

医療被ばく測定用マルチセンサ型リアルタイム線量計

千田 浩一

Chida Koichi

(東北大学 災害科学国際研究所・
大学院医学系研究科放射線検査学分野)



1 はじめに

医療被ばく測定用マルチセンサ型リアルタイム線量計を開発した。この新しいリアルタイム線量計は、インターベンショナルラジオロジー (Interventional Radiology : IVR) の際の患者線量測定評価に有用であると考える。

2 IVR

IVR とは X 線透視撮影下で、体内に細い管 (カテーテル) を入れて病気を治す比較的新しい治療法である。IVR は外科手術を必要としないため、身体にあたえる負担が少なく、入院期間も短縮できるなど優れた特長を持っており、高齢者や状態の悪い進行がんを含めたがんの治療や、心筋梗塞・狭心症に対する経皮的冠動脈形成術 (Percutaneous Coronary Intervention : PCI) 等々、現在広く応用されている有効な治療法となっている。しかし IVR は、難易度の高い症例などでは X 線透視撮影時間が非常に長くなることもあるため、線量増加が重大な問題となっている¹⁻⁷⁾。IVR 時の患者放射線障害例が現在でも報告され、脱毛や皮膚潰瘍などの確定的影響の防止が、IVR の大きな課題の 1 つとなっており、IVR 被ばく評価が重要である^{1,8,9)}。

3 IVR 患者被ばく線量評価

患者皮膚面の吸収線量測定において、TLD や蛍光ガラス線量計等は直接測定ができるため有用であるが、リアルタイム測定評価は不可能



図 1 新しいマルチセンサ型リアルタイム線量計

同時に最大 4 つのセンサからのリアルタイム線量測定が可能 (電源は、AC100 V 又は乾電池)。さらに線量表示部から USB 接続してパソコン上で患者被ばく線量をリアルタイムに表示することや、線量データを管理することもできる

である^{10,11)}。IVR 時の患者の放射線障害回避のためには、確定的影響の閾線量を超過する前にその皮膚面等への X 線照射を中断する必要があり、そのためには患者最大被ばく線量を“リアルタイム”に評価することが必要となる。

ケアグラフは、患者皮膚部分での位置 (照射範囲) 情報も含む線量情報を、専用のプログラムによって計算し、リアルタイムにグラフィック表示できる画期的な患者線量評価システムであった。しかしケアグラフは高価なオプション装備であり、使用できるのはシーメンス社の限られた血管造影システム (機種) でのみであり、さらにその販売も終了している^{10,12)}。最近、

ケアグラフと同様なものとして、Dose Tracking System が開発され期待されている。だが Dose Tracking System も、ケアグラフ同様に高価なオプション装備で、使用できるのは機種も限られている¹³⁾。

このように現在 IVR 時において、患者最大線量をリアルタイムに計測評価できる方法はほとんどない。そのため、患者最大線量を間接的に推定評価する方法が幾つか試みられている。例えば、透視時間や面積線量値等の各種指標を用いた推定法があるが、最大皮膚線量を実測しているわけではないので、その正確な評価は困難である^{10,14)}。

4 リアルタイム線量計

前述のように、IVR 時の患者の放射線障害回避のためには、急性放射線障害の閾線量を超過する前にその皮膚面等への X 線照射を中断する必要がある。よって、正確な患者被ばく線量を“リアルタイム”に測定することが望まれるが、現在、この目的にかなうリアルタイム線量計はほとんどない。

リアルタイム線量計として、1998 年に Skin Dose Monitor (SDM) の有用性が発表され、世界的に普及したが、センサが 1 つしかない (シングルセンサ) 上に、センサとして毒性が強いカドミウム蛍光体を使用していたので、現在は製造が中止されている¹⁵⁾。

ほかにもシリコン半導体検出器を使用したりリアルタイム計測器として Patient Skin Dosimeter (PSD) も開発されたが、PSD の検出部と信号ケーブルは X 線画像に明瞭に写り込むため診断等の邪魔になり、IVR では使用されていない^{8,10)}。

5 マルチセンサ型リアルタイム線量計の開発

以上のような背景の中、筆者らは、センサに用いる蛍光体としてカドミウ

ムに代わる物質を種々探索した結果、酸化イットリウム系 (ユーロピウム賦活) の蛍光体が毒性もなく X 線に対して高感度であり劣化もないこと等を見出した¹⁶⁾。そこで酸化イットリウム系の蛍光体センサと光ファイバケーブル、そしてフォトダイオード等を用いたリアルタイム患者被ばく線量計の開発を試みた。これにより、透視画像へのセンサケーブルの映り込みを大幅に減少させ、そして高感度なリアルタイム線量測定が可能となった。さらにマルチセンサ型の X 線検出部をもつことで、シングルセンサでは困難であった正確な最大被ばく線量測定が期待できる。新型線量計は最大 4 センサ同時に被ばく線量測定を行うことが可能である (図 2)。

小型で省電力等の特長を有するフォトダイオードを使用することで実用的なマルチチャンネル化が可能となり、更にフォトダイオードの分光感度特性とマッチし、X 線に対して適切かつ無害な蛍光体を探索できたことなどが開発のキープポイントである。

6 マルチセンサ型リアルタイム線量計の諸特性

新しいリアルタイム線量計の測定精度等に関する基本的性能 (エネルギー依存性、方向依存性、線量依存性、線量率依存性等) は、SDM とほぼ同等であった。さらに PSD とは違い、ケーブルが X 線画像にはっきりと写り込むこ

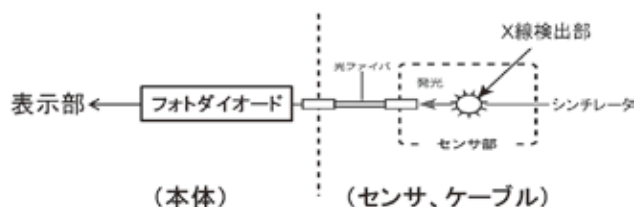


図 2 試作患者線量計の構成 (概念図)
図の例は 1 センサ (チャンネル) だが、実際は 4 つのセンサ (チャンネル) がある。X 線センサ部は酸化イットリウム系蛍光体 (ユーロピウム賦活) を使用している (従来から、この蛍光体は“電子線用”の赤色発光蛍光体として使用されている)

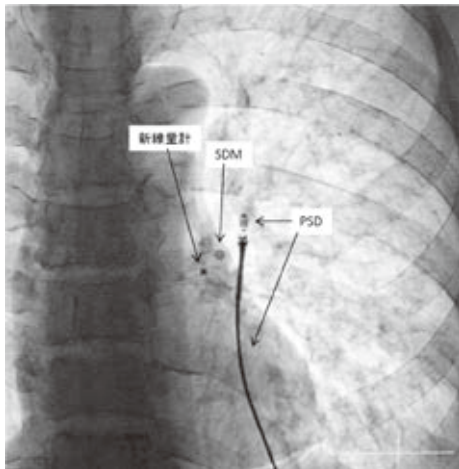


図3 各リアルタイム線量計 (SDM と PSD と新線量計) の検出部 (センサーケーブル) の胸部ファントム X 線透視画像の一例

SDM (Skin Dose Monitor) : カドミウム蛍光体センサを使用したリアルタイム線量計 (有害物質のカドミウムを使用しているため現在は製造中止)。

PSD (Patient Skin Dosimeter) : シリコン半導体をセンサとしたリアルタイム患者線量計 (センサーとケーブルが X 線画像に明瞭に写り込むため診断等の妨げになる)。

新線量計 : 光ファイバーケーブルは X 線画像に映らない。蛍光体センサがやや映り込むが、小さいため手技の妨げになることは少ない (また測定位置を特定するためにも、センサ部分はある程度 X 線に映る方が好ましい)。

とはならないため、PSD のように IVR の手技の妨げになることはないと考え¹⁷⁾。現在、臨床での予備的検討を始めており、有用な初期結果が得られているところである。今後、更に性能向上へ向け検討を続ける予定である (図3)。

7 おわりに

新しいリアルタイム線量計は、PSD のように X 線透視画像上にはっきりと映り込むことはないため、IVR 手技の邪魔になることはないと考え。そして新しいリアルタイム線量計の測定精度等に関する基本的性能は SDM と同等である。新型リアルタイム線量計は、マルチチャンネルセンサ (最大4つのセンサ) を装備することができ、これが大きな利点の1つである。

つまり新しい線量計は最大4センサ同時にリアルタイム被ばく線量測定を行うことが可能であるため、単一センサでは困難であった正確な患者最大被ばく線量の測定を行えることが期待できる。したがって、新しいリアルタイム線量計は、SDM より優れており、IVR 中の患者被ばく線量測定に有用であると考え。

参考文献

- 1) International Commission on Radiological Protection. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures : ICRP publication 85, Ann ICRP, **30**(2), (2000)
- 2) Chida, K., et al., *AJR Am J Roentgenol*, **193**(6), 1680-1685 (2009)
- 3) Chida, K., et al., *Radiol Phys Technol*, **2**(1), 58-61 (2009)
- 4) Chida, K., et al., *AJR Am J Roentgenol*, **195**(5), 1175-1179 (2010)
- 5) Inaba, Y., Chida, K., et al., *Radiat Prot Dosimetry*, **143**(1), 74-80 (2011)
- 6) 千田浩一, 【放射線障害-基礎・疫学から診療・安全対策まで-】放射線防護と安全対策 医療被ばく・職業被ばくの現状と対策, 日本臨床 (0047-1852), **70**(3), 479-484 (2012)
- 7) Chida, K., et al., *AJR Am J Roentgenol*, **200**(1), 138-141 (2013)
- 8) Chida, K., et al., *J Radiat Res.*, **51**(2), 97-105 (2010)
- 9) Kato, M., Chida, K., et al., *Acta Radiol.*, **53**(9), 1040-1044 (2012)
- 10) Chida, K., et al., *Acta Radiol.*, **50**(5), 474-481 (2009)
- 11) Kato, M., Chida, K., et al., *Radiat Prot Dosimetry*, **162**(3), 224-229 (2014)
- 12) Chida, K., et al., *AJR Am J Roentgenol*, **186**(3), 774-778 (2006)
- 13) 佐藤直高, *Isotope News*, No.721, 20-21 (2014)
- 14) Chida, K., et al., *Catheter Cardiovasc Interv.*, **68**(2), 236-241 (2006)
- 15) Hwang, E., Gaxiola, E., Vlietstra, R.E., Brenner, A., Ebersole, D., and Browne, K., *Cathet Cardiovasc Diagn*, **43**, 367-370 (1998)
- 16) Nakamura, M., Chida, K., et al., *Med Phys.*, **41**(10), 1-5 (2014)
- 17) Nakamura, M., Chida, K., et al., *AJR Am J Roentgenol*, **205**(2), W202-W206 (2015)