

令和 3 年 6 月 30 日現在

機関番号：84703

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K15801

研究課題名（和文）患者個人生涯医療被ばく線量計算システムの基盤開発

研究課題名（英文）Development of kV X-ray imaging dose calculation system

研究代表者

石原 佳知 (Ishihara, Yoshitomo)

日本赤十字社和歌山医療センター（臨床研究センター）・放射線治療科部・医学物理課長補佐

研究者番号：60709351

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：X線撮影検査、核医学検査、血管造影検査、放射線治療など医療分野において放射線は必要不可欠なものとなっている。MV-X線を使用する放射線治療においては事前に患者体内のどの部位に、どの程度、放射線が投与されているか定量的な線量計算を行う。しかし、診断領域においては低エネルギーkV-X線が使用され、被ばく線量低減のための工夫は施されているが、患者体内の線量計算システムが存在せず、定量的な線量計算を行っていない。本研究ではkV-X線を用いた医療放射線検査全てに対応した患者個人の生涯医療被ばく線量を計算するシステムの基盤開発を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線治療に用いられている線量計算システムの様に、放射線画像検査領域において、患者個人の被ばく線量を定量的に計算する環境は現在存在しない。そのため、装置からの出力、患者体表の線量計の値を使用することにより管理を行っているのが現状である。本システムの開発により放射線画像検査、核医学検査、血管造影検査における患者個人に対する医療被ばく線量の算出が可能となる。

医療施設側においても、体内被ばく線量見える化により、放射線検査、放射線治療計画の最適化が可能となり、被ばく線量低減や有害事象低減に向けて具体的な数値データを根拠に貢献可能となる。

研究成果の概要（英文）：Radiation is essential for medical field such as radiography, nuclear medicine and interventional radiotherapy. Generally, we calculate patient dose distribution before radiotherapy using MV X-ray. But, it is not generally to calculate patient dose distribution in the radiodiagnosis field. In this study, we developed kV X-ray imaging dose calculation system.

研究分野：医学物理

キーワード：被ばく線量計算 線量計算 モンテカルロ法

1. 研究開始当初の背景

現在、医療分野において X 線画像検査、核医学検査、血管造影検査、放射線治療など放射線技術は必要不可欠なものとなっており検査数は年々増加している。それに伴い、低線量被ばくの増加が世界的に懸念されている。MV-X 線を使用する放射線治療においては事前に患者体内のどの部位に、どの程度、放射線が投与されているか定量的な線量計算を行う。一方、X 線画像検査、核医学検査、血管造影検査では主にエネルギーの低い kV-X 線が使用される。被ばく線量低減のための工夫は施されており、装置からどの程度の放射線が出力されたかを測定する機能はあるが、肝心の患者体内の正確な被ばく線量は計算自体行われない。

医療被ばく情報研究ネットワーク、及び、関連 12 学会より診断領域(kV-X 線)における被ばく線量参考レベルが平成 27 年 6 月に制定された。この報告においても患者体表一部のピンポイント線量や核医学検査の放射性薬剤投与量による規程のみであり、どの部位にどれだけ線量が投与されているのかは考慮に入られていない。そもそも、患者個人の体内被ばく線量を計算するシステム自体存在しないため、定量的な評価は不十分である。

2. 研究の目的

本研究では前述の研究背景の問題を解決するために kV-X 線を用いた医療放射線検査全てに対応した患者個人の生涯医療被ばく線量を計算するシステムの基盤開発を行う。

3. 研究の方法

システム開発においては放射線輸送分野で精度及び有用性が確立されている、汎用モンテカルロコード EGSnrc を用いる。モンテカルロ法は現存する放射線シミュレーションアルゴリズムの中において最も正確であるが、計算時間が長いという欠点が存在する。本研究において線量計算は精度維持のため近似技術を一切使用せず、スーパーコンピュータと並列計算処理のみを用いて計算精度を担保しつつ高速化を行う。

線量計算を行うためには、装置から出力された X 線源データ、照射範囲、患者 CT データが必須となる。開発項目ごとにこれらの必須データを取得し、これまで申請者が構築した「放射線治療領域における高精度四次元線量計算システム」をベースとして効率の良い開発を行う。

開発項目は下記の四項目となる。

- (A) 放射線画像検査における被ばく線量計算システムの開発
- (B) 核医学検査における被ばく線量計算システムの開発
- (C) 血管造影、画像下治療における被ばく線量計算システムの開発
- (D) 医療被ばく線量合算システムの開発

- (A) 放射線画像検査における被ばく線量計算システムの開発
- (C) 血管造影、画像下治療における被ばく線量計算システムの開発

照射装置は多岐にわたり、数 100 種類以上ある機種ごとに X 線管球モデルを構築するのは現実的ではない。そのため、X 線源データは照射装置の固有の過、管電圧より精度の確立された理論式を用いて算出可能なスペクトル情報を用いる。これにより、他施設においても少ない情報で正確な X 線源情報が取得可能となる。

次に、照射範囲に関しては DICOM 画像より取得を行う。患者データは検査直近の CT データを用いることにより線量計算を行う。患者体内構造を大きく変形させ複雑な体位を必要とするマンモグラフィーなどの一部の一般撮影検査においては対応不可であるが、大半の一般撮影検査、CT 検査、血管造影検査においては本手法により線量計算が可能となる。

複数台の一般 X 線撮影装置、CT 撮影装置、血管造影装置において構築したモデルと実測との精度検証をファントムで行い、その後、臨床症例を用いてシステムとしての有用性を示す。

- (B) 核医学検査における被ばく線量計算システムの開発

近年の核医学検査装置は全て CT 撮影装置と組み合わさった構造であり、患者 CT データは容易に取得可能である。X 線源データは投与した薬剤となる。しかし、一般撮影検査、CT、血管造影とは異なり、外部からの照射情報などの定量データが存在しない。そのため、本研究では検査画像における薬剤集積箇所の濃度値を線源強度として線量計算を行うことにより定量性の確保を行う。具体的には、薬剤集積濃度に合せてその場から発生する線、消滅放射線を設定し被ばく線量を計算する。

線量計算モデル開発後、ファントムを用いて実測との精度検証を行い、その後、臨床症例を用いてシステムとしての有用性を示す。

(D)医療被ばく線量合算システムの開発

上記(A), (B), (C)のシステムより算出された計算結果を同一尺度において評価するため、非剛体画像位置合わせ技術を用いた線量合算システムの開発を行う。これにより算出された体内被ばく線量を用いることにより、その後の放射線検査、放射線治療計画における被ばく線量低減や有害事象低減に向けて具体的な数値データを根拠に最適化が可能となる。

4. 研究成果

上記研究方法に基づきシステム開発を行った。本システムを用いて kV-X 線による被ばく線量計算を行った結果を図 1 に示す。図 1 の結果より kV-X 線による体内の線量分布図が表示可能となることがわかった。また、線量分布だけではなくどの部位にどの程度、線量が集中しているかを線量体積ヒストグラムにより評価を行った(図 2)。これにより各臓器への被ばく線量を定量的に評価できる。

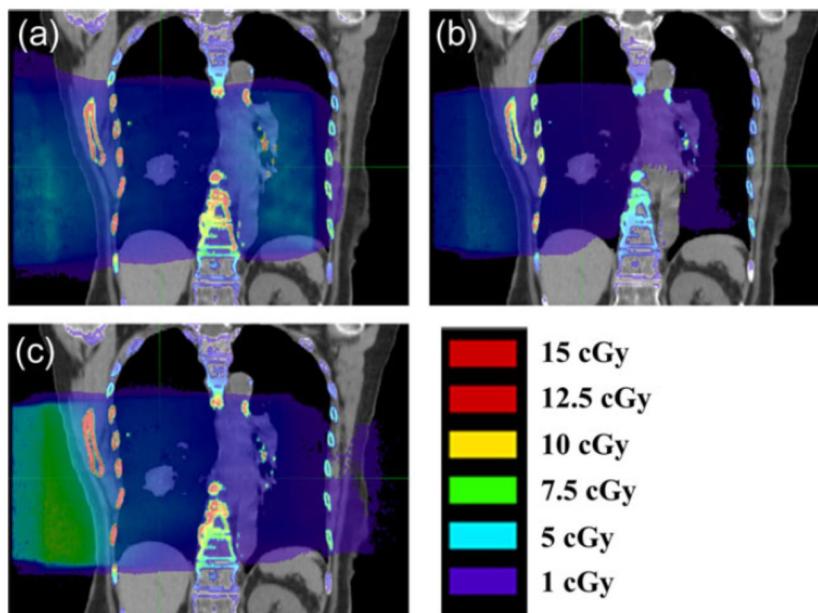


図 1. kV-X 線被ばく線量分布図

(a) 透視中における分布図、(b)三次元 CBCT 撮影時における線量分布図、(c) 四次元 CBCT 撮影時における線量分布図

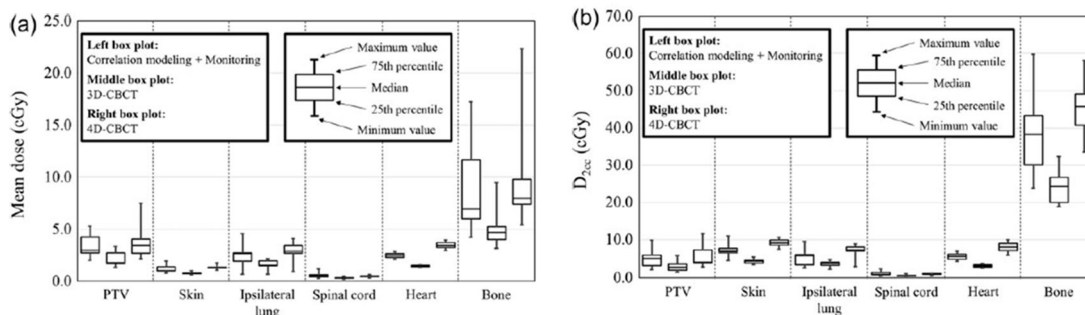


図 2. 各臓器における kV-X 線被ばく線量体積ヒストグラム

(a) 各臓器の平均線量、(b)各臓器の D2cc(cGy)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakamura Mitsuhiro, Ishihara Yoshitomo, Matsuo Yukinori, Iizuka Yusuke, Ueki Nami, Iramina Hiraku, Hirashima Hideaki, Mizowaki Takashi	4. 巻 59
2. 論文標題 Quantification of the kV X-ray imaging dose during real-time tumor tracking and from three- and four-dimensional cone-beam computed tomography in lung cancer patients using a Monte Carlo simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research	6. 最初と最後の頁 173 ~ 181
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/jrr/rrx098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshitomo Ishihara
2. 発表標題 Development of kV X-ray imaging dose calculation system for image guided radiation therapy
3. 学会等名 The 18th Asia-Oceania Congress of Medical Physics（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitomo Ishihara
2. 発表標題 Development of Monte Carlo dose calculation system for a new dual layer multi-leaf collimator
3. 学会等名 2018 AAPM Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔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
---------	---------