

心臓IVRにおける患者最大皮膚線量：その実態および各指標との関係

東北大学医学部保健学科 千田 浩一

はじめに

IVR は、現在においても放射線障害の発生が報告されている領域であり、被曝管理が最も重要な分野のひとつである¹⁻³⁾。IVR の最適化のためには、被曝線量の計測評価が基本であり、そして被曝低減へ向けた取組みが重要となる⁴⁻¹⁰⁾。

心血管 IVR における患者最大皮膚被曝の実態の把握、すなわち患者最大皮膚線量の部位とその範囲(面積)に関する知見は、患者の放射線障害(確定的影響)回避のために役立つ情報であると考えられる。さらに現在、心臓 IVR 時の患者最大皮膚線量をリアルタイムに計測評価できる方法がほとんど無いため、患者最大皮膚線量と各指標(透視時間等)との関係を明らかにすることは、極めて意義があると思われる。

そこで、本稿では、心臓 IVR (冠動脈形成術:PCI、カテーテルアブレーション:RFCA) における患者最大皮膚線量の詳細(位置、面積、そして最大線量値と各指標との関係等)についてレビューする。

患者最大皮膚線量の部位(位置)

・PCI

日本における PCI 皮膚障害 13 例の報告によると、右背に皮膚障害があるものが 12 例とほとんどを占め、1 例が中央部であり、左背の皮膚障害例はない¹¹⁾。しかし Koenig らの PCI 48 例の皮膚障害例報告によれば、右背面が 28 例と多いものの、右背面以外が 20 例あり、必ずしも右背面に皮膚障害が起るとは言えない^{12,13)}。

我々の PCI 約 200 例の最大皮膚線量部位(皮膚障害部位ではない)分析結果から、Fig.1 に示すように最大皮膚線量部位(中心)は、広範囲に分布していることが分り、また吉村らも同様の報告をしている^{14,15)}。ところが PCI の Target Vessel 別に分類して最大皮膚線量の部位を解析してみると、その部位はある程度、限局する傾向があることが示された¹⁴⁾。PCI の target Vessel が AHA 分類で #1~#3 の時、最大皮膚線量部位は右背面、#4 の時は下背面(特に右下)、#5~#10(LAD 領域)の時はやや左背面に多いが広く分布、#11~#15(LCx 領域)の時は上背面(特に左上)、という傾向を示した(Fig. 2a-d)。これは、PCI に使用するアングルビューに依存する結果であると考えられる。

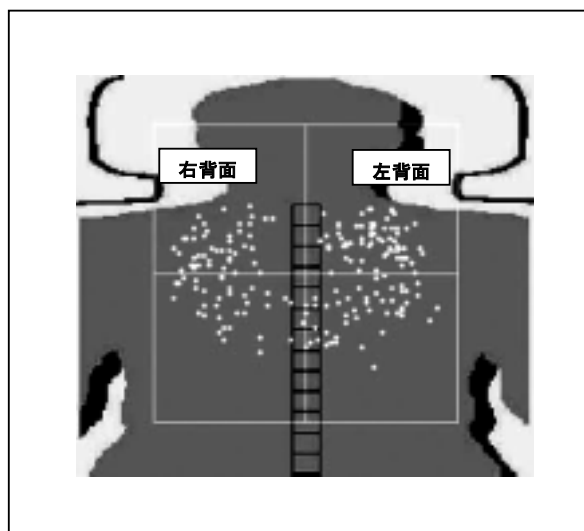


Fig.1 PCI 時の患者最大皮膚線量部位(中心)

Chida K, et.al. *Acta Radiol*, 47(8): 236-241.(2007)を改編

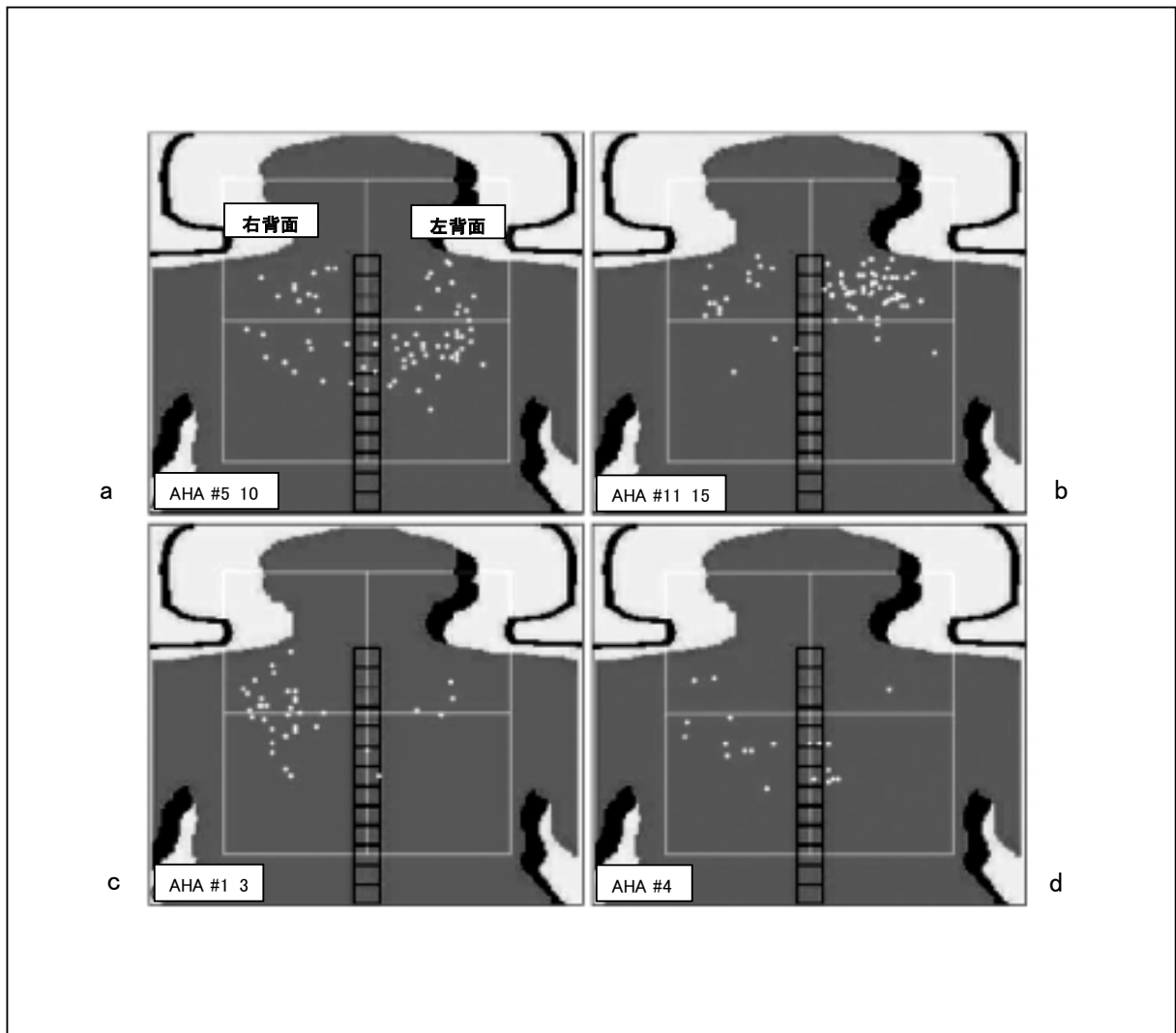


Fig.2 PCI の target Vessel 別の患者最大皮膚線量部位(中心)

target Vessel を AHA 分類で #1~#3、#4、#5~#10、#11~#15 の 4 つに分類して評価した。

Chida K, et.al. *Acta Radiol*, 47(8): 236-241.(2007)を改編

• RFCA

Fig. 3 は、RFCA40 例について最大皮膚線量部位を同様に分析した我々の結果である。PCI と比べるとバラツキは少なく、右または左背面に比較的限局している。RFCA は、ほぼ一定のアングルビューを使用するためであると考えられる。また、RFCA の最大皮膚線量部位は、不整脈（心房細動、発作性上室性頻拍、WPW 症候群、心室頻拍）のタイプに依存しないように思われた。

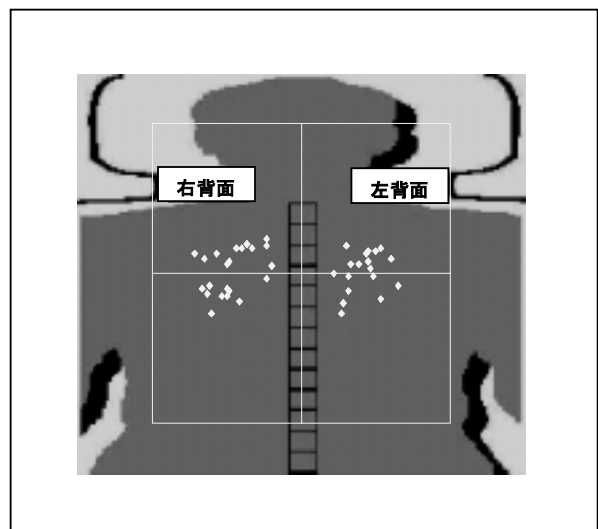


Fig.3 カテーテルアブレーション時の患者最大皮膚線量部位(中心)

患者最大皮膚線量の面積

・ PCI

Fig. 4 に我々の検討結果を示す。最大皮膚線量部位の面積(最大線量の 95%以上の面積)は、Target Vessel により多少の違いはあるものの、平均でそれは $22.6 \pm 18.3 \text{ cm}^2$ であった¹⁴⁾。また、Target Vessel 別に分けて解析すると、#4 に対する PCI の際に、最大皮膚線量部の面積が大きい傾向を示した。#4 に対する PCI の際は、アングルビューがそれほど変わらず、照射野の重なりが少ないことが、理由の一つであると思われる。

・ RFCA

Fig. 5 に、最大皮膚線量部位の面積(最大線量の 95%以上の面積)に関する我々の結果を示す。その面積は、不整脈(心房細動、発作性上室性頻拍、WPW 症候群、心室頻拍)のタイプに依存せず、 $44.3 \pm 19.5 \text{ cm}^2$ であった。またこの値は、PCI のそれよりも 2 倍程度大きい。この理由は RFCA の視野サイズは、PCI よりも大きいためであると考えられる。

患者最大皮膚線量値

・ PCI

Fig. 6 は我々の検討結果である¹⁴⁾。患者最大皮膚線量(吸収線量)値は、Target Vessel にあまり依存せず、平均で $1468 \pm 994 \text{ mGy}$ であった。当然ではあるが CTO 症例の最大皮膚線量値は大きくなる傾向がある。

・ RFCA

Fig. 7 に我々の検討結果を示すが、AF に対する RFCA 時の最大皮膚線量値は、他の不整脈群のそれよりも 2-3 倍大きい。またこの結果は、他の報告と同様である^{16,17)}。AF に対する RFCA は、手技が複雑になり透視時間が長くなることが主な理由であると考えられる。

RFCA 時の最大皮膚線量の平均値は $587 \pm 479 \text{ mGy}$ であり、PCI のそれよりも低い値であった。RFCA 時は低パルスレート(7.5pulses/s)を使用していることが大きな理由のひとつである(PCI は 15pulses/s)。また、RFCA 時は、PCI とは違い II 視野をズームしないことも、線量が低い理由であると思われる¹⁸⁾。

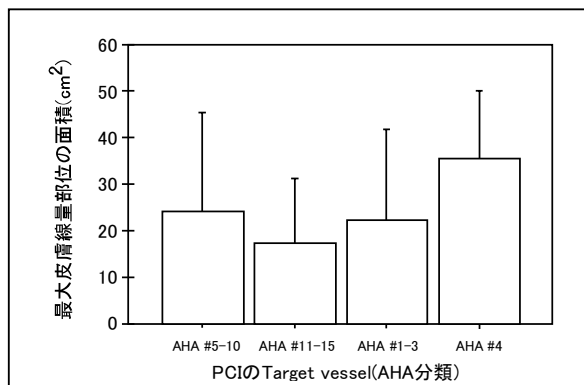


Fig.4 PCI における最大皮膚線量部位の面積(最大線量の 95%以上の面積)

Chida K, et.al. *Acta Radiol*, 47(8): 236-241.(2007)を改編

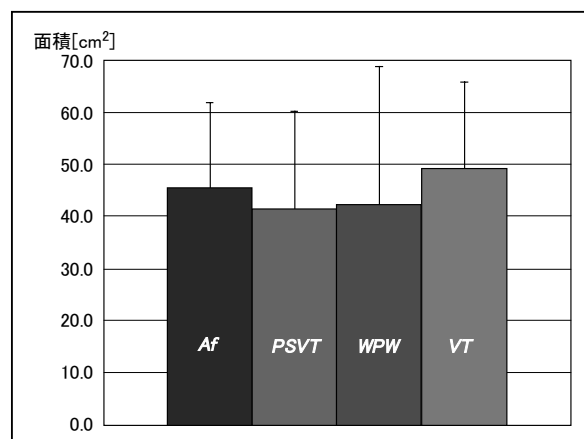


Fig.5 カテーテルアブレーションにおける最大皮膚線量部位の面積(最大線量の 95%以上の面積)

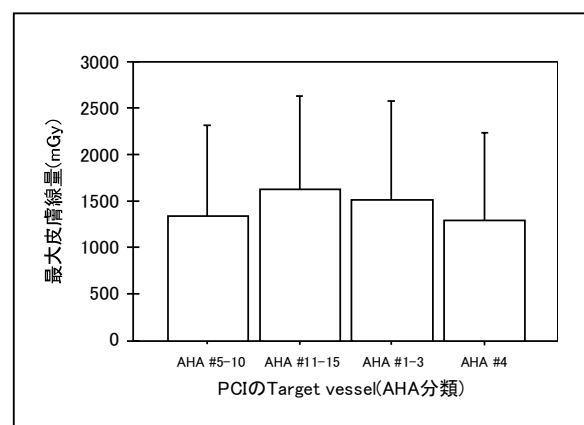


Fig.6 PCI における患者最大皮膚線量値

Chida K, et.al. *Acta Radiol*, 47(8): 236-241.(2007)を改編

患者最大皮膚線量値と各指標との相関

• PCI

透視時間や面積線量値は、患者最大皮膚線量値と有意相関はあるが、相関係数はあまり高くなく、特に透視時間はかなり大雑把な指標であることが報告されている^{2,19,21)}。我々の検討でも、ほぼ同様の結果であったが、Target Vessel毎に解析してみると、右冠動脈に対するPCIの際は患者最大皮膚線量と各種指標との相関は良く、逆に左冠動脈(特に左前下行枝)に対するPCIの際は相関が悪いという興味深い結果を示した(Table 1)²²⁾。さらに我々は、患者総皮膚線量(患者皮膚面の総線量)と患者最大皮膚線量が、強い相関を示すことを明らかにした²³⁾。(Fig. 8)

• RFCA

McFaddenらの報告によると、RFCA時において患者最大皮膚線量と各種指標との相関はそれほど高くなく(DAP: $r=0.71$ 、透視時間: $r=0.64$)、我々の結果と異なっている^{20,24)}。McFaddenらは、患者最大皮膚線量を2個のみのTLD素子により測定しており、最大線量が正しく測定評価されていないものと推定できる。我々の結果から、患者最大皮膚線量と各種指標との相関係数は、PCIのそれよりも良いことが示された²⁰⁾。RFCAは使用するアングルビューがほとんど固定であることがその理由であろう。

また、RFCAにおいても、患者総皮膚線量と患者最大皮膚線量には、強い相関がある。(Table 1)

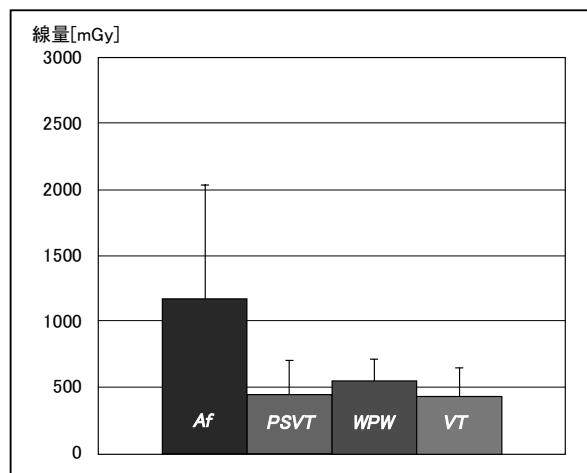


Fig.7 カテーテルアブレーションにおける患者最大皮膚線量

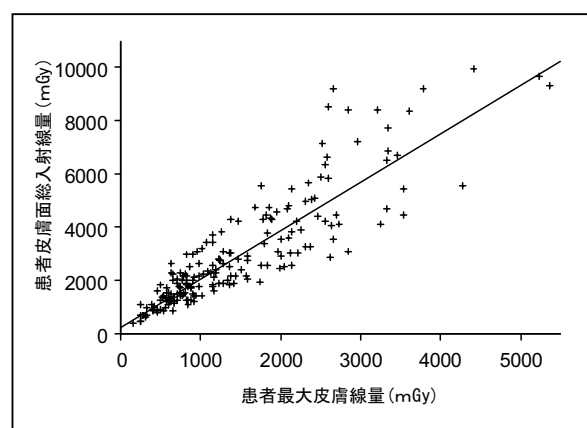


Fig.8 PCIにおける患者皮膚面総入射線量と患者最大皮膚線量 ($r=0.885$)

Chida K, et.al. *AJR*, 189(4): 236-241. (2007)を改編

Table 1. PCIとアブレーションの患者最大皮膚線量と各種指標の相関係数(r) 文献(20, 22, 23)

	PCI				アブレーション
	AHA 1-3	AHA 4	AHA 5-10	AHA 11-15	
透視時間	0.852	0.715	0.527	0.646	0.751
DAP	0.871	0.898	0.628	0.694	0.941
体重×透視時間	0.874	0.807	0.551	0.735	0.800
患者総入射線量	0.894	0.935	0.859	0.898	0.954

透視時間単独よりも、体重×透視時間の方が相関が良い

患者総皮膚線量のなかで最大皮膚線量が占める割合

I VR時の患者総皮膚線量(患者が受けるトータルの皮膚吸収線量)は、放射線発がん等の確率的影響の評価のために参考になるものと言われている²⁵⁾。患者総皮膚線量は、DAPに種々の補正(距離、面積、後方散乱、組織吸収線量変換)を行うことで、容易ではないが求めることが可能である^{26, 27)}。一方、PEMNET(患者照射線量管理ネットワーク)は、X線条件(管電圧管電流等々)から計算で総入射線量(照射線量)を求めることができる^{28, 29)}。また、IVR基準点における積算線量は、患者総皮膚線量と大体同様のものとして、扱うことができるものと推定できる²⁵⁾。

上記のように、患者総皮膚線量と患者最大皮膚線量には、強い相関があることが分った²³⁾。加えて我々は、Table 2のごとく、患者総皮膚線量のなかで最大皮膚線量が占める割合は、PCIにおいては約50%であることを明らかにした²³⁾。この我々の結果は、Miller等の報告(IVR基準点線量は患者最大皮膚線量と良く相関するが約2倍過大評価する)、およびHirshfeld等の報告(心臓IVRにおいて、IVR基準点線量は患者最大皮膚線量を約2倍からそれ以上過大評価する)を支持する結果とも思われる^{25, 30)}。

以上から、患者総皮膚線量(またはIVR基準点線量)は、確率的影響評価の参考になるだけでなく、患者最大皮膚線量の推定評価、すなわち確定的影響を防止するための有効な指標となる可能性があることが示唆された。

Table 2. PCIとアブレーションの各データ

	PCI	アブレーション
透視時間(分)	38.4±22.5	117.0±61.7
DAP(cGy*cm ²)	15607 ± 10676	10114±6655
患者最大皮膚線量(mGy)	1460±992	587±479
患者総皮膚線量(mGy)	2885±2049	1335±1031

おわりに

心血管IVRにおける患者最大皮膚被曝の部位とその範囲(面積)を把握することは、例えば、患者被曝線量計のセンサーを配置するとき、役立つものと思われる。

現在、心臓IVR中の最大皮膚線量のリアルタイム測定法は無いに等しい。そのため、患者総皮膚線量やIVR基準点線量は、患者最大皮膚線量を推定する有用な指標になると考える。

謝辞

御協力を頂きました、東北大学医療技術短期大学部診療放射線技術学科卒業生(含む卒業研究班)の方々、東北大学病院放射線部技師諸兄および関係各位の皆様に厚く御礼申し上げます。

補足

1. 我々の線量データ

我々の被曝測定データはシーメンスのケアグラフにより評価したものである。X線装置はシーメンス社のバイコーplus (I. I. 搭載) であり、X線負荷条件によりX線管付加フィルター(Cuフィルター: 0.1mmまたは0.2mm)が自動挿入される。

評価分析を行ったPCIは約200例である。原則としてCTO症例以外はシングルプレーンで手技を行っている。デジタルシネ撮影のフレームレートが秒間15、パルス透視のパルスレートは秒間15である。

評価分析を行ったRFCAは約40例である。デジタルシネ撮影のフレームレートが秒間15、パルス透視のパルスレートは秒間7.5である。現在とは異なり、electroanatomic mapping systemsは

未使用、原則として RA030 度 LA045 度のパイプレンで RFCA を行っていたときのデータである。

2. IVR 基準点

最近、IVR 基準点の線量(基準点線量)を表示できる IVR 用 X 線装置も普及している。周知の通り IVR 基準点は、アイソセンターから X 線管焦点側に 15cm 離れた点と、IEC (International Electrotechnical Commission)により定義され、そして IVR 用装置は、基準点線量 (空気カーマ等)を表示できるようにすることが要求されている。

一方 JIS においても、同様に定義されているが、アイソセンターをもたないシステムでは、製造業者によって定義された点を基準点としている。例を挙げると、患者皮膚面との実距離 (カテーテルテーブルの高さ)を検出して、その位置を基準点としている IVR 装置もある。つまり基準点線量と言っても、IVR 装置によって位置の定義が異なる場合があり、IVR 装置間で基準点線量を比較する際は注意しなければならない。

文献

- 1) Wong L, Rehm J.: Images in clinical medicine: radiation injury from a fluoroscopic procedure. N Engl J Med 350:e23,(2004)
- 2) International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 85: avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. Ann ICRP 2001;30/2 :Publication 85
- 3) U.S. Food and Drug Administration. Recording information in the patient's medical record that identifies the potential for serious X-ray-induced skin injuries. Rockville, MD: Center for Devices and Radiological Health, FDA: September 15, 1995 publication.
- 4) Limacher MC, Douglas PS, Germano G, et al.: ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology. American College of Cardiology. J Am Coll Cardiol; 31:892-913, (1998)
- 5) Hwang E, Gaxiola E, Vlietstra RE, et.al.: Real-time measurement of skin radiation during cardiac catheterization. Cathet Cardiovasc Diagn 43:367-370, (1998)
- 6) 江口陽一, 木村均, 土佐鉄雄, ほか: 被検者被曝線量の実用的な測定方法. 全循研誌, 12, 14-17, (2000).
- 7) Chida K, Saito H, Zuguchi M, et. al.: Does digital acquisition reduce patients' skin dose in cardiac interventional procedures? An experimental study. Am J Roentgenol (AJR) 183(4), 1111-1114,(2004)
- 8) Chida K, Fuda K, Saito H, et al.: Patient skin dose in cardiac interventional procedures: Conventional fluoroscopy versus Pulsed fluoroscopy. Cathet Cardiovasc Intervent, 69(1), 115-121. (2007).
- 9) Chida K, Morishima Y, Katahira Y, et al.: Evaluation of additional lead shielding in protecting the physician from radiation during cardiac interventional procedures. Jpn J Radiological Technology;61(12):1632-1637. (2005)
- 10) 千田浩一: 心血管 IVR における被曝線量計測評価に関する諸問題: 患者被曝に関して. 日放技学誌, 62 (11), 1507-1515, (2006).
- 11) 富樫厚彦. :IVR に伴う放射線皮膚障害報告症例から放射線防護を考える. 日放技学誌 57(12):1444-1450, (2001)
- 12) Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK.: Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. Am J Roentgenol (AJR) 177: 3-11,(2001)
- 13) Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK.: Skin injuries from fluoroscopically guided procedures:

- part 2, review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient. *Am J Roentgenol (AJR)* 177:13–20, (2001)
- 14) Chida K, Fuda K, Kagaya Y, et al.: Influence of the Target Vessel on the Location and Area of Maximum Skin Dose during Percutaneous Coronary Intervention. *Acta Radiol* 48(8):846–850, (2007).
 - 15) 吉村秀太郎：フィルム法による PCI 時の患者被曝線量測定. *日放技術学会計測分科会誌* 14(2): 22-26, (2006).
 - 16) Lickfett L, Mahesh M, Vasamreddy C, et al.: Radiation exposure during catheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation* 110:3003-3010.(2004).
 - 17) Rosenthal LS, Mahesh M, Beck TJ, et al.: Predictors of Fluoroscopy Time and Estimated Radiation Exposure During Radiofrequency Catheter Ablation Procedures. *Am J Cardiol* 82: 451–458.(1998).
 - 18) 千田浩一, 佐藤州彦.:ケアグラフによる IVR 被曝測定. *日放技術学会計測分科会誌*.11(1) : 31-37, (2003).
 - 19) 水谷 宏, 梅津芳幸, 江口陽一, ほか : IVR における患者被曝線量の測定と防護に関する研究班報告. *日放技学誌*, 59 (3), 369-381, (2003).
 - 20) Chida K, Saito H, Otani H, et.al.: Relationship between fluoroscopic time, dose–area product, body weight, and maximum radiation skin dose in cardiac interventional procedures. *Am J Roentgenol (AJR)* 186(3): 774-778, (2006).
 - 21) den Boer A, de Feijter PJ, Serruys PW, et al. Real-Time Quantification and Display of Skin Radiation During Coronary Angiography and Intervention. *Circulation*. 104:1779-1784. (2001).
 - 22) Chida K, Saito H, Kagaya Y, et. al.: Indicators of the maximum radiation dose to the skin during percutaneous coronary intervention in different target vessels. *Cathet Cardiovasc Intervent*, 68(2): 236-241.(2006).
 - 23) Chida K, Kagaya Y, Saito H, et.al.: TOTAL ENTRANCE SKIN DOSE: An effective indicator of the maximum radiation dose to a patient's skin during percutaneous coronary intervention. *Am J Roentgenol (AJR)* 189(4): W224-227, (2007).
 - 24) McFadden SL, Mooney RB, Shepherd PH: X-ray dose and associated risks from radiofrequency catheter ablation procedures. *Br J Radiol* 75: 253-265, (2002).
 - 25) Hirshfeld JW, Balter S, Brinker JA, et. al.: ACCF/AHA/HRS/SCAI Clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures. *Circulation* 111:511–532. (2005).
 - 26) 坂本肇, 中村修, 弓削誠, ほか.:面積線量計による患者被曝管理の検討.*日放技学誌* 56(10), 1256-1265.(2000)
 - 27) 前川昌之編 日本放射線技術学会計測分科会 : 医療被ばく測定テキスト. 放射線医療技術学叢書, (25), 59-69, 日本放射線技術学会, 京都, (2006).
 - 28) Cusma JT et al.: Real-time measurement of radiation exposure to patients during diagnostic coronary angiography and percutaneous interventional procedures. *JACC*. 33:427–435, (1999).
 - 29) 竹井泰孝: PEMNET による IVR 被曝測定. *日放技術学会計測分科会誌*.11(1) : 26-30, (2003).
 - 30) Miller DL,et al.: Radiation doses in interventional radiology procedures: Part II. *JVIR* 14(8):977-990. (2003).