

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26670301

研究課題名(和文) モバイルガンマカメラを用いて腔内照射中の形態画像上4次元線量分布の可視化に挑む

研究課題名(英文) A challenge of real-time visualization of four-dimensional dose distributions on morphological images for intracavitary brachytherapy using a mobile gamma camera

研究代表者

有村 秀孝 (Arimura, Hidetaka)

九州大学・医学研究院・教授

研究者番号：20287353

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はモバイルガンマカメラ(MGC)を用いて腔内照射中の形態画像上4次元線量分布を可視化する方法の基礎的事項について研究することである。モンテカルロシミュレーションを用いて子宮頸がん腔内照射の構築を行い、臨床のCT画像と水ファントムとの線量分布を比較した結果、 applicator の周りで線量分布に誤差があることを発見した。また、MGCを用いて腔内照射中における患者体内情報を可視化する方法を考案した。さらに、毎回の治療の間での位置変位に関して2次元より3次元治療計画の方が計画評価線量指標に与える影響が小さいことを示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to research a novel approach for real-time visualization of four-dimensional dose distributions on morphological images for intracavitary brachytherapy using a mobile gamma camera (MGC). We designed a geometry of ICBT of cervical cancer using a Monte Carlo simulation, and calculated two dose distributions in a clinical computed tomography image and water phantom. As the results, we found that there were discrepancies between two distributions around the applicator for four treatment fractions. In addition, we developed a novel approach for visualization of in-vivo information on locations of an ^{192}Ir source using the MGC. Further, our results suggested that the three-dimensional adaptive plans are expected to be robust against interfractional location variations in each treatment fraction.

研究分野：医学物理学

キーワード：子宮頸がん 腔内照射 患者体内情報の可視化 モンテカルロシミュレーション

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

1. 研究開始当初の背景

子宮頸がん、食道がんなどに適用されている高線量率小線源治療は、腫瘍と正常組織にとって理想的な線量分布を作成できる優れた治療法である[臨床放射線 2013;58(3):379-405]。本研究課題では小線源治療の中で最も頻繁に適用されている子宮頸がん腔内小線源治療 (intracavitary brachytherapy : ICBT) に焦点を置いた。一般に腔内照射治療では、アプリケータ(線源を入れる管、図1)を挿入後、治療直前に正面と側面のX線写真またはCT(computed tomography)画像を撮像することによってアプリケータの位置を確認している。しかし、患者の動きなどによりアプリケータの位置が20分から30分の照射中に維持されているとは限らない。子宮位置の時間変化の例を図2に示す。臓器変動が大きい場合、照射中の線量分布は全く不確定となり、高線量域は腫瘍に集中せず、正常組織に大きな影響を与える。さらに、腔内照射治療の医療事故の問題があり、2年間で12件も起こっていたという報告もある[J Jpn Soc Ther Radiol Oncol 18: 35-38. 2006]。また、2007年~2013年にかけて100名に対して施行された腔内照射治療で線源の位置が約3cmもずれていたという医療事故が起こっている[2014年7月24日朝日新聞デジタル配信]。これらの原因は、線源の位置を物理的に外部からモニターしない、遠隔操作密封小線源治療システム(RALS)を用いるためであり、投与線量不足、システムの動作不良、操作ミスなどの事故に気付かない場合が多い。つまり、現状の腔内照射治療では、照射中の線源位置、投与線量及び線量分布を形態画像(CT/MR(magnetic resonance)画像)上で確認するシステムは存在せず、医療行為の品質保証と品質管理という観点で、腔内照射

中の品質保証と品質管理が手つかずの状況となっている。

このような背景の中で研究代表者は「モバイルガンマカメラを用いて腔内照射中の形態画像上4次元線量分布の可視化に挑む」(挑戦的萌芽研究(平成26-28年度))を実施した。

2. 研究の目的

本研究の目的はモバイルガンマカメラを用いて腔内照射中の形態画像上4次元線量分布を可視化する方法の基礎的事項について研究することである。

3. 研究の方法

(1) モンテカルロシミュレーションによる子宮頸がん腔内照射の構築と基礎的検討
本研究で用いた症例は、鹿児島大学病院で子宮頸がん腔内照射が適用された患者1名である。腫瘍は扁平上皮癌、ステージ分類はIbであった。治療計画CT画像はSIEMENS製のSomatom Sensationを用いて、スライス厚は2.0mm、マトリックスサイズは512×512、ピクセルサイズは0.97mmの条件で撮影された。また、モンテカルロシミュレーションの実行にはPHITS (particle and ion transport code system, version 2.73)を使用した。ガンマ解析のためのプログラムにはC言語を用いた。本研究は、鹿児島大学病院、九州大学病院において承認されている。

PHITS (Schneiderらは理論に従う)を用いてCT画像を物質密度に変換し、それを患者物理マップと呼んだ。また、比較のため仮想水ファントムも用いた。¹⁹²Ir線源を図1のように設計した。CT画像上で15個の¹⁹²Ir線源の停留位置を臨床のデータに従って決定した。PHITS (particle and ion transport code system)を用いて、患者物

理マップ、仮想水ファントム内で各線源の停留位置において、モンテカルロシミュレーション上でそれぞれ線量計算を行った。そして、三次元ガンマ解析 (3.0 mm/3.0%) を実行し、二つの線量分布を比較した。

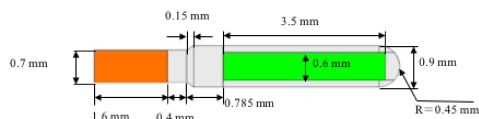


図1 PHITS 上で作成した¹⁹²Ir 線源 .

(2) モバイルガンマカメラの設計

PHTIS を用いてモバイルガンマカメラの設計を行った。特許と関係するため、詳細は省略する。

(3) 腔内照射中における患者体内情報を可視化する方法

モバイルガンマカメラで取得した患者体内からのガンマ線による画像を用いて、線源位置を推定する方法を考案した。特許と関係するため、詳細は省略する。

(4) 臓器・アプリータの治療間位置変動に対する子宮頸がん適応腔内小線源治療の頑強性

子宮頸がん腔内小線源治療における同室 computed tomography (CT) に基づく適応腔内小線源治療計画 (adaptive treatment planning: ATP) が、毎回の治療の間での位置変位すなわち毎回の治療の間での臓器の動きおよび/またはアプリータ変位に対してロバストであるかどうかの影響を検討した。

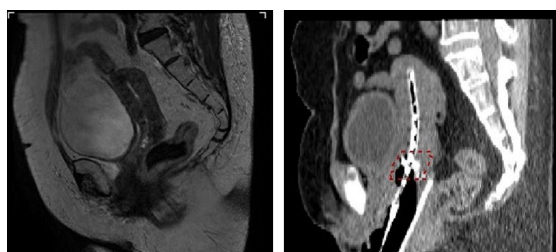


図2 子宮頸がんの ICBT 症例の MR 画像 (左) と CT 画像 (右) .

4 . 研究成果

(1) モンテカルロシミュレーションによる子宮頸がん腔内照射の構築を行った。モンテカルロシミュレーションで子宮頸がんの線量分布計算を実行できることが分かった。次に、臨床の CT 画像と水ファントムとの線量分布の比較の結果、アプリータの周りで線量分布に誤差があることを発見した。またその原因はアプリータの素材であるチタンが原因であることを突き止めた。現在論文執筆中である。

(2) モバイルガンマカメラを用いて腔内照射中における患者体内情報を可視化する方法を考案した。現在、再実験により理論の検証を行っている。この研究も特許出願と論文執筆中である。

(3) 毎回の治療の間での位置変位に関して 2 次元 ATP より 3 次元 ATP の方が計画評価線量指標に与える影響は小さいことを示した(図3)。したがって、3 次元 ATP は、各治療回において毎回の治療の間での位置変位に対してロバストであることが示唆された。

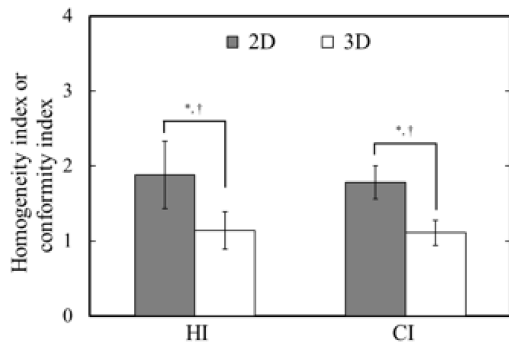


図3 2次元ATPと3次元ATPの均一性指標。

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1件)

- [1] Yoshifumi Oku, Hidetaka Arimura, Tran Thi Thao Nguyen, et al. Investigation of whether in-room CT-based adaptive intracavitary brachytherapy for uterine cervical cancer is robust against inter-fractional location variations of organs and/or applicators. *Journal of Radiation Research* 2016;57(6):677-683.
- [2] Kento Terasaki, Fujibuchi Toshioh, et al. Evaluation of basic characteristics of a semiconductor detector for personal radiation dose monitoring, *Radiological Physics and Technology* 2016. doi:10.1007/s12194-016-0384-z

〔学会発表〕(計8件)

- [1] Tran Thi Thao Nguyen, Hidetaka Arimura, et al. Monte Carlo-based Assessment of Impacts of Heterogeneous Materials on Dose Distributions using Three-dimensional Gamma Analysis in Intracavitary Brachytherapy for Cervical Cancer. In Proc. Medical Physics

International Journal, vol.4, No.2, pp 159, 2016.12.

- [2] Tran Thi Thao Nguyen, Hidetaka Arimura, et al. Monte Carlo Simulations Analysis of Dosimetric Impacts of Titanium Applicator and Tissue Inhomogeneity of Cervical Intracavitary Brachytherapy, In Proc. Japanese Journal of Medical Physics, 2017.
- [3] Yoshifumi Oku, Hidetaka Arimura, et al. Robustness of adaptive intracavitary brachytherapy for uterine cervical cancer against interfractional location variations of organs and/or applicators (Poster), 第112回日本医学物理学会学術大会(沖縄), 2016.09.10.
- [4] Nguyen Tran Thi Thao, Hidetaka Arimura, et al. SU-F-T-62: Three-Dimensional Dosimetric Gamma Analysis for Impacts of Tissue Inhomogeneity Using Monte Carlo Simulation in Intracavitary Brachytherapy for Cervix Carcinoma. In Proc. Medical Physics, vol. 34, No.6, pp 3475, 2016.06.
- [5] Takahiro Iwasaki, Hidetaka Arimura, Tran Thi Thao Nguyen, et al. Analysis of influence of tissue heterogeneity on dose distribution in intracavitary treatment of cervix carcinoma on 3D treatment planning. In Proc. Japanese Journal of Medical Physics, vol.36, sup.1, pp167, 2016.04.
- [6] Tran Thi Thao Nguyen, Hidetaka Arimura, Yoshifumi Oku, Fujibuchi Toshioh, et al. Impact of tissue inhomogeneity on dose distributions in CT-image-based brachytherapy for cervical cancer using Monte Carlo simulation. The 15th

International Congress of Radiation
Research (ICRR), Kyoto, 2015.

- [7] 岩崎 貴大, 有村 秀孝, 他 子宮頸癌
腔内照射の3次元治療計画におけるモ
ンテカルロシミュレーションを用い
た線量分布への組織不均一の影響の
解析, 第10回九州放射線医療技術学
術大会(宮崎), 2015.11.01.
- [8] Yoshifumi Oku, Hidetaka Arimura, et al.
Comparison between 2D and 3D
treatment planning with interfractional
anatomical variations in intracavitary
brachytherapy for cervical cancer. The
7th Korea-Japan Joint Meeting on
Medical Physics (KJMP), Busan,
2014.09.26.

〔図書〕(計1件)

Hidetaka Arimura, "Image-Based
Computer-Assisted Radiation Therapy" Edited
by Hidetaka Arimura, March 4, 2017, Springer,
2017, 381 ページ(1-381).

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: ピンホールガンマカメラを用いた子
宮頸癌腔内照射イリジウム線源位置の画像
化システム(大学へ届出を行った)

発明者: 有村秀孝、岩崎貴大

権利者: 未出願

種類: 発明

番号: K2016-0158(九州大学での番号)

出願年月日: 未出願

国内外の別: 未出願

〔その他〕

有村研究室のホームページ

[http://web.shs.kyushu-u.ac.jp/~arimura
/research-1/pg125.html](http://web.shs.kyushu-u.ac.jp/~arimura/research-1/pg125.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有村 秀孝 (ARIMURA, Hidetaka)

九州大学・医学研究院・教授

研究者番号: 20287353

(2) 研究分担者

藤淵 俊王 (FUJIBUCHI, Toshiou)

九州大学・医学研究院・准教授

研究者番号: 20375843