

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：82606

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K08097

研究課題名(和文) 深層学習によるゲル線量計の三次元測定の実現による追尾照射の線量不確かさの影響評価

研究課題名(英文) Impact of dose uncertainty of tracking irradiation in three-dimensional measurements using a polymer-gel dosimetry with deep learning

研究代表者

橘 英伸 (Hidenobu, Tachibana)

国立研究開発法人国立がん研究センター・東病院・室長

研究者番号：20450215

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：深層学習における高解像度化やノイズ低減(Deep learning - High resolution and Noise reduction, DL-HRNR)の原理および実装は完了したが、優良なデータ収集が得られなかったこと、得ることが難しいことがわかった。今後は、MR撮影のシーケンスを高速シーケンスおよび低雑音シーケンスによって教師データを得ること、また様々な線量分布パターンのゲル線量計のMR撮像を実施し、教師データをより多く取得する必要があると考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層学習が全てを解決できるわけではなく、よい教師データが必要であり、本研究におけるゲル線量計の教師データ取得が難しいことがわかった。MRによるゲル線量計の画像化は歴史が古く、実績が多いため、デファクトスタンダードであり、信頼性も高いが、利便性の観点からすると、別のモダリティへのシフトが必要であると言える。

研究成果の概要(英文)：The principles and implementation of deep learning for high resolution and noise reduction (DL-HRNR) have been completed, but it has been discovered that obtaining high-quality data is difficult and challenging. In the future, it is believed that obtaining training data for DL-HRNR can be achieved through high-speed sequences and low-noise sequences in MR imaging. Additionally, conducting MR imaging of gel dosimeters with various dose distribution patterns will be necessary to obtain a larger amount of training data.

研究分野：放射線治療医学物理学

キーワード：ゲル線量計 深層学習 放射線治療 MR

### 1. 研究開始当初の背景

呼吸性移動を伴う腫瘍への強度変調放射線治療 ( Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT) では医師が承認した治療計画時の線量分布と実際の線量分布が一部ではなく全体的 (三次元的) に異なり、量 (線量差) も異なるということである。回転照射の IMRT である Volumetric-Modulated Arc Therapy ( VMAT) の四次元線量計算を実施し、治療計画時と実際の治療時 (シミュレーション) の線量分布を比較したものを図 1 に示す。その結果は計画線量分布に対して高くなっている領域や低くなっている領域が広く存在し、また局所的に差が大きくなっている領域が存在した。さらに、この異なりは呼吸移動量や腫瘍体積によって変化した。この結果は患者毎の治療精度に不確かさが存在していることを示し、この不確かさは腫瘍制御率の低下や副作用発生率の増加に影響している可能性があるということである。したがって、この影響を明確にするには患者毎に治療前の品質保証が必要であり、さらに三次元的に測定できる測定器が必要である。現在、X 線の二次元測定器として利用されているものは二次元の配列型検出器を 2 枚交差して挿入しているもの ( 図 2 a) や 1 枚を円形に取り巻くようにしているもの ( 図 2 b) で、実際は擬似的三次元検出器であり、Dead space ( 測定不可領域) が存在する。

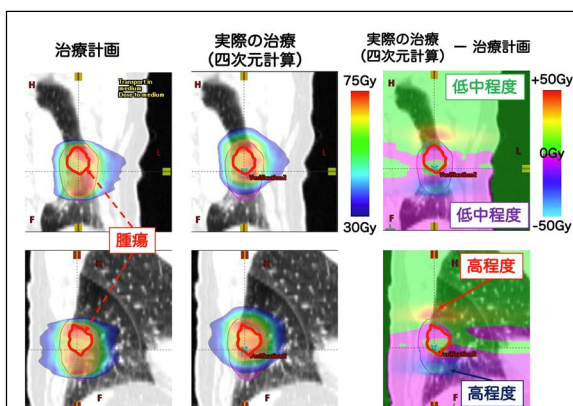


図1 肺癌 VMAT の治療計画に対する実際の治療時 (四次元計算によるシミュレーション) の線量分布比較

本研究ではゲル線量計に注目した。ゲル線量計は、Dead space は存在せず、すべての領域が測定可能領域である ( 図 2 )。一方、この測定可能域の線量値を可視化するには MR ( Magnetic Resonance ) 装置が現状必須である。また、取得する画像の要件としてゲル線量計の測定精度の面から高画質で高解像度である必要があることから、複数の二次元断面から構成される三次元の画像化をするためには数時間以上の撮像時間が必要である ( 図 4 上 )。これは臨床や研究でも許容できるレベルではない。これは臨床利用されている検出器の測定結果取得時間と比較すると非常に長く、ゲル線量計を臨床で利用しない要因の一つとなっている。また、研究での実際のゲル線量計の利用方法は必要な二次元断面を 1 断面任意に選択しているのが実際である。この任意面の選択は長所であるが、ゲル線量計の潜在能力を最大限まで生かしていない上、様々な領域の線量分布の差を検証することができない。



図2 汎用擬似三次元測定装置とゲル線量計の比較 (赤の点および領域が測定可能部分、黒が Dead space)

### 2. 研究の目的

本研究では呼吸移動を伴う腫瘍への強度変調放射線治療の患者毎の治療精度を治療前に明確化するため、実際の臨床および研究でゲル線量計を「三次元測定器」として利用することを実現することを目的とし、研究開発を行う。そのために深層学習を応用して、短時間撮像の MR 画像から長時間で撮影した MR 画像と同レベルの画像を生成する技術を開発・実装する。そして、その方法の有効性を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究では、1) 2020 年度は深層学習における高解像度化やノイズ低減 ( Deep learning - High resolution and Noise reduction, DL-HRNR ) の開発と実装、2) 2021 年度は実装した DL-HRNR の学習と評価、3) 2022 年度は肺癌患者データの抽出・利用によるゲル線量計および短時間撮像 MR 画像 + DL-HRNR の臨床的有効性の検証や三次元実測線量測定から得られた結果を生物モデルに考慮させ実際の治療への影響の評価とした。

### 4. 研究成果

2020 年度は深層学習における高解像度化やノイズ低減 ( Deep learning - High resolution and Noise reduction, DL-HRNR ) の開発と実装であり、DL-HRNR の開発 および実装を行った。このアルゴリズムのベースは Han らの報告を参考に実施する。Han らは診断で利用する MR 画像の高解像度化およびノイズ低減に成功している。本研究の核となる深層学習のプログラムを外部委託

し、意図通りに開発が完了したことを確認した。2021 年度は DL-HRNR の学習用のデータ取得であり、研究用 MR の利用について困難さがあるが複数のデータを取得できた。2022 年度はこれらのデータをプログラムに入力し、DL-HRNR による高解像化とノイズ低減を実施した。その結果、データパターンが少ないこと、ノイズ低減を測った実際の MR 画像の SN が大幅な向上が図れなかったことから、期待した効果は得られなかった。以上から、DL-HRNR 技術の原理および実装は完了したが、優良なデータ収集が得られなかったこと、得ることが難しいことがわかった。今後は、MR 撮影のシーケンスを高速シーケンスおよび低雑音シーケンスによって教師データを得ること、また様々な線量分布パターンのゲル線量計の MR 撮像を実施し、教師データをより多く取得する必要があると考える。また、MR ではなく CT を利用し、教師データを得やすくするよう新たな画像がモダリティないし新たなゲル線量計の開発が必要であると言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tachibana Hidenobu, Watanabe Yusuke, Mizukami Shinya, Maeyama Takuya, Terazaki Tsuyoshi, Uehara Ryuzo, Akimoto Tetsuo	4. 巻 19
2. 論文標題 End-to-end delivery quality assurance of computed tomography?based high-dose-rate brachytherapy using a gel dosimeter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Brachytherapy	6. 最初と最後の頁 362 ~ 371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.brachy.2020.02.002	査読の有無 無
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 Tachibana Hidenobu, Watanabe Yusuke, Kurokawa Shogo, et al	4. 巻 21
2. 論文標題 Multi-Institutional Study of End-to-End Dose Delivery Quality Assurance Testing for Image-Guided Brachytherapy Using a Gel Dosimeter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brachytherapy	6. 最初と最後の頁 956 ~ 967
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.brachy.2022.06.006	査読の有無 無
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 Watanabe Yusuke, Maeyama Takuya, Mizukami Shinya, Tachibana Hidenobu, Terazaki Tsuyoshi, Takei Hideyuki, Muraishi Hiroshi, Gomi Tsutomu, Hayashi Shin-ichiro	4. 巻 63
2. 論文標題 Verification of dose distribution in high dose-rate brachytherapy for cervical cancer using a normoxic <i>N</i>-vinylpyrrolidone polymer gel dosimeter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 838 ~ 848
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jrr/rrac053	査読の有無 無
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0件

〔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
---------	---------