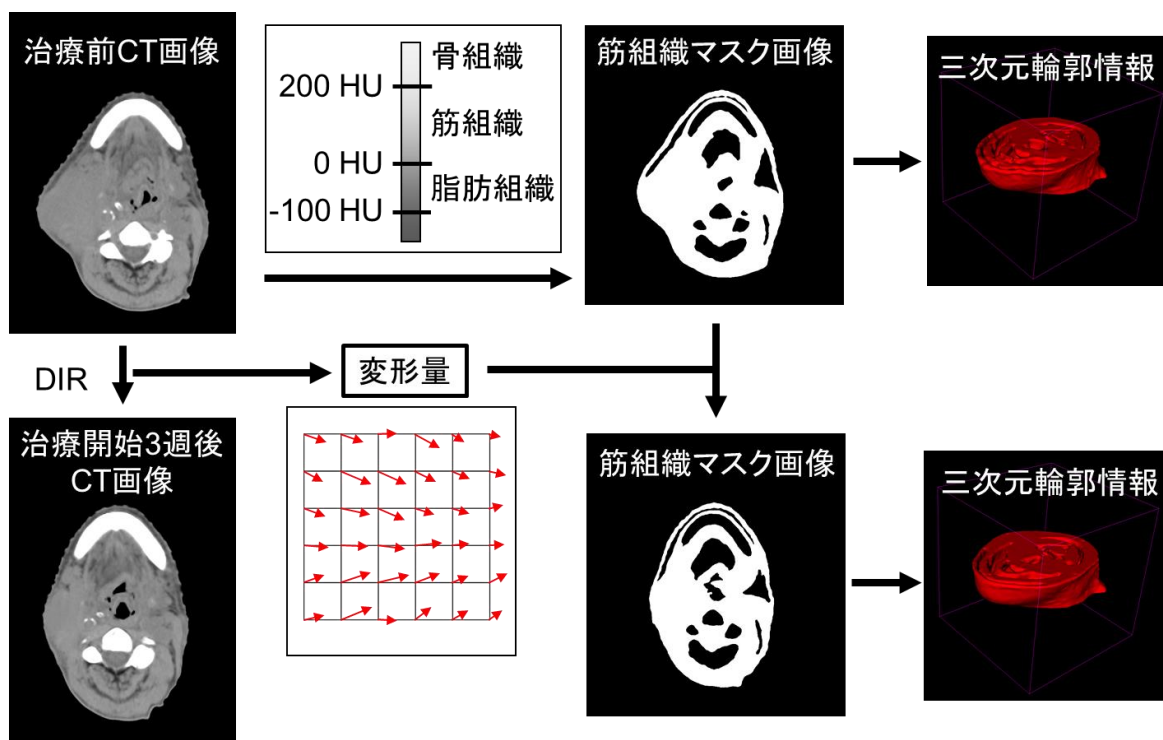


Fig.1 三次元輪郭情報の作成ワークフロー

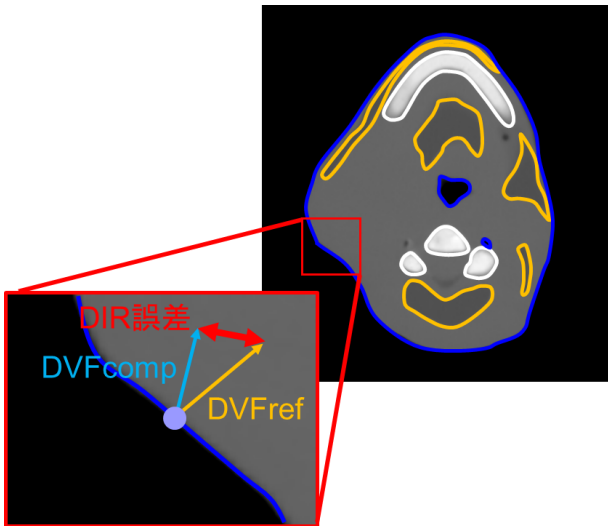


Fig.2 DIR 誤差の評価方法の概要



Fig.3 作成した 3D プリンタファントムの外観

作成した3DプリンタファントムのCT画像をキヤノンメディカルシステムズ社製Aquilion LBを用いて取得した。管電圧は 120kV、管電流は100 mA、再構成スライス厚は2 mmを用いた。

次に、作成した3Dプリンタファントムを用いてDIR精度の検証を行った。2つの3DプリンタファントムのCT画像にDIRを行い、そのDIR誤差を算出した。DIR誤差の算出法の概要をFig.2に示す。3DプリンタファントムのCT画像に対して閾値処理を行い、-500 HU以上50 HU未満の領域を脂肪組織（図中オレンジ色）、50 HU以上500 HU未満を筋組織（図中青色）、500 HU以上を骨組織（図中白色）として抽出した。これらの輪郭の表面における点でDIR誤差の評価を行った。ある点におけるDIR誤差は、3Dプリンタ作成時に使用した変形ベクトル（DVFref）と3DプリンタファントムのCT画像のDIRから得られた変形ベクトル（DVFcomp）の差分により評価した。脂肪組織、筋組織、骨組織の輪郭表面の点を0.5 mmおきに抽出し、組織毎にDIR誤差の評価を行った。

【結果】

作成した3Dプリンタファントムの外観をFig.3に示す。3Dプリンタファントムの出力精度は0.1 mm以内であり、入力した三次元輪郭の形状を良好に再現した。ファントム上の脂肪組織、筋組織、骨組織の平均CT値はそれぞれ12 HU、115 HU、896 HUであった。DIR誤差（Mean±SD）は脂肪組織で 2.43 ± 1.31 mm、筋組織で 2.67 ± 1.75 、骨組織で 1.92 ± 1.32 mmであった。

【考察】

Mencarelliらの報告²⁾によると、頭頸部におけるDIR誤差の平均値は正常組織で2.2 mm、腫瘍組織で3.3 mmであったと報告されており、本研究のDIR誤差はそれと同程度であった。また、骨組織に関してはCT値も高く領域の境界も明瞭であるため、その他の組織と比べDIR誤差が小さかったと考えられる。本研究の手法は同一のファントムを用いて他施設でも精度検証が可能であるため、ファントムを各施設へ郵送することで各施設のCT装置や撮像条件の違いを反映したDIR精度検証を行うことができると考えられる。

【結論】

3Dプリンタによって作製したファントムを用いてDIRの患者個別精度検証が可能であった。更に、本研究の手法により施設間のDIR誤差の違いを評価することも可能であると考えられる。

【参考文献・図書】

- 1) N. Kadoya, Y. Nakajima, M. Saito, et al. : Multi-institutional Validation Study of Commercially Available Deformable Image Registration Software for Thoracic Images. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 96, 422-431, 2016
- 2) A. Mencarelli, SR van Kranen, O Hamming-Vrieeze, et al. : Deformable image registration for adaptive radiation therapy of head and neck cancer: accuracy and precision in the presence of tumor changes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 90, 680-687, 2014