

令和 4 年 5 月 21 日現在

機関番号：33916

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K17282

研究課題名（和文）partial-angle scan撮影の線量評価法の確立

研究課題名（英文）Development of partial-angle scan dosimetry method

研究代表者

羽場 友信（Haba, Tomonobu）

藤田医科大学・医療科学部・助教

研究者番号：00810748

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、partial-angle scan撮影の原理・概念に基づいた新たな線量評価法を確立した。提案した評価法は、CT検査における線量評価で用いられているCTDIファントム内の適切な位置で線量測定を行うというものである。解析にはモンテカルロシミュレーションと最小二乗法を利用した。本提案手法を用いることで4%の精度で正確な線量評価が行えることが判明した。また、得られた線量評価法を用いて患者の臓器線量を推定する換算係数も考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

partial-angle scan撮影には様々な撮影条件(装置、管電圧、回転角度)が存在するが、本考案法による線量評価の精度はそれらの撮影条件に依存しない結果となった。結果として、本提案手法を用いることで4%の精度で正確な患者被ばく線量の評価が行えることが判明した。また、上記の提案手法は様々な患者体型にも適応することが可能であるため、CT検査における患者被ばく線量評価で用いられているSSDEにも応用可能である。本研究結果は、partial-angle scan撮影の線量評価法の統一の一翼を担うと思われる。

研究成果の概要（英文）：In this work, a new dose metric was devised for partial-angle scan dosimetry to provide a more accurate average dose by performing Monte Carlo simulations and using the linear least-squares technique. The developed method can estimate the average dose with high accuracy corresponding to a 4.1% error over a wide range of phantom diameters. In addition, we devised the conversion coefficients based on the new dose metric to estimate organ doses for partial-angle scans.

研究分野：放射線計測学

キーワード：モンテカルロシミュレーション コーンビームCT CTDI 臓器線量

1. 研究開始当初の背景

現在の医療現場において、各モダリティに搭載されている partial-angle scan 撮影は放射線画像診断及び治療に欠かせないツールとなっている。通常の CT 撮影では X 線管球が 360 度回転する full-angle scan 撮影が行われるのに対して、partial-angle scan 撮影では 180~240 度程度の部分的なスキャンが行われる。partial-angle scan 撮影は血管撮影装置・放射線治療装置・CT 透視装置・歯科用 X 線撮影装置などの種々のモダリティに搭載されている。各モダリティにおける partial-angle scan 撮影の代表的な役割として以下の項目が挙げられる。

- ・血管撮影装置：脳動脈瘤に対するコイル塞栓術(脳血管内治療)時の頭蓋内ステントの描出
- ・放射線治療装置：放射線治療前の患者の位置決め画像の取得
- ・CT 透視装置：経皮的生検などの手技を行う術者の手指被ばく低減
- ・歯科用 X 線撮影装置：歯列の概観を映すパノラマ画像の取得

我が国では、2011 年 3 月に発生した原子力発電所事故以来、医療における放射線の人体に対する影響について社会的関心が極めて高い状況にある。国際的には、年々増加する医療被ばくに対応するため、国際放射線防護委員会は防護の最適化の指標として診断参考レベル(diagnostic reference levels: DRLs)の適応を勧告している。これを受けて、我が国では 2015 年に本邦初となる Japan DRLs 2015 が設定された。しかし、DRLs では partial-angle scan 撮影での線量が定義されていない。そもそも、partial-angle scan 撮影の線量評価法は国際的にも確立されていないというのが現状である。

通常の Computed tomography (CT)撮影では X 線管球が 360 度回転する full-angle scan 撮影が行われるのに対して、partial-angle scan 撮影では 180~240 度程度の部分的なスキャンが行われる。この特徴的なスキャン方式のため、partial-angle scan 撮影における線量評価法の確立が困難となっている。partial-angle scan 撮影は上記のように広く利用されているため、患者の被ばく線量を適切に評価する必要がある。特に、脳血管内治療における partial-angle scan 撮影(コーンビーム CT 撮影)では、頭部を中心に回転しながら X 線が照射されるため、放射線感受性の高い水晶体への被ばくが懸念される。脳血管内治療の手技を受けた患者の水晶体が受ける被ばく線量のうち、コーンビーム CT 撮影による割合は 10%程度であるという報告もされている。また、国際放射線防護委員会の 2011 年勧告では、水晶体被ばくのしきい線量が従来の 5Gy から 0.5Gy と大幅に引き下げられた。

以上の背景より、私は「partial-angle scan 撮影を受ける患者の被ばく線量を適切に評価するための線量評価法の確立が必要である」と考えている。

2. 研究の目的

本研究では、partial-angle scan 撮影に適した線量評価用ファントムを新たに考案し、線量評価法を確立することを目的とする。本研究で提案する線量評価法は、現在、CT 検査の線量評価に用いられている CT dose index (CTDI)の概念を発展させたものである。CTDI は DRLs においても CT 検査の線量指標として採用されているため、本提案法は partial-angle scan 撮影の DRLs となりえる可能性が充分にあると考えられる。これにより、医療被ばくについて国民の求める情報提供が可能となる。

3. 研究の方法

本研究を達成するため、始めに「partial-angle scan 撮影における線量評価用ファントムの作成」を行った。次に「確立した線量評価法を用いて患者の臓器線量を評価する」ことを実施した。

(1) partial-angle scan 撮影における線量評価用ファントムの作成

partial-angle scan 撮影も CT 撮影も、X 線管球が患者の周囲を回転して画像を取得するという点は同じである。両者で違うのは、回転角度の違いである。CT 検査における線量評価の指標である CTDI の中で weighted CTDI (CTDI_w)という概念がある。CTDI_w は X 線管球が回転して得られた画像の断面の平均線量を表すものである。そのため、partial-angle scan 撮影の線量評価指標として CTDI_w の概念を適応することが可能であると考えられる。CTDI_w はアクリル樹脂製の

円柱型ファントム内に電離箱を挿入し、5か所の位置の線量の加重平均により算出される。partial-angle scan撮影ではX線管球が180~240度程度の部分的なスキャンが行われるため、ファントム内の平均線量を表すためには、様々な角度及び深さでの線量測定が必要になると考えられる。これらを考慮した新たなファントムが必要であり、例えば図1の様なファントム形状が考えられる。

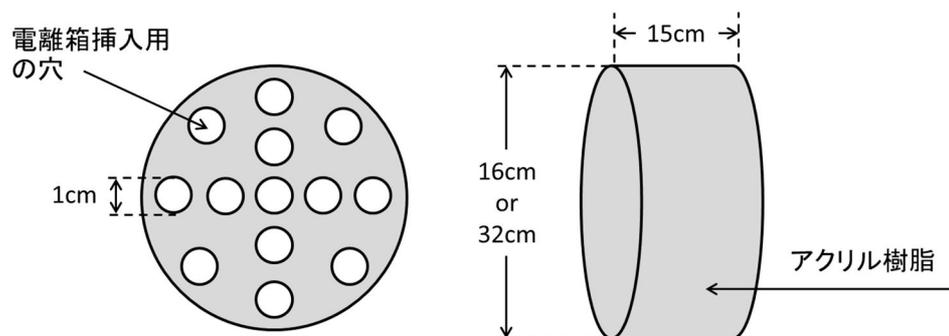


図1 本研究で考案する partial-angle scan 撮影の線量評価用ファントムの形状の予想図

上述の新たに考案するファントムの形状は、モンテカルロシミュレーションを用いて決定した。モンテカルロシミュレーションではファントムの断面内の線量分布図を取得することが可能であるため、平均線量を算出することができる。そして、得られた線量分布図を用いて、平均線量を推定するために必要な最小限の線量測定箇所を決定した。考案したファントムでの測定をもって、partial-angle scan撮影の線量評価法の確立とした。

(2) 確立した線量評価法を用いた患者の臓器線量の評価

患者の被ばく線量を把握する上で、各臓器線量を評価することは重要である。確立した線量評価法で得られた線量値から各臓器線量を推定する換算係数を算出した(図2)。臓器線量は、小型の半導体線量計を内蔵した人体ファントムを用いて測定した。

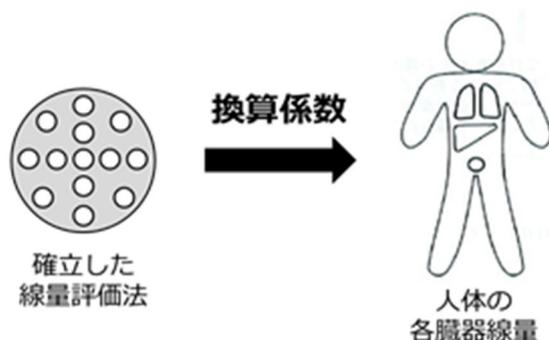


図2 partial-angle scan撮影により患者が受ける各臓器線量の推定方法

4. 研究成果

線量評価用ファントムの作成において、モンテカルロシミュレーションを用いてCTDIファントム断面内の線量分布を詳細に解析した。そして、得られた線量分布と最小二乗法を用いてpartial-angle scan撮影に適する新たな4か所の測定点を解明した。本考案法を用いる事で、partial-angle scan撮影における線量評価の精度が従来より13%向上した。また、partial-angle scan撮影には様々な撮影条件(装置、管電圧、回転角度)が存在するが、本考案法による線量評価の精度はそれらの撮影条件に依存しない結果となった。これより、今まで困難であったpartial-angle scan撮影における線量指標の統一化の可能性が示唆された。

また、上記の提案手法を様々な患者体型に適合させるために、ファントムモデルを直径8~40cmまで拡張した。結果として、本提案手法を用いることで4%の精度で正確な線量評価が行え

ることが判明した。本データは CT 検査における患者被ばく線量評価で用いられている size-specific dose estimate(SSDE)にも応用可能である。本提案手法はシンプルであるが故に汎用性がある。具体的には、各医療施設で保有している既存の CTDI ファントムに少しの加工を加えることで測定が可能である。また、2020 年には米国医学物理学会から、新たなサイズ(直径 30cm)の CTDI ファントムが公表された。我々のデータセットは幅広いファントムサイズに適応しているため、このように新たなファントムがリリースされても直ぐに対応可能である。本研究結果は、partial-angle scan 撮影の線量評価法の統一の一翼を担うと思われる。なお、本研究成果は海外学術雑誌論文で報告した。

次に、partial-angle scan 撮影の線量評価を CTDI 値のみならず、患者の臓器線量へと拡張した。臓器線量は OSL 線量計を挿入できる標準成人体型の人体ファントムを用いて測定した。血管造影装置・放射線治療装置・CT 装置の複数のモダリティで測定を行った。CT 検査において、臓器線量は CTDI 値に換算係数を乗ずることによって求めることが一般的である。しかし、partial-angle scan 撮影ではモダリティ毎に回転角度が異なるため従来の換算係数では臓器線量を精度良く推定できない。そこで本研究では「回転角度で規格化した CTDI 値」を新たに提案し、検討を行った。結果として、様々な partial-angle scan 撮影のみならず CT 撮影を含めて精度よく臓器線量を推定することができた。本研究成果は、従来困難であった partial-angle scan 撮影及び CT 撮影の臓器線量の評価法の統一も実現できる。本研究成果は海外学術雑誌に投稿し、現在査読中である。

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 Haba Tomonobu, Yasui Keisuke, Saito Yasunori, Kobayashi Masanao, Koyama Shuji	4. 巻 81
2. 論文標題 A new cone-beam computed tomography dosimetry method providing optimal measurement positions: A Monte Carlo study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 130 ~ 140
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2020.12.003	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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 羽場友信、小山修司、浅田恭生、小林正尚、安井啓祐、齊藤泰紀、鈴木崇宏
2. 発表標題 Cone Beam CT撮影における新たな線量評価法の提案
3. 学会等名 第76回日本放射線技術学会総会学術大会
4. 発表年 2020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
---------	---------