IVR 用 X 線装置における空気カーマの実測値と 装置表示値の多施設実態調査

田邊頌章¹ 関口博之² 塚本篤子³ 石田浩之⁴ 上野浩輝⁵ 橘高大介⁶
田倉寛恵⁷ 藤村耕平⁸ 田島 修⁹ 佐藤久弥¹⁰ 田島隆道¹ 廣島 博¹

¹ 横浜市立市民病院画像診断部

² 青梅市立総合病院放射線科

³ NTT 東日本関東病院放射線部

⁴ 新東京病院放射線科

⁵ 埼玉石心会病院放射線室(現 株式会社フィリップス・ジャパン)

⁶ 昭和大学大学院保健医療学研究科生体機能・形態解析領域

⁷ 総合新川橋病院放射線科(現 榊原記念病院放射線科)

⁸ 東京医科大学附属八王子医療センター放射線部

⁹ 埼玉県立循環器・呼吸器病センター放射線技術部

¹⁰ 昭和大学大学院保健医療学研究科

論文受付

2018 年 4 月 5 日

論文受理

2019 年 4 月 19 日

Code No. 622

Multicenter Survey of the Display Air Kerma and Actual Measured Values in IVR X-ray Apparatus

Nobuaki Tanabe,^{1*} Hiroyuki Sekiguchi,² Atsuko Tsukamoto,³ Hiroyuki Ishida,⁴ Hiroki Ueno,⁵ Daisuke Kittaka,⁶ Hiroe Takura,⁷ Kohei Fujimura,⁸ Osamu Tajima,⁹ Hisaya Sato,¹⁰ Takamichi Tajima,¹ and Hiroshi Hiroshima¹

¹ Department of Radiology, Yokohama Municipal Citizen's Hospital

² Department of Radiology, Ome Municipal General Hospital

³ Department of Radiology, Kanto Medical Center NTT EC

⁴ Department of Radiology, New Tokyo Hospital

⁵ Department of Radiology, Saitama Sekishinkai Hospital (Current address: Philips Japan, Ltd)

⁶ Department of Radiology, Graduate School of Health Sciences Biomechanical and Morphological Analysis, Showa University

⁷ Department of Radiology, Shinkawabashi Hospital (Current address: Department of Radiology, Sakakibara Heart Institute)

⁸ Department of Radiology, Tokyo Medical University Hachioji Medical Center

⁹ Department of Radiological Technology, Saitama Prefectural Cardiovascular and Respiratory Center

¹⁰ Department of Radiology, Graduate School of Health Sciences, Showa University

Received April 5, 2018; Revision accepted April 19, 2019

Code No. 622

Summary

Purpose: We conducted a multicenter study to investigate the current status of difference between the actual values at the patient entrance reference point (PERP) and display air kerma. **Methods:** We exposure dose and fluoroscopy dose were measured by 32 apparatuses at 32 member institutions of the Japanese Society of Circulation Imaging Technology (CITEC) under unified conditions, and the actual measured values and display air kerma were compared. We entrance doses during fluoroscopy and imaging were measured at the PERP, with focus detector distance (FDD) 110 cm, a copper plate of 3.5 mm in thickness adhered to the front face of flat panel detector (FPD) as absorber, field-of-view (FOV) 18 cm, and the frame rate of 15 f/s, excluding the bed. Display air kerma were recorded at the same time. JIS (Z 4751-2-43: 2012) specify "The reference air kerma rate and the cumulative reference air kerma shall not deviate from their respective display air kerma by more than $\pm 35\%$ over the range of 6 mGy/min and 100 mGy to the maximum value." The number of apparatuses display air kerma deviated from this condition and its percentage were obtained. **Results:** The mean difference percentage between actual measured values and display air kerma in 32 apparatuses was approximately 15.6%, with some apparatuses showing substantially different display air kerma. **Conclusion:** In order to estimate patients' skin exposure dose from display air kerma more accurately, it is necessary to perform calibration of the apparatus by regular dose measurement or convert values.

Key words: patient entrance reference point (PERP), actual values, display air kerma, JIS Z 4751-2-43: 2012

*Corresponding author

緒 言

経皮的冠動脈インターベンション (percutaneous coronary intervention: PCI) の際の入射皮膚線量は、患者の術後の放射線皮膚障害のケアのために、正確な値の把握が重要となっている¹⁻⁶⁾。PCI に従事するわれわれは、循環器 X 線撮影装置に搭載されている面積線量計や計算によってリアルタイムに表示される空気カーマ (air kerma: AK) および AK 率表示を基に患者皮膚被ばく線量を推定している。しかし、その装置表示値がどの程度正確なのか個々の施設で調査した報告はあるものの^{7,8)}、多施設での装置表示値の誤差を調査した報告は少ない⁹⁾。

われわれは、患者照射基準点 (patient entrance reference point: PERP) での AK の実測値と装置表示値との誤差率を把握する目的で、多施設で実態調査を行った。

1. 方 法

1-1 調査対象

調査の協力施設は、循環器画像技術研究会会員所属施設の中から、IVR 用 X 線装置を保有している 32 施設の 32 装置を対象とした。

32 装置のメーカーの内訳は、島津社、東芝社、GE 社、PHILIPS 社、SIEMENS 社の 5 メーカーである。また、東芝社製装置の中には東芝社独自の点における AK を表示するものがあるが、今回の測定ではすべて PERP での AK 表示をする装置で統一した。

1-2 使用機器

使用線量計は、日本品質保証機構で校正された IBA Dosimetry 社製電離箱線量計 (Dosimax plus A HV Ionization Chamber DC300) を用いた。

1-3 測定方法

X 線管-検出器間距離 (focus detector distance: FDD) を 110 cm、照射野サイズを一辺 18 cm、パルスレート (pulses per seconds: pps) を 15 pps・フレームレート (frame per seconds: fps) を 15 fps に設定した。線量計を PERP に設置し、吸収体として 3.5 mm 厚の銅板を平面検出器の前面に貼りつけ、後方散乱の影響をなくした (Fig. 1)。

電離箱線量計を用い、透視は 2 分間、撮影は 10 秒間の積算モードで透視・撮影条件を 3 回測定し、同時に装置表示値を記録した。得られた積算線量から、透視は 1 分間あたりの線量率、撮影は 1 秒間あたりの線量率を算出した。

Fig. 1 Schematic diagram of the geometry were used for the measurements in this study.

1-4 評価方法

1-4-1 評価方法①

得られた実測値と装置表示値の差がどれくらいあるかを求めるため、二つの数値の差分を実測値で除した数値の百分率を誤差率として算出した。また、その誤差率を絶対値にした数値で平均値を求めた。

算出方法

$$\text{誤差率}(\%) = (A - B) / B \times 100$$

A: 装置表示値

B: 実測値

1-4-2 評価方法②

JIS Z 4751-2-43: 2012¹⁰⁾ において、「基準空気カーマ率及び積算基準空気カーマは、それぞれ 6 mGy/min 以上、及び 100 mGy 以上で、表示した値から±35%以下の誤差でなければならない」と規定されている。今回の測定において、この条件から外れている装置台数とその割合を算出した。

なお、平成 27 年 9 月 30 日までは、JIS Z 4751-2-43: 2005 で規定されている±50%以下の誤差も JIS Z 4751-2-43: 2012 との併用期間として認められており、今回計測した装置の中にはこの条件に当てはまる装置も含まれるが、JIS Z 4751-2-43: 2012 に移行する中での現状把握として、本論文では±35%以下を評価の基準とする。

1-4-3 評価方法③

装置表示値を面積線量計 (dose area product: DAP) から算出している 21 装置と、装置の出力条件から計算値として算出している 11 装置の 2 群に分け、AK

Table Measurement result table (Minus notation is underestimated)

Apparatus	Manufactures	Difference percentage on fluoroscopy (%)	Difference percentage on imaging (%)
1	A	11.4	16.7
2	A	35.5	28.0
3	D	-13.5	-21.7
4	C	35.3	28.1
5	B	13.6	12.5
6	C	39.1	39.1
7	A	2.8	4.8
8	D	0.0	0.0
9	D	-16.2	-24.6
10	B	16.1	18.8
11	A	17.4	18.9
12	A	13.5	15.4
13	B	26.0	19.1
14	A	10.5	7.4
15	D	-25.8	-27.8
16	E	-11.2	-12.5
17	A	3.1	0.0
18	E	14.2	16.7
19	A	8.2	27.8
20	B	13.4	9.5
21	B	13.8	13.5
22	E	7.4	-2.1
23	E	11.3	4.7
24	D	14.7	10.7
25	B	15.1	13.8
26	B	-1.0	-1.1
27	B	18.9	-2.3
28	B	24.1	14.6
29	B	24.1	37.1
30	D	-35.3	-38.9
31	D	-11.0	-14.1
32	A	1.0	9.8

の算出方法により誤差率に違いがあるのかを検討した。

2. 結 果

2-1 実測値と装置表示値の誤差率

透視、撮影ともに、実測値と装置表示値の誤差率の最大値は39.1%、最小値は0%であった(Table)。

透視において実測値より装置表示値が上回っていた装置は24装置、下回っていた装置は7装置、一致していた装置は1装置であった(Fig. 2)。

撮影において実測値より装置表示値が上回っていた装置は21装置、下回っていた装置は9装置、一致していた装置は2装置であった(Fig. 3)。

2-2 誤差率±35%を超えていた装置台数とその割合

実測値と表示値の誤差率が±35%を超えていた装置は、透視において4装置で全体の12.5%、撮影においては3装置で全体の9.4%であった。

また、どちらかが超えていた装置は5装置で全体の

15.6%であった。

2-3 AKの算出方法の違いによる差

透視においてAKを計算値のみで算出している11装置すべてで実測値より表示値が上回っていた(Fig. 4)。また、撮影においては10装置(90.9%)が実測値より表示値が上回っており、1装置(9.1%)が一致していた(Fig. 5)。

透視においてDAPから算出している装置は、13装置(61.9%)が実測値より表示値が上回っており、7装置(28.6%)が下回っていた。一致している装置は1装置(4.8%)であった(Fig. 6)。

また、撮影においては11装置(52.4%)が実測値より表示値が上回っており、9装置(42.9%)が下回っていた。一致している装置は1装置(4.8%)であった(Fig. 7)。

3. 考 察

実測値より表示値の方が大きかった、または同等で

Fig. 2 Difference percentage on fluoroscopy (Circle is a value of $\pm 35\%$ or more).

Fig. 3 Difference percentage on imaging (Circle is a value of $\pm 35\%$ or more).

Fig. 4 Difference percentage of the apparatus which calculates the AK in calculated value during fluoroscopy.

あった装置は、透視において 24 装置で全体の 75%、撮影においては 21 装置で全体の 65.6%であった。放射線被ばく防護の観点から考えると、多くの装置で安全側によった設定がなされているのではないかと考え

られた。

実測値と装置表示値の誤差率が $\pm 35\%$ を超える装置は、透視において全体の 12.5%、撮影において 9.4%であった。また、どちらかが超えていた装置は全体の

Fig. 5 Difference percentage of the apparatus which calculates the AK in calculated value during imaging.

Fig. 6 Difference percentage of the apparatus which calculates the AK in DAP during fluoroscopy.

Fig. 7 Difference percentage of the apparatus which calculates the AK in DAP during imaging.

15.6%であった。全体の84.4%がJIS Z 4751-2:43:2012の中に収まっていたものの、15.6%の装置はこれを逸脱していた。

また、透視・撮影において逸脱していた装置は特定

のメーカーに偏っていなかった。

次にAKの算出方法の違いによる差であるが、透視・撮影においてDAPから算出している装置は、実測値に対して表示値が上回っている装置と下回ってい

る装置が混在し、ばらつきがみられたのに対し、計算値のみから算出している装置は、下回っている装置は1台もなく、上回っている装置が95%以上を占めていた。このことから、AKを計算値から算出している装置は入射皮膚線量の評価において、安全側によった値が算出されるようにメーカーの設定により調整されていると考えられる。

32装置中2台の装置においては透視の値が上回っているのに対し、撮影の値は下回っていた。この2台の装置はいずれもDAPからAKを算出していることから、DAPの時定数やメーカー担当者の校正による影響が考えられる。

メーカーによる偏りがなく、AKの算出方法で大きな違いが出たことから、DAPを用いている装置はDAPの校正が、計算値を用いている装置はメーカーの調整が誤差率に大きく関与していると考えられる。

加藤ら¹¹⁾によると、装置に表示されるAKと最大皮膚線量は強い相関を示すとされており、装置表示値を用いて入射皮膚線量を推定することは有用であるが、その場合、実測値と誤差があることに留意する必要がある。より正確に入射皮膚線量を評価するためには、自身で実測を行い自施設の装置表示値との差を把握することが重要であると考えられる。

また、DAPに用いられる平行平板型線量計は、リアルタイム性、簡便性に優れるものの線質依存性が高く、その誤差は少なくない。その特徴を理解したうえ

で、ユーザ側で測定結果と装置表示値が乖離していた場合は、メーカーに調整を依頼し、自施設の装置表示値がどのように調整されているのか確認し、その後再度ユーザ側で定期的に線量測定を行い換算係数を求め表示値に乗じて管理するなどの対策が有効であると考えられる。

本調査では、各施設・装置の定期メンテナンスの頻度、メーカーによる校正方法、各装置の使用年数の確認を行っていない。今後研究会として調査を行う際は、これらの項目を含め、より一層誤差の実態を明らかにしていきたい。

4. 結 語

PERPの多施設線量測定調査の結果、JIS Z 4751-2-43:2012から逸脱する装置は全体の15.6%であった。装置表示値からできるだけ正確な入射皮膚線量を推定するためには自施設の装置の特徴を理解する必要がある。そのためには線量測定を定期的に行い、装置表示値を調整するか換算係数を用いることが必要である。

謝 辞

本研究の調査にあたり、ご協力いただいた32施設の担当技師の皆様に深く感謝いたします。

なお、本論文の要旨は第72回日本放射線技術学会総会(2016年4月、横浜)にて発表した。

参考文献

- 1) Balter S, Hopewell JW, Miller DL, et al. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 2010; 254(2): 326-341.
- 2) Kato M, Chida K, Sato T, et al. The necessity of follow-up for radiation skin injuries in patients after percutaneous coronary interventions: radiation skin injuries will often be overlooked clinically. *Acta radiol* 2012; 53(9): 58-61.
- 3) 日本循環器学会. 循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン(2011年改訂版).
- 4) International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 85: avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP* 2001(30/2: Publication 85).
- 5) 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. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. *J Am Coll Cardiol* 2004; 44(11): 2259-2282.
- 6) Wong L, Rehm J. Images in clinical medicine: radiation injury from a fluoroscopic procedure. *N Engl J Med* 2004; 350: e23.
- 7) 新山雄志, 川原 浩, 末永浩一. 透視装置における線量表示値と実測値の比較検討. *日放技学誌* 2013; 69(9): 1069.
- 8) 酒井亮介, 小林 剛, 他. 血管撮影装置における線量表示値と実測値の比較検討. *東京福祉保健医療会誌* 2010; 6: 42-43.
- 9) Chida K, Inaba Y, Morishima Y, et al. Comparison of dose at an interventional reference point between the displayed estimated value and measured value. *Radiol Phys Technol* 2011; 4(2): 189-193.
- 10) 日本工業規格. IVR用X線装置—基礎安全及び基本性能. <http://kikakurui.com/z4/Z4751-2-43-2012-01.html>.
- 11) 加藤 守, 千田浩一, 盛武 敬, 他. 心臓インターベンション時の皮膚入射線量実測による多施設線量評価. *日放技学誌* 2016; 72(1): 73-81.

問合先

〒240-8555 横浜市保土ヶ谷区岡沢町56番地
横浜市立市民病院画像診断部 田邊頌章