

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K19205

研究課題名(和文) 診断領域のX線被ばくの実測に向けたウェアラブル線量計の開発

研究課題名(英文) Development of wearable dosimeter for measuring X-ray doses in diagnostic region

研究代表者

林 裕晃 (HAYASHI, Hiroaki)

徳島大学・大学院医歯薬学研究部(医学系)・助教

研究者番号：30422794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、放射線被ばく線量計であるOSL線量計の基礎特性を解析し、医療被ばくを実測することを目的にした。現在、医療スタッフの被ばく線量管理を行うための個人被ばく線量計は、既に開発され、線量測定サービスが行われている。一方、患者さんが使用できる線量計はリリースされていない。申請者らは、金属フィルターを含まないOSL線量計に着目し、角度依存性やエネルギー依存性のデータを取得し、着目するOSL線量計が医療被曝を実測する用途に適していることを明らかにした。その上で、小児胸腹部X線撮影時の介助者の被ばく及び小児CT撮影での患者さんの被ばくを実測した。

研究成果の概要(英文)：In this study, our aim was to analyze basic characteristics of an OSL dosimeter as a radiation detector and to measure exposure dose during clinical X-ray examinations. The detector, characterized as a personal dosimeter, for use in the management of radiation exposure to medical staff has been developed and some companies provide them as an exposure dose monitoring service. However, a dosimeter which can be applied to measure exposure dose to patients has not been developed. We focused our attention on the development of an OSL dosimeter which does not include additional metal filters. Then we evaluated basic characteristics such as angular and energy dependence. After that, we measured exposure dose to staff during pediatric plain X-ray examination and patients who are undergoing pediatric CT examination.

研究分野：放射線計測

キーワード：OSL線量計 医療被曝 放射線計測 介助者被ばく CT

1. 研究開始当初の背景

X線を用いた医療機器が高度化し、一人の患者さんが診察を受ける際に医療被ばくを伴う複数の検査を受けることが普通になってきている。X線による被ばくは少量であっても発ガンによるリスクを伴うため、可能な限り低く抑えるという考え方が一般的であり、この考え方は医療行為という利益を享受する患者さんに適用されるものである。

現在、医療現場では検査ごとの被ばく線量は適切に管理されているが、この値は各装置や各検査に対して設定されることが多く、患者さん個人に対する被ばく線量を管理するシステムは、近年になってやっと整備されつつある。様々なシステムが考えられるが、最も一般的なものは、電子カルテなどの受診情報から、患者さん個人の検査履歴とそれに付随する被ばく線量を追跡管理するシステムになることが想定される。これらの医療被ばくの線量管理システムの整備と呼応する形で、患者さん個人の意思で医療における放射線被ばくを実測するような別の観点からのシステムを整備することも重要であると考える。申請者は、患者個人に医療用の個人被ばく線量計(ウェアラブル線量計)を貸与することで、患者個人単位で自主的に被ばく線量を管理できると考え、基礎研究を行った。

患者の被ばく線量を実測できるということは、医用画像の最適化に対しての波及効果も大きい。なぜならば、医師を中心とした臨床研究で、画像の読影に関する研究報告は非常に多いが、患者さんの被ばく線量を実測する手法に乏しいためである。医用画像を利用した臨床研究は一般的に行われるが、臨床研究の範疇での被ばく線量測定を行うためには、何よりもまず、臨床研究に適した線量計を開発する必要がある。

申請者は、光刺激ルミネッセンス線量計(以下、OSL線量計と記す)に着目した。OSL線量計は米国ランダウア社(<https://www.landauer.com/>)で製造されており、長年個人被ばく線量計として使用されてきた実績がある。しかし、この個人被ばく用のOSL線量計(商品名: ルクセルバッジ)は、内部に放射線の種類及びそのエネルギーを推定するために種々の金属フィルターを挿入しており、患者が附帯するには適さない。なぜならば、金属フィルターによるX線吸収が、医用画像に悪影響を与えてしまうからである。近年、小型のOSL線量計(商品名: nanoDot OSL線量計)がリリースされ、主に放射線治療領域での線量評価に使用されている。この線量計は前述のOSL素子を使用しているところは同じだが、金属フィルターを含まないため、診断領域のX線検査に対して容易に用いることができることが想定される。また、素子の構造が非常にシンプルであるため、厚みを変えたOSL素子を作成し、nanoDot OSL線量計の測定システムを用いて読み取りを行うことも可能である。本研究

では、米国ランダウア社からリリースされているmicroStarリーダーを用いて、線量計の応答を読み取っている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、OSL線量計を用いたウェアラブル線量計を開発し、医療被曝を実測するためのエビデンスを整備し、それらを用いて医療現場における被曝を実測することである。

図1にnanoDot線量計と線量計が医用画像に影響を与えていないこと示したデモンストレーション結果を示す。本研究の意義は、線量計の適用限界などを明らかにし、エビデンスを附帯することで、現行商品の価値を高め、医療に適用できる道筋を作ったことに意義がある。そして、診断用X線に特化した基礎研究によって、臨床データを取得できることが分かったため、臨床データの取得も行っている。なお、当初計画では、胸部撮影などの一般X線撮影検査における患者さんの被ばく線量を実測することを計画していたが、線量計が医用画像に与える影響(画像評価)を定量的に評価することが難しかったため、今回の報告では、一般X線撮影における介助者(医療スタッフ)の被ばく及びCT検査における患者さんの被ばくについて、実測データを示す。

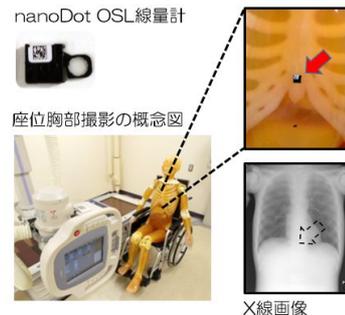


図1 nanoDot OSL線量計と線量計が医用画像に影響を与えていないことのデモンストレーション実験。

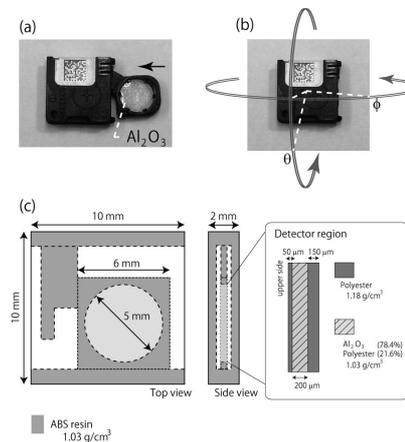


図2 nanoDot線量計の概略図。この図面に従った寸法によってモンテカルロ計算を行っている。

3. 研究の方法

(1) 線量計の開発

ウェアラブル線量計を開発するため、3種類の厚みの違うOSLシート(160 μm , 90 μm , 50 μm)を用意し、検出効率と角度依存性を測定した。実験には診断用X線撮影装置を用いた。次に、医療で実用上想定される全方位からX線が入射する状況(ランダムな方向からX線がOSL線量計に照射される状況)を、EGS5モンテカルロシミュレーション計算コード(<http://rcwww.kek.jp/egsconf/>)を用いて計算し、角度依存性を評価した。図2にnanoDot OSL線量計の概念図を示す。この概念図はモンテカルロ計算コードに入力しやすいように実際の線量計の図面を簡略化したものである。この計算結果により、一般X線撮影検査だけでなく、コンピュータ断層撮影検査(以下、CT検査)に線量計を適用できるかどうかの判断を行った。

本研究で開発を行ったOSL線量計は、1つの測定値しか得られないため、原理的にエネルギー情報を解析することができない。そこで、医療現場でOSL線量計を使用した際に、X線のエネルギーを知ることなく、正しく線量値を校正できるかどうかを検証した。ここで、「校正直線」とは、検出器を解析することで得られた応答値(計数値:カウント)を線量(吸収線量: mGy)に変換するために必要な関係式のことである。実験では、医療用のX線発生装置(一般X線撮影用: 総ろ過2.5 mmアルミ等量)を用いて、直接X線、散乱X線および透過X線を発生させ、OSL線量計を照射した。対応する場所の空気カーマの値は電離箱線量計を用いて決定した。散乱X線及び透過X線の発生は、20 cm厚の軟組織等価ファントムを用いた。

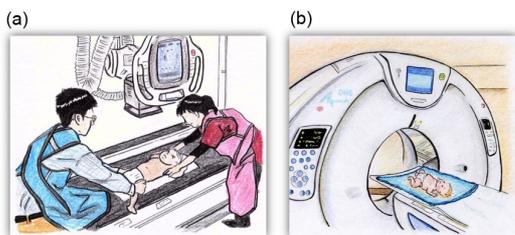


図3 医療現場における被ばく線量測定
の概念図。(a)小児胸腹部撮影における
介助者の被ばく線量測定、(b)小児心臓
CT検査における患者さんの被ばく線
量測定。

(2) 医療現場における被ばくの実測

開発を行ったOSL線量計を用いて、医療現場における被ばく線量を実測した。図3に測定体系の概念図を示す。(a)は小児胸腹部撮影における介助者の被ばく線量撮影で、(b)は小児X線CT検査における患者さんの被ばく線量測定である。これらの研究を行う際には、該当病院の倫理審査委員会の承認を得てから行った。

4. 研究成果

(1) 線量計の応答特性の評価と線量評価方法の確立

図3に厚みの異なるOSLシートを用いたときの角度依存性の測定結果を示す。OSLシートの厚みが異なっても、角度依存性の結果はほぼ変わらず、横方向(90度及び270度)からX線が入射したときに効率が20%ほど低下することが明らかになった。この事実は当初の研究計画で想定していた目論みと異なるため、追加で下記の検討を行い、商用のnanoDot OSL線量計を用いて角度依存性・エネルギー依存性をほぼ考慮することなくウェアラブル線量計として使用できることを確かめ、研究の方向性を修正した。

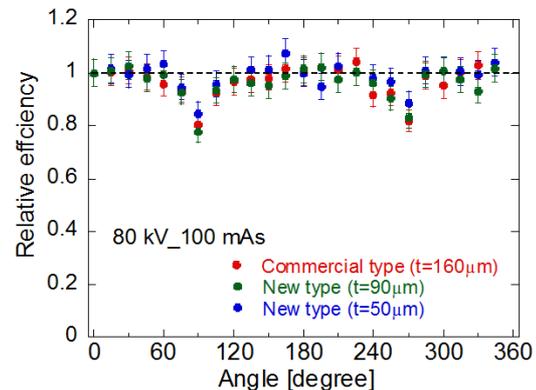


図3 厚みの違う素子を用いたOSL線量計
の角度依存性の評価結果。

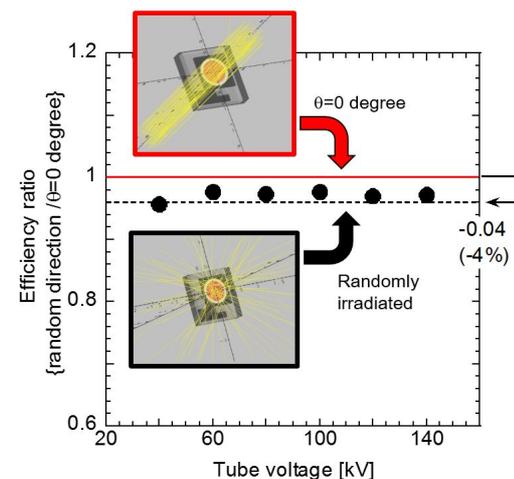


図4 ランダムな方向からX線がOSL線
量計に入射したときの検出効率の変化の
シミュレーション計算結果。

図4にモンテカルロシミュレーションコードで計算したOSL線量計の検出効率の変化を図示した。この結果は、ランダムに線量計にX線が入射する条件では、検出効率の変化は非常に低く、せいぜい4%程度の低下であることを意味している。図4の結果は、角度依存性についてはあまり考慮する必要がないことを意味している。このことは、本研究で使用しているnanoDot OSL線量計の形状

は、CT 検査のように検出器に対して円周方向から複雑に X 線が入射する場合においても、OSL 線量計が患者さんの実際の線量を測定する用途に適していることが分かる。

角度依存性と同様に重要なファクターは、線量計に対するエネルギー依存性である。図 5 に、直接 X 線、散乱 X 線及び透過 X 線を用いて作成した線量校正直線を示す。直接 X 線、散乱 X 線及び透過 X 線は異なるエネルギー分布を持っている。また、これらのデータは、異なる管電圧条件下でも取得している。それにもかかわらず、図 5 に示したデータは同一の校正直線を示している。このことは、OSL 線量計は診断 X 線撮影領域で使用される限り、エネルギー依存性を考慮することなく、基準として作成した校正直線(83 kV)を使用できることを意味している。

以上の考察により、OSL 線量計は、角度依存性やエネルギーの依存性を考慮することなく、臨床条件で使用した際に線量を正しく推定できることが示唆された。

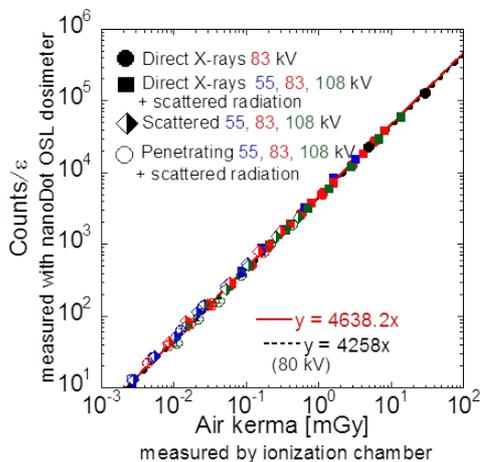


図 5 直接 X 線、散乱 X 線及び透過 X 線を用いた OSL 線量計の線量校正直線。

(2) 小児一般 X 線撮影検査への応用

開発した解析手法の有用性を確かめるため、小児 X 線撮影(胸腹部撮影)時の介助者の被ばく線量を測定した。結果を図 6 に示す。この測定は線量計を超低バックグラウンド状態に保つ必要があったため、臨床データを取得する直前まで線量計を初期化して、データを取得している。また、未使用の OSL 線量計も全て読み取り、バックグラウンド放射線による被ばくの評価値とした。図 6 より、バックグラウンドは 0.001 mGy であり、介助者の首元での防護衣の外側の被ばく線量は 0.003 mGy 程度であることが明らかになった。ここでいうバックグラウンドとは、病院の検査室外での 24 時間の累積線量である。本研究の結果によって、介助者として小児 X 線撮影に携わったとしてもバックグラウンドの 3 倍程度の増加しかないことが分かり、介助行為が放射線被ばくの観点からも安全であることが実証された。本測定は、あくまでもウェアラブル線量計の応用用途の 1 つとしてのデモン

トレーションであり、放射線の人体影響を定量的に評価するためには、生物学的な効果も考慮して、解析する必要があることを申し添えておく。

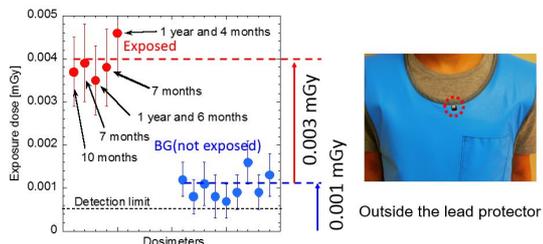


図 6 小児一般 X 線撮影時の介助者被ばくの測定結果。

(3) 小児 CT 撮影への応用

図 7 に、小児 CT 検査における検査領域内外の被ばく線量の測定結果の一例を示す。この検査は、一般的な心電図同期型の心臓造影検査である。検査領域は、顎を上端とし 16 cm 下までであり、心臓がちょうど真中のスライス断面になるような配置である。図 7(a)及び(c)は照射野外の被ばく線量の実測値であり、散乱 X 線に起因するものである。0.3 mGy 程度の測定値であるが、使用した OSL 線量計で余裕を持って測定することができている。一方、(b)は照射野内であり、主に直接 X 線によって被ばくしている。線量計の貼り付け位置によって値が異なっていることが特徴的であり、線量計を添付した断面の臓器の影響が現れている可能性もある。この定量的な解析とその意味に関しての考察は本研究の範囲を超えるため、本稿では事実のみを述べるに留める。いずれにしても、OSL 線量計を用いて、臨床検査での被ばく線量を測定することができることを実証できたことは意味のあることである。

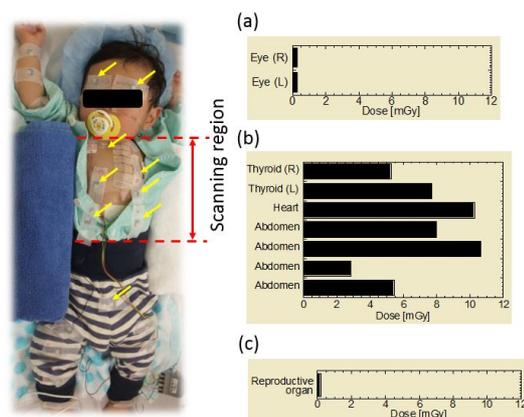


図 7 小児 CT 検査における患者さんの被ばく線量測定結果の例。

(4) まとめ

本研究の波及効果として、簡易的に患者・医療従事者の被ばく線量を実測できるシステムを構築できたことは特筆すべきことである。本研究の当初の研究領域である診断用 X 線に加えて、歯科や整形外科などでの応用

も見込まれ、これまで測定することが難しかった線量の実測値を測定することで、様々な教育への波及効果が見込める。医療機器は日々進歩しており、被ばく線量の評価が難しくなっているが、本助成で開発した線量計に関する知見が、これらからの医療の進歩に少しでも貢献できることを願ってやまない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- (1) Hiroaki Hayashi, Emi Tomita, Sota Goto, 他9名(1番目): Direct Dose Measurement of Patients during Pediatric Computed Tomography Examination, Progress on Nuclear Science and Technology, 2018, in press. (査読あり)
- (2) Kazuki Takegami, Hiroaki Hayashi, Kenji Yamada, 他9名(2番目): Entrance surface dose measurements using a small OSL dosimeter with a computed tomography scanner having 320 rows of detectors, Radiological Physics and Technology, Vol.10, No.1, pp.49-59, 2017. (査読あり)
- (3) Hiroaki Hayashi, Yoshiki Mihara, Yuki Kanazawa, 他6名(1番目): Necessity of Direct Dose Measurement during Current X-ray Diagnosis, --- Our Approach Using a Small-type OSL Dosimeter ---, Medical Research Archives, Vol.5, No.2, pp.1-20, 2017. (査読あり)
- (4) Kazuki Takegami, Hiroaki Hayashi, Hiroki Okino, 他6名(2番目): Estimation of identification limit for a small-type OSL dosimeter on the medical images by measurement of X-ray spectra, Radiological Physics and Technology, Vol.9, No.2, pp.282-292, 2016. (査読あり)
- (5) Tohru Okazaki, Hiroaki Hayashi, Kazuki Takegami, 他4名(2番目): Basic characteristics of nanoDot OSL dosimeter for diagnostic X-ray, Journal of Radiation Protection and Research, Vol.41, No.3, pp.229-236, 2016. (査読あり)

〔学会発表〕(計5件)

- (1) Tohru Okazaki, Hiroaki Hayashi, Emi Tomita, 他10名(2番目): Practical phantom study using small-type OSL dosimeter toward direct dose measurement during pediatric CT examination, AOCMP-AMPICON 2017, Jaipur, Nov. 2017.
- (2) Yoshiki Mihara, Hiroaki Hayashi, Takashi Asahara, 他4名(2番目): Precise calibration factor of small-type OSL dosimeter with the aim toward analysis of exposure doses caused by scattering

X-ray in the diagnostic region, The 3rd International Conference on Radiological Science and Technology, Hiroshima, Oct. 2017.

- (3) Wei Hsin Cheng, Tohru Okazaki, Takuya Hashizume, Hiroaki Hayashi, 他3名(4番目): Evaluating the Influence of the Small-type Optically Stimulated Luminescence (OSL) Dosimeter on CT Images for Radiation Dose Measurement of Patient, The 3rd International Conference on Radiological Science and Technology, Hiroshima, Oct. 2017.
- (4) Kazuki Takegami, Hiroaki Hayashi, Natumi Kimoto, 他8名(2番目): Universal calibration curve for a small-type OSL dosimeter to be used for direct dose measurements of direct, scattered and penetrating X-rays in the diagnostic region, Radiological Society of North America (RSNA), Chicago, Illinois, Dec. 2017.
- (5) Hiroaki Hayashi, Yoshiki Mihara, Natsumi Kimoto, 他6名(1番目): Preliminary study for exposure dose measurement of people assisting during a pediatric X-ray procedure by means of a small-type OSL dosimeter, European Congress of Radiology, Vienna, Mar. 2017.

〔その他〕

ホームページ等(研究室HP)
<http://hayashi.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
林 裕晃 (HAYASHI, Hiroaki)
徳島大学・大学院医歯薬学研究部・助教
研究者番号: 30422794
変更: 平成29年12月1日
- (2) 研究分担者
該当なし
- (3) 連携研究者
該当なし
- (4) 研究協力者
岡崎 徹 (OKAZAKI, Tohru)
山田 健二 (YAMADA, Kenji)
多田 佳司 (TADA, Keiji)