

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 30 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25861125

研究課題名(和文) EPIDとモンテカルロシミュレーションを利用した体内線量分布再構成

研究課題名(英文) In-vivo dose reconstruction using EPID and Monte Carlo simulation

## 研究代表者

武居 秀行 (Takei, Hideyuki)

筑波大学・附属病院・病院講師

研究者番号：20645452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：患者の位置確認に一般的に用いられるX線画像化装置Electronic Portal Imaging Device (EPID)を線量測定ツールとして活用し、治療中の患者体内の線量分布を簡便にリアルタイムで評価することを目的とした。模擬人体に治療用X線を照射し、X線が体内を透過してEPIDに到達し画像を構成するまでの全過程をモンテカルロシミュレーションで再現し、模擬人体内の線量分布を計算した。実測線量との比較検証の結果、誤差が3%以内と高い精度で線量を評価できた。

研究成果をEuropean Congress of Radiologyおよび日本医学物理学学会学術大会等で発表した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to devise a new system that reconstructs the real-time dose distribution inside patients to evaluate an accuracy of the photon therapy. We used an Electronic Portal Imaging Device (EPID) and Monte Carlo simulation (MC) for dose reconstruction. The therapeutic photons were irradiated to a phantom that simulated human body. The MC calculated all the photon process such as entering and being absorbed inside the phantom, and the formation of the EPID image. The reconstructed dose distributions were compared to the measurement. They agreed well with the measurements within 3%. The results suggested that our system reconstructed the dose distribution accurately.

Those achievement were reported at The 107th Meeting of Japan Society of Medical Physics and The 7th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics.

研究分野：医学物理学

キーワード：放射線治療 X線 モンテカルロシミュレーション 線量計算

1. 研究開始当初の背景

放射線治療の成功には標的への線量集中度を高め、正常組織への線量投与を最小限に抑制することが重要である。それを達成するためには、治療計画と実際に照射された照射位置および投与線量の照合が必要となる。現在、治療中の照射位置照合は行われているが、正確な投与線量の確認は出来ていない。

2. 研究の目的

X線治療において、位置照合を行うため Electronic Portal Imaging Device (EPID) が一般的に使用される。EPID で撮影された画像に着目し、そのデータを利用した、新たな体内投与線量の検証ツールとなる三次元体内線量分布再構成システムを開発することを目的とした。EPID は一般的に広く普及しており、新たな設備が必要ない。人体透過後の治療用 X 線を画像化するため、画像取得のための追加照射が必要なく、被曝量が増加することはない。治療ごとの体内線量分布を把握することで照射精度が確認でき、計画変更の際には前回までの照射歴を反映させて治療計画の作成を行うことができる。

3. 研究の方法

体内線量分布再構成システムの開発と人体等価組成ファントムによるシステムの精度検証を行った。

システムの開発：モンテカルロシミュレーションを用い、体内の複雑な組織構造を考慮することで体内の線量分布を再構成できるシステムを開発した。

システム精度検証：人体等価組成ファントムで精度検証を行った。

EPID 画像から線量分布を再構成する手順は以下の3つのステップからなる (Figure 1)。

1. デジタルピクセル値である EPID 画像データを電離箱線量計の測定値との関係から線量画像へ変換する。

2. 線量画像は一次線と散乱線成分により画像が形成されている (Figure 2)。モンテカルロシミュレーション (MC) により各ピクセルごとに取得した散乱成分を除くことで、人体通過後の一次線による画像を算出する。これにより、人体の不均質部の通過による一次線減弱と散乱線の影響を反映させる。

3. 一次線の人体の通過前後の関係から入射 X 線強度分布を補正し、MC により三次元体内線量分布を算出する。

放射線治療装置 Trilogy (Varian) を用いて EPID に 6 MV の X 線を照射し、同じ条件で電離箱線量に照射したときの線量と EPID 画像のピクセル値を比較した。この関係から EPID 画像から線量画像へ変換するための変換係数を求めた。

EPID は、内臓する金属板と X 線との相互作用により生じる二次電子を画像化する。入射する X 線のエネルギーによって金属板との相互作用の頻度が異なるため、それに応じて

EPID の応答も変化する。X 線のエネルギーは透過した物質の厚さや材質によって変化するので、これらの条件を考慮に入れた EPID の応答を知る必要がある。システムの開発にあたり、EPID 画像から線量に正しく変換するため、様々な条件での EPID の応答を調べた。

EPID の構造上、EPID 本体および EPID を支えるアームから散乱線が発生しており、画像に影響を与える。MC を用いて散乱線の影響を調べ、取得した EPID 画像から散乱線を除去する機能を作成した。

本システムの特徴は、線量計算に MC を使用していることである。MC は、放射線治療で一般的に使用される実測ベースの線量計算法よりも物質の吸収線量を高い精度で計算することができるほか、X 線が物質を透過した際のエネルギーの変化を正確に再現できる。ただし、計算時間が長いのが弱点であり、臨床利用には向いていないとされている。この弱点を克服するため、並列計算用ソフト HTCondor version 8.1.4 を用いて複数台のコンピュータからなる計算クラスターを構築し、並列計算を行うことで計算速度を約 10~15 倍と大幅に向上させた。MC は Geant4. 9.6 patch02 を用いた。

システム精度検証のための不均質ファントムを作成した。人体を想定したファントムとするため、市販の IMRT 検証用ファントム RT-3000-New (R-TECH) の中心部を加工し、骨等価および肺等価物質と水等価物質を組み合わせた不均質物質とした (Figure 3)。

ファントム内の再構成線量分布は GAFCHROMIC Film (以下フィルム) による測定値と比較した。放射線治療装置 Trilogy (Varian) を用いて不均質ファントムに照射した。照射条件を Table 1 に示す。照射中に EPID 画像を取得し、本システムでファントム内の線量分布再構成を行った。フィルムで線量分布を測定し、中心軸における深部線量曲線 (深さ 4-16 cm) と 5 cm 深、10 cm 深、15 cm 深における線量プロファイル、アイソセクタを含む横断面 (深さ 4-16 cm) における  $\gamma$  解析による pass 率で評価を行った。

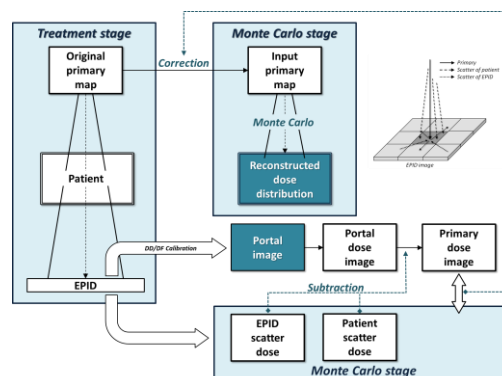


Figure 1 線量分布再構成の手順

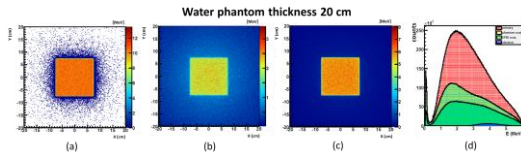


Figure 2 EPID 画像を (a) 一次線、(b) EPID 上での散乱線、(c) ファントムでの散乱線の各成分ごとに分離した。(d) 厚さ 20 cm の水等価ファントム上でのエネルギースペクトル。

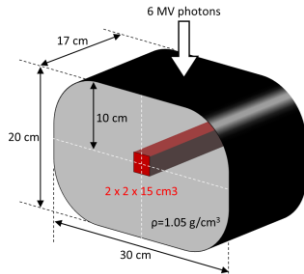


Figure 3 不均質ファントム。中心部は骨等価または肺等価ファントム、周囲は水等価ファントムとした。

Table 1 照射条件

Photon energy	6 MV photons
Dose rate	300 MU/min
Field size	10 x 10 cm <sup>2</sup> (15 x 15 cm <sup>2</sup> at detector)
Monitor Unit	200 MU
STD (SDD)	100 cm (150 cm)
Gantry angle	0°

#### 4. 研究成果

再構成した線量分布とフィルムによる測定値の比較結果を示す。5 cm 深で正規化した中心軸の深部線量曲線 (Figure 4) は、不均質部境界面および肺等価ファントム内で誤差が認められたが、それ以外では、±3%以内の精度で一致した。肺等価ファントム内については、フィルムの自己吸収による線量の増加が考えられる。Lateral 方向の 5cm 深、10cm 深、15cm 深における軸外線量プロファイル (5 cm 深ビーム中心にて正規化) を Figure 5 に示す。ペナンプラ領域を除く範囲では±3%以内の精度でよく一致した。

アイソセンタにおける横断面の線量分布の $\gamma$ 解析 (distance to agreement (DTA) 3 mm、dose difference (DD) 3%、解析対象は最大線量の 30~100%の線量域) の結果を Figure 6 に示す。Film による測定値と再構成線量分布との pass 率は水等価ファントム 95.62%、肺等価ファントムで 95.52%、そして骨等価ファントムで 95.84% であった。これは臨床利用を行うのに十分な精度であり、治療において照射部位や周囲の正常組織の線量を簡便かつ正確に再構成できるシステムの開発に成功した。

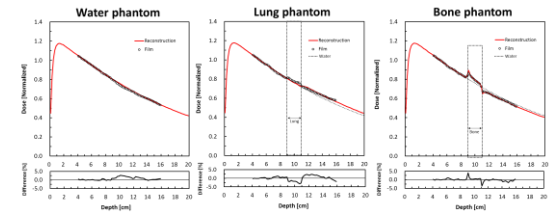


Figure 4 5 cm 深で正規化した中心軸の深部線量曲線。

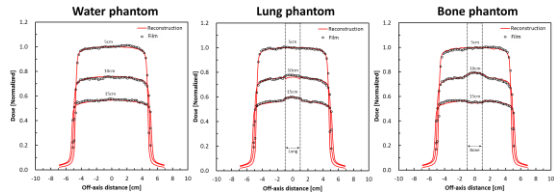


Figure 5 Lateral 方向の 5cm 深、10cm 深、15cm 深における軸外線量プロファイル。ペナンプラ領域を除く範囲では±3%以内の精度でよく一致した。

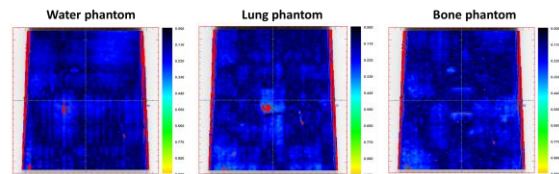


Figure 6 アイソセンタにおける横断面の線量分布の $\gamma$ 解析の結果。pass 率は水等価ファントム 95.62%、肺等価ファントムで 95.52%、そして骨等価ファントムで 95.84% であった。

#### 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 0 件)

〔学会発表〕 (計 4 件)

① Y. Watanabe, H. Takei, T. Isobe, K. Takada, E. Sato, N. Shuto, S. Noda, K. Yogo, K. Hayakawa: EPID Response to the Energy Spectrum Changes to Human Body Transmission. The 14th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, 23-25 October, 2014, Ho Chi Minh (Vietnam).

② H. Takei, Y. Watanabe, T. Isobe, K. Takada, E. Sato, H. Hara, H. Muraishi, T. Hasegawa: Contribution of scattered photon to EPID image in photon therapy. The 7th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, 25-27 September, 2014, Busan (Korea).

③ H. Takei, Y. Watanabe, T. Isobe, K. Takada, N. Shigematsu, E. Sato, H. Hara, H. Muraishi, T. Hasegawa: Response of electric portal imaging device to energy spectrum of therapeutic photons. European Congress of Radiology 2014, 6-10 March,

2014, Vienna (Austria).

④武居秀行, 渡邊祐介, 工藤寛子, 高田健太, 佐藤英介, 浅井博之, 秋田峻吾, 原秀剛, 村石浩, 磯部智範: EPIDとモンテカルロシミュレーションを用いたファントム内の線量分布再構成. 第106回日本医学物理学会学術大会, 2013年9月16-18日, 大阪大学コンベンションセンター(大阪府吹田市).

[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:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

武居 秀行 (Takei, Hideyuki)  
筑波大学・附属病院・病院講師  
研究者番号: 20645452

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし