

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



令和 元 年 6 月 21 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01405

研究課題名(和文) 治療用高エネルギーX線を利用した体内線量リアルタイムモニタリングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of real-time in vivo dose monitoring system using high energy therapeutic photons

研究代表者

武居 秀行 (Takei, Hideyuki)

筑波大学・医学医療系・助教

研究者番号：20645452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000 円

研究成果の概要(和文)：放射線治療の成功には、標的への線量集中性を高め、正常組織への投与線量を最小限に抑えることが重要であるが、治療中に患者の位置ずれがあった場合には計画通りの線量が投与されない可能性がある。本研究では、X線を二次元画像に変換することが可能な Electronic Portal Imaging Device を利用して体内を透過したX線を取得し、体内線量を測定するシステムを開発した。人体等価ファントムでシステムの検証を行い、測定精度は軟部組織で2%以内、肺内部で5%以内であった。研究成果は、2017年と2018年に国際学会で発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線治療中に投与された体内線量を検証するシステムを開発した。治療計画通りに線量が投与されていることを確認し、位置ずれなどにより正しく線量投与されていない場合には、治療期間中に対策を講じることが可能となるため治療成績の向上が期待できる。本システムは、既に一般的な施設に広く使用されている装置を活用するため、新たに装置を導入する必要がない。この装置は体外で使用するものであるため侵襲性がなく、被ばく量が増えることもないため普及への支障が少ない。

研究成果の概要(英文)：In vivo dose verification during radiation therapy is necessary to confirm that the beam is irradiated as planned. This study developed a tool for in vivo dosimetry during a photon therapy using electronic portal imaging device (EPID) with high accuracy. A primary photon beam was reconstructed from an EPID image and the dose distribution in a phantom was calculated using Monte Carlo simulation. The calculated dose agreed with the measured dose within 2% and 5% in the soft tissue and in the center of the lung, respectively.

研究分野：医学物理学

キーワード：放射線治療 X線 線量分布検証 EPID 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

放射線治療は、近年の照射技術の発展に伴い、標的への線量集中性を向上させながら正常組織への投与線量を最小限に抑えることが可能となっている。一方で、患者の位置照合には高い精度が要求される。照射前に画像誘導により患者の位置照合を行うが、治療中に位置ずれがあった場合は計画の線量が投与されない可能性がある。現状では、実際に投与された線量の検証は行われていない。

## 2．研究の目的

X線を二次元画像に変換することが可能な Electronic Portal Imaging Device（EPID）を利用して体内を透過したX線を取得し、高精度かつ簡便に体内線量を検証するシステムを開発する。

## 3．研究の方法

水等価、骨等価および肺等価ファントムを組み合わせた不均質ファントムを作成し、内部に線量測定用フィルム GAFCHROMIC EBT3（Ashland）を設置した。治療用X線発生装置 Trilogy（Varian）の6 MV および10 MV X線を照射し、装置に装着されたEPID（Portal Vision aS1000, Varian）によりEPID画像を取得した。EPID画像から患者に入射する一次X線を再構成し、ファントム内の三次元線量分布をモンテカルロシミュレーション（MC）で計算した（図1）。MCはGeant4.9.6を用い、治療計画用に撮影したCT画像を取り込んでCTボクセルごとに吸収線量を計算した。計算時間短縮のため並列計算ソフトウェアHTCondorにより42コアのクラスタ上で計算した。計算された線量分布をフィルムによる測定値と比較し、精度検証を行った。

不均質ファントムで精度検証を行った後は、人体の構造に近い胸部ファントム002LFC（CIRS）を用いた。胸部ファントムは人体の肺と軟部組織の密度と形状を模したものである。不均質ファントムと同様に、胸部ファントム内にフィルムを設置し、肺の中心に照射野中心を置いてX線を照射した。システムによる計算結果をフィルムの測定結果および治療計画装置Xio（Elekta）の線量分布と比較し、精度検証を行った。

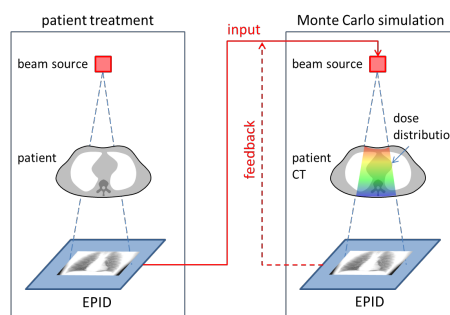


図1 EPIDを用いた線量分布再構成の方法。

## 4．研究成果

不均質ファントムでは、水等価、骨等価および肺等価の部分で3%以内の精度で測定値と一致した。線量差と位置誤差を総合評価するため解析を実施し、pass率はすべての領域において95%以上であった。胸部ファントムでは、軟部組織で3%、肺の中心部で5%以内の精度で測定値と一致していた（図2）。肺の尾側付近では、軟部組織との境界面の影響で7%のずれがあった。これは境界面での計算精度に加え、フィルムの自己吸収による測定誤差に起因すると考えられる。治療計画では、システムによる計算や測定で見られた境界面での線量変化は再現されていなかった。システム上でシミュレートしたEPID画像のピクセル値は、3%以内の精度で実際に取得したEPID画像と一致していた（図3）。本研究で構築した手法で、臨床的に使用し得る精度で投与された体内線量の検証が可能であった。

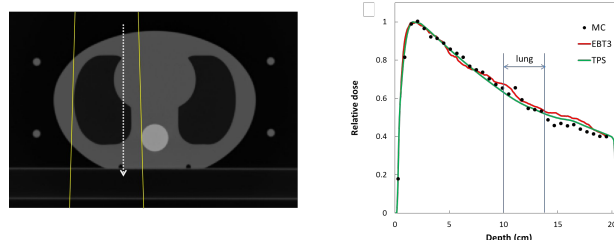


図2 胸部ファントムに照射したX線（左）と深部線量分布（右）

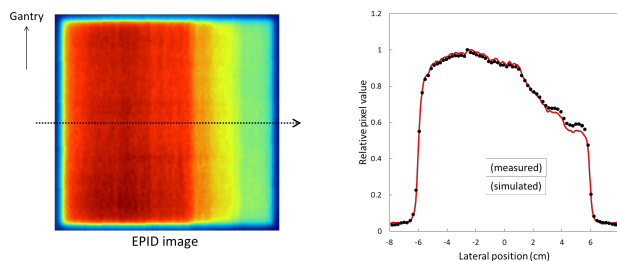


図3 システム上でシミュレートしたEPID画像（左）と実際のEPID画像との比較（右）

計算時間は、42コアの並列計算とすることで、単一のCPUを使用した場合に比べて計算速度がおよそ10～15倍に向上した。しかし、リアルタイムで検証結果を得るには、コア数の増加やアルゴリズムの最適化などによりさらなる速度向上が必要である。

## <引用文献>

Takei H, Watanabe Y, Isobe T et al.: Japanese Journal of Medical Physics Vol. 33 Supplement No. 3, 134, 2013.

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 2 件)

Takei H, Isobe T, Watanabe Y, Hasegawa T, Sato E, Hara H, Muraishi H, Sakae T: Development of Accurate EPID in Vivo Dosimetry for Photon Therapy. Medical Physics 45(6) pp.E278-E278, 2018. 査読なし

Takei H, Isobe T, Watanabe Y, Hasegawa T, Sato E, Hara H, Muraishi H, Sakae T: Energy response correction for EPID dosimetry in photon therapy. Physica Medica 42 pp.27-27, 2017. 査読なし

### 〔学会発表〕(計 2 件)

Takei H, Isobe T, Watanabe Y, Hasegawa T, Sato E, Hara H, Muraishi H, Sakae T: Development of Accurate EPID in Vivo Dosimetry for Photon Therapy. 60th Annual Meeting of the American Association of Physicists in Medicine, 2018/07/29 - 2018/08/02.

Takei H, Isobe T, Watanabe Y, Hasegawa T, Sato E, Hara H, Muraishi H, Sakae T: Energy response correction for EPID dosimetry in photon therapy. International Conference on Monte Carlo Techniques for Medical Applications 2017, 2017/10/15 - 2017/10/18.

### 〔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：櫻井 英幸

ローマ字氏名：Sakurai Hideyuki

所属研究機関名：筑波大学

部局名：医学医療系

職名：教授

研究者番号 (8桁): 50235222

研究分担者氏名：榮 武二

ローマ字氏名：Sakae Takeji

所属研究機関名：筑波大学

部局名：医学医療系

職名：教授  
研究者番号（８桁）：60162278

研究分担者氏名：磯辺 智範  
ローマ字氏名：Isobe Tomonori  
所属研究機関名：筑波大学  
部局名：医学医療系

職名：教授  
研究者番号（８桁）：70383643

研究分担者氏名：渡邊 祐介  
ローマ字氏名：Watanabe Yusuke  
所属研究機関名：北里大学  
部局名：医療衛生学部  
職名：助教  
研究者番号（８桁）：90582742

(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。