

線量管理システムを活用したPCIにおける 新旧X線装置間の患者被ばく線量の比較

Comparative Evaluation of Patient Radiation Dose Between New and Old X-ray Systems in Percutaneous Coronary Intervention Using a Dose Management System

平野 高望^{1)*}, 若林 卓斗²⁾, 荘司 学³⁾, 先山 耕史⁴⁾, 安田 光慶⁵⁾, 佐藤 久弥⁶⁾

1) 修士 (保健医療学) 昭和医科大学病院 放射線技術部 診療放射線技師 / 昭和医科大学 保健医療学部 大学院保健医療学研究科

2) 昭和医科大学江東豊洲病院 放射線技術部 診療放射線技師

3) 昭和医科大学病院 放射線技術部 診療放射線技師

4) 博士 (保健医療学) 昭和医科大学病院 放射線技術部 診療放射線技師 / 昭和医科大学 保健医療学部 大学院保健医療学研究科

5) 博士 (保健衛生学) 昭和大学藤が丘病院 放射線技術部 診療放射線技師 / 昭和医科大学 保健医療学部 大学院保健医療学研究科

6) 博士 (保健衛生学) 昭和医科大学病院 放射線技術部 診療放射線技師 / 昭和医科大学 保健医療学部 大学院保健医療学研究科

Key words: Dose management system, Percutaneous coronary intervention, Radiation exposure, X-ray fluoroscopy system, Image quality evaluation

【Abstract】

The purpose of this study was to compare radiation exposure and image quality between new and old angiographic X-ray systems used for percutaneous coronary intervention (PCI), using a dose management system. The study included 136 patients who underwent PCI for single-vessel coronary artery disease. Comparison items were fluoroscopy time, radiographic acquisition time, and reference air kerma (Ka,r). Analysis was performed using the Wilcoxon rank-sum test and Spearman's correlation coefficient. The new system reduced Ka,r during radiographic acquisition by approximately 40%, yielded significantly higher visual assessment scores, and showed good correlations between body mass index (BMI) and radiographic exposure parameters. Utilizing the dose management system enables quantitative assessment of system-specific dose characteristics and is useful for managing and optimizing patient radiation exposure.

【要 旨】

本研究の目的は、線量管理システムを用いて経皮的冠動脈形成術における血管造影X線診断装置の、新旧装置間の被ばく線量と画質を比較することである。対象は、単一血管病変に対しpercutaneous coronary intervention : PCIを施行した136症例とし、比較項目には透視時間、撮影時間およびKa,rとし、Wilcoxon検定およびSpearmanの相関係数で解析した。新装置では撮影時のKa,rが約40%低減し、視覚評価スコアも有意に高く、BMIと撮影条件の相関も良好であった。線量管理システムの活用は装置特性を定量的に把握でき、被ばく線量の管理および最適化に有用である。

緒 言

虚血性心疾患の治療には薬物療法、内科的治療、および外科的治療が存在する。特に経皮的冠動脈形成術(percutaneous coronary intervention : PCI)は急性心筋梗塞をはじめとする虚血性心疾患に対して高い治療成績を示し、第一選択の治療法として確立されている。本邦においては年間24万件を超えるPCIが施

行されており、近年では使用されるデバイスの多様化や技術の向上により、難易度の高い手技も頻繁に実施されるようになった¹⁾。これに伴い、治療時間の延長による撮影回数や透視時間の増加が、患者の放射線皮膚障害を引き起こす可能性が指摘されている²⁻³⁾。

一方で、放射線被ばく管理に関しては、「IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン」や「循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライ

HIRANO Takaho, MS.^{1)*}, WAKABAYASHI Takuto²⁾,
SHOJI Manabu³⁾, SAKIYAMA Koshi, Ph.D.⁴⁾,
YASUDA Mitsuyoshi, Ph.D.⁵⁾, SATO Hisaya, Ph.D.⁶⁾

- 1) Department of Radiological Technology, Showa Medical University Hospital, Radiological Technologist / Graduate School of Health Sciences, Showa Medical University
- 2) Department of Radiological Technology, Showa Medical University Koto Toyosu Hospital, Radiological Technologist
- 3) Department of Radiological Technology, Showa Medical University Hospital, Radiological Technologist
- 4) Department of Radiological Technology,

Showa Medical University Hospital, Radiological Technologist / Graduate School of Health Sciences, Showa Medical University

- 5) Department of Radiological Technology, Showa Medical University Fujigaoka Hospital, Radiological Technologist / Graduate School of Health Sciences, Showa Medical University
- 6) Department of Radiological Technology, Showa Medical University Hospital, Radiological Technologist / Graduate School of Health Sciences, Showa Medical University

* E-mail: taka1222@cmed.showa-u.ac.jp

Received July 14, 2025 ; accepted March 2, 2026

ン」に基づき、1 Gy 以上では被ばく線量と部位の記録が求められる⁴⁻⁵⁾。また3 Gy 以上では脱毛や発赤の可能性があるため、患者への説明が必要とされる。これらの背景より、放射線被ばくの適正管理が求められるようになり、2019年3月の医療法改正では、診療用放射線を取り扱う医療機関において、放射線診療を受ける患者の被ばく線量の管理および記録、ならびに診療用放射線の安全利用を目的とした改善策の実施が義務付けられた⁶⁻¹³⁾。これにより、Positron Emission Tomography (PET) 検査、核医学検査、Computed Tomography (CT) 検査、血管造影検査および治療における放射線被ばく管理の重要性が高まった。

このような状況を踏まえ、近年では放射線被ばく線量管理システムの開発および普及が進んでいる。線量管理システムでは、国際規格である Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) 内の Radiation Dose Structured Report (RDSR) と連携することで管電圧、管電流、照射時間、面積線量や患者照射基準点空気カーマ (reference air kerma: $K_{a,r}$) などの詳細な情報を自動的に取得し、手技別、装置別、術者別の被ばく線量の傾向を可視化できる。これにより、被ばく線量の不均一や過剰照射の早期検出、装置設定の最適化、診断参考レベル (diagnostic reference levels: DRLs) に基づく線量管理および施設全体での被ばく低減策の立案が可能となる¹⁴⁻¹⁵⁾。

近年の血管撮影装置の進歩に目を向けると、デジタル処理技術の発達により、被ばく線量の低減および画質の向上が報告され¹⁶⁻²⁰⁾、各施設における装置更新では、被ばく線量が低減されることが期待されている。

本研究では、線量管理システムを用いて新旧装置間の被ばく線量を比較し、撮影条件の違いが画質に及ぼす影響を評価した。これにより、線量管理システムが装置性能や撮影条件の差異を定量的かつ客観的に可視化し、被ばく線量の最適化および画質維持の両面から有用であることを明らかにすることを目的とした。

本研究は当院の倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号: 2025-0118, 承認日: 2025年6月4日)。

1. 方 法

1-1 使用装置および撮影条件

使用した血管造影X線診断装置は、旧装置 (Allura Xper FD10/10, Philips Medical Systems, Eindhoven, Nederland: 以下, Old system) および新装置 (Azurion 7B12, Philips Medical Systems: 以下, New system) とした。なお旧装置は2008年製、新装置は2019年製である。撮影条件は、新旧装置共に透視7.5 pulses/s、撮影15 frames/sと統一した。透視および撮影における使用フィルターおよびDetector doseはTable 1に示す。ただし、旧装置における管電流は、透視時160 mA、撮影時200 mAで一定とした。線量管理システムはDose Manager (キューアホープ、大阪) を使用した。

1-2 データ抽出期間および対象症例

データ抽出期間は、旧装置では2021年4月1日から2021年8月15日までとし、新装置では2022年9月20日から2023年1月31日までとした。対象症例は単一枝病変に対してPCIを行った症例とし、thrombolysis in myocardial infarction (TIMI) Grade 3を得られた症例のみとした。ただし、慢性完全閉塞 (chronic total occlusion: CTO) の症例や急変等の大動脈内バルーンパンピング、経皮的心肺補助装置を使用した症例は除外した。

またPCIの対象血管は、右冠動脈 (right coronary artery: RCA)、左前下行枝 (left anterior descending artery: LAD)、左回旋枝 (left circumflex artery: LCX) の3つに分類した。解析対象は計136例 (RCA: 旧装置20例、新装置11例、LAD: 旧装置35例、新装置40例、LCX: 旧装置12例、新装置18例) である。

1-3 患者および被ばく情報の取得

本研究では、線量管理システムから患者情報および被ばく情報を取得した。患者情報として、身長、体重、年齢の3項目を取得し、身長と体重から体格指数

Table 1 Filters and Detector dose Settings in the Old and New Systems

	Old system		New system	
	Fluoroscopy	Radiography	Fluoroscopy	Radiography
Filter	0.4 mmCu+1.0 mmAl	0.1 mmCu+1.0 mmAl	0.4 mmCu+1.0 mmAl	0.4 mmCu+1.0 mmAl
Detector dose	250 nGy/s	140 nGy/frame	200 nGy/s	60 nGy/frame

Fig.1 Radiation Dose Report Screen

(body mass index : BMI) を算出した。算出方法は、体重を身長²で除して算出した (BMI = 体重 [kg] / 身長 [m]²)。また被ばく情報として、装置名、透視および撮影の管電圧、管電流、時間、Ka,rを定義し、データを取得した。患者情報については、新旧装置間で患者体型に有意差がないか比較した。実際の線量レポートを Fig.1 に示す。線量レポート内の総線量と表記されている項目がKa,rに相当する。

1-4 新旧装置間における被ばく情報の比較および体型との相関解析

新旧装置間の被ばく情報に関する検討項目は、透視、撮影時間およびKa,rの比較、ならびに透視、撮影条件とBMIの相関を解析した。

1-5 臨床画像の視覚評価

PCI症例における臨床画像の新旧装置間の視覚評価を行った。評価者は循環器内科医師6人(経験年数4~10年, 平均経験年数6.5年)とした。評価方法として、

新旧装置において同一患者、同一角度、同じ造影剤注入条件下で撮影したそれぞれ10シリーズ、合計20シリーズの動画を5段階評価(1: 見にくい, 2: 少し見にくい, 3: 普通, 4: 見やすい, 5: とても見やすい)した。視覚評価の判断は、コントラスト、分解能、ノイズを考慮し、総合的に判断した。観察環境は同一モニターを使用し、観察時間は任意とした。なお本研究における視覚評価の実施に際しては、評価者に対して当該研究への

の利用に関する説明を行い、同意を取得した。

1-6 統計解析

統計解析にはJMP Pro 16.0(SAS Institute, Cary, NC, USA)を使用した。

新旧装置間における患者情報(身長、体重、BMI、年齢)、透視時間、撮影時間、Ka,rおよび視覚評価スコアの比較には、Wilcoxonの順位和検定を用いた。透視、撮影条件とBMIの相関は、Spearmanの順位相関係数を用いて検討した。全ての解析の有意水準は0.05とした。

2. 結果

2-1 患者および被ばく情報の取得

線量管理システムより取得されたCSVファイルデータから、患者情報(身長、体重、BMI、年齢)を新旧装置間で分類した結果をTable 2に示す。全ての対象症例において、新旧装置間の患者情報に統計的な

Table 2 Comparison of Patient Characteristics between the Old and New Systems

Vessel	Systems	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	Age (years)
Right coronary artery	Old system	162.3±11.4	62.9±12.7	23.8±3.5	72.7±13.0
	New system	165.2±9.7	66.8±14.7	24.3±3.7	71.8±9.3
	p-value	0.32	0.46	0.29	0.46
Left anterior descending artery	Old system	162.7±10.2	65.8±12.6	24.8±3.4	73.4±11.1
	New system	161.1±10.2	62.7±12.2	23.9±2.9	71.8±12.1
	p-value	0.30	0.06	0.10	0.29
Left circumflex artery	Old system	164.2±7.1	68.3±13.5	25.3±4.4	72.3±10.8
	New system	162.1±8.0	65.7±14.1	24.9±4.5	74.1±10.6
	p-value	0.40	0.18	0.33	0.42

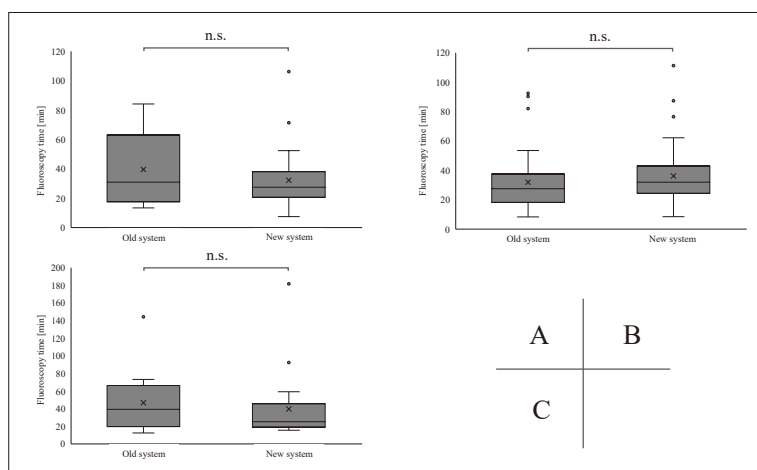


Fig.2 Comparison of Fluoroscopy Time between the Old and New Systems

A: Right coronary artery B: Left anterior descending artery
C: Left circumflex artery

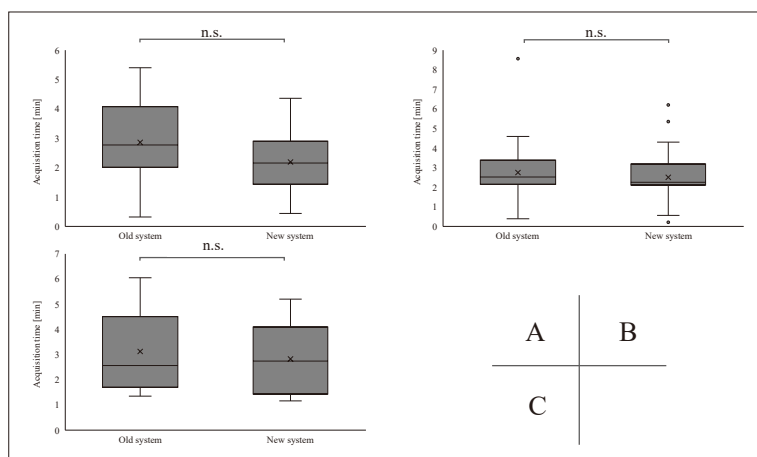


Fig.3 Comparison of Acquisition Time between the Old and New Systems

A: Right coronary artery B: Left anterior descending artery
C: Left circumflex artery

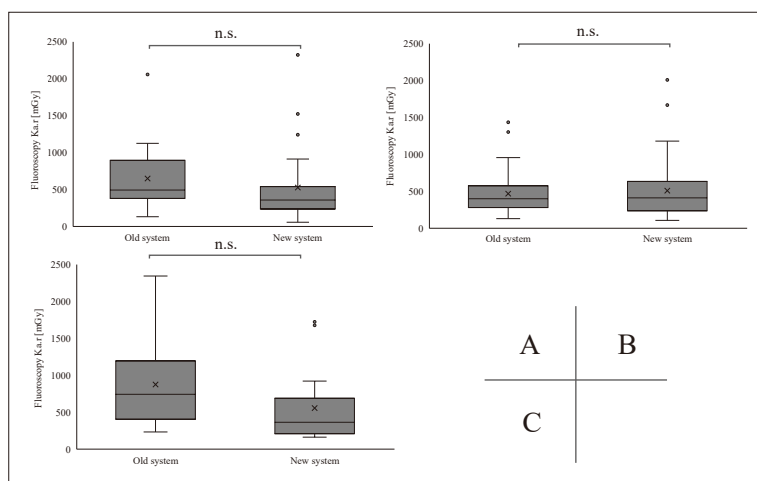


Fig.4 Comparison of Fluoroscopic Ka,r between the Old and New Systems

A: Right coronary artery B: Left anterior descending artery
C: Left circumflex artery

差は認められなかった ($p \geq 0.05$).

2-2 新旧装置間における被ばく情報の比較および体型との相関解析

Fig.2に、新旧装置間における透視時間の比較を示す。RCAでは $p=0.79$, LADでは $p=0.17$, LCXでは $p=0.63$ であり、いずれも有意差は認められず、透視時間に装置間の差はなかった。

Fig.3に、新旧装置間における撮影時間の比較を示す。RCAでは $p=0.51$, LADでは $p=0.33$, LCXでは $p=0.53$ であり、撮影時間においても装置間の有意差は認められなかった。

Fig.4に、新旧装置間における透視時のKa,rの比較を示す。RCAでは $p=0.96$, LADでは $p=0.80$, LCXでは $p=0.55$ であり、透視Ka,rに装置間の有意差はなかった。

Fig.5に、新旧装置間における撮影時のKa,rの比較を示す。RCA, LAD, LCXのいずれの血管においても $p<0.05$ であり、新装置では旧装置と比較して撮影時のKa,rが有意に低値を示した。また各冠動脈枝 (RCA, LAD, LCX) の平均値を統合して評価した結果、新装置では旧装置と比較して撮影時のKa,rが平均約40%低減していた。

Fig.6に、新旧装置における透視時の管電圧および管電流とBMIとの相関を示す。旧装置では、管電圧との相関係数は $r=0.1$ と相関はなく、管電流との相関係数は $r=0.4$ と弱い相関であった。一方、新装置では、管電圧との相関係数は $r=0.6$, 管電流との相関係数は $r=0.5$ と相関が認められた。

Fig.7に、新旧装置における撮影時の管電圧および管電流とBMIとの相関を示す。旧装置では、管電圧との相関係数は $r=0.3$ と弱い相関であり、管電流との相関係数は $r=0.1$ であり相関はなかった。一方、新装置では、管電圧および管電流とBMIの相関係数はいずれも $r=0.5$ であり相関が認め

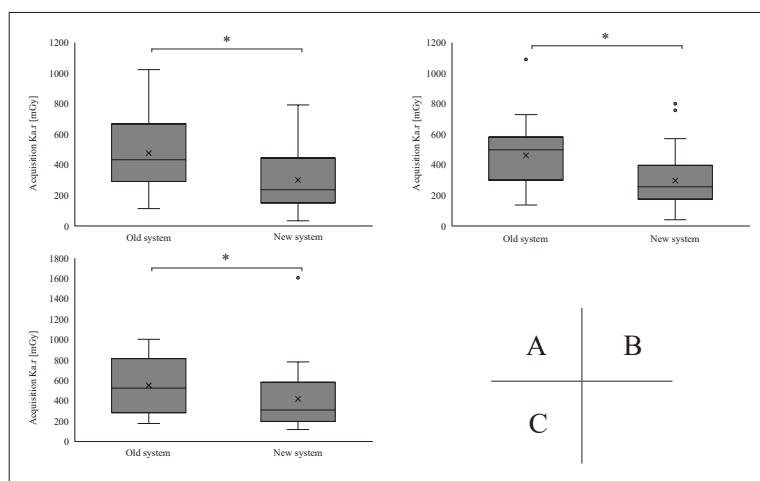


Fig.5 Comparison of Acquisition Ka,r between the Old and New Systems

A: Right coronary artery B: Left anterior descending artery
C: Left circumflex artery

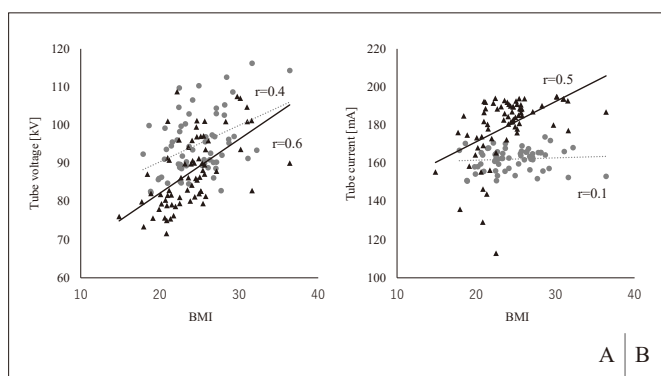


Fig.6 Relationship between Fluoroscopy Settings and BMI in the Old and New Systems

A: Relationship between Tube Voltage and BMI
B: Relationship between Tube Current and BMI
* Dotted line: Old System Solid line: New System

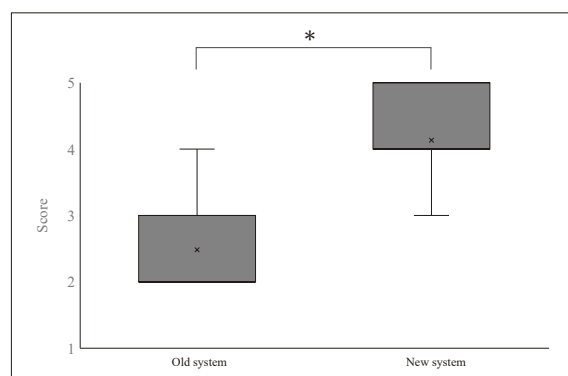


Fig.8 Comparison of Visual Image Quality Between the Old and New Systems

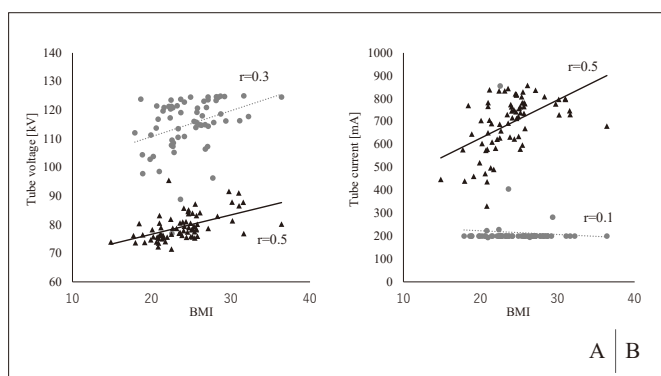


Fig.7 Relationship Between Acquisition Settings and BMI in the Old and New Systems

A: Relationship between tube voltage and BMI
B: Relationship between tube current and BMI
* Dotted line: Old System Solid line: New System

Evaluator	Systems	
	Old system	New system
Evaluator A	2.60 ± 0.70	4.60 ± 0.52
Evaluator B	2.40 ± 0.52	4.00 ± 0.82
Evaluator C	2.50 ± 0.53	4.30 ± 0.67
Evaluator D	2.70 ± 0.67	4.00 ± 0.82
Evaluator E	2.50 ± 0.71	4.00 ± 0.67
Evaluator F	2.20 ± 0.42	3.90 ± 0.74

Fig.9 Comparison of visual scores between the Old and New Systems for each evaluator

られた。

2-3 臨床画像の視覚評価

Fig.8に撮影画像の画質評価の結果を示し、Fig.9に評価者6人のスコア表を示し、Fig.10に同一患者、同一角度における新旧装置間の臨床画像を提示する。撮影画像の画質評価は、同一患者、同一角度における撮影において実施され、旧装置の平均スコアは2.8、新装置では4.1であり、新装置の方が有意に高い評価となった。

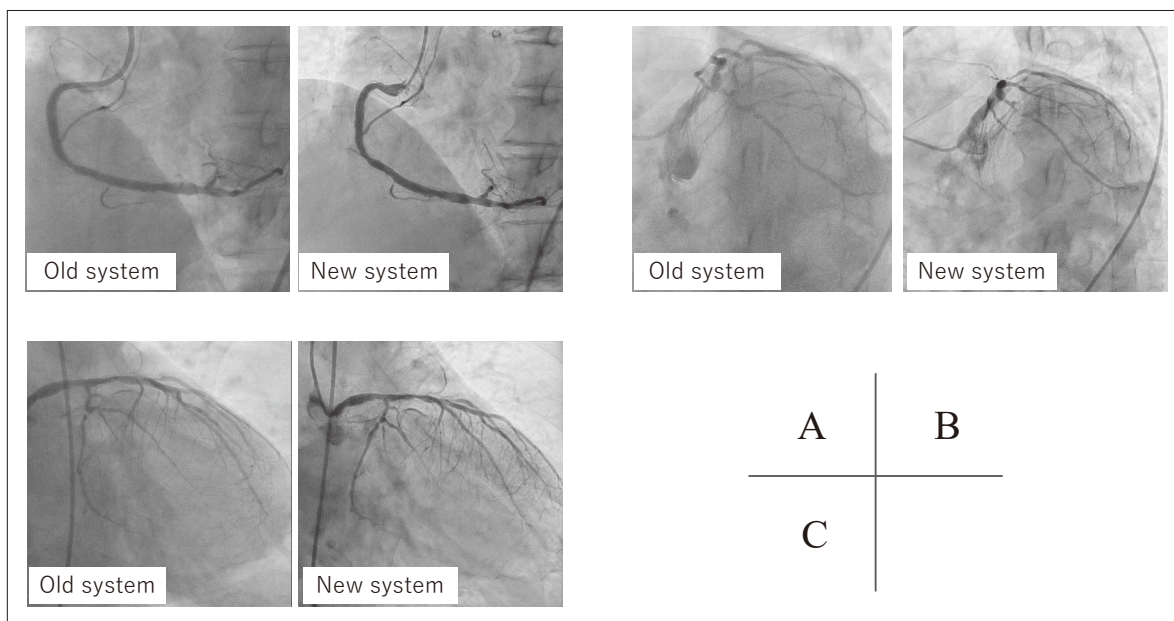


Fig.10 Comparison of Images of the Same Angle in the Same Patient between the Old and New Systems

A: LAO B: LAO-CAU C: RAO-CAU

3. 考 察

本研究では、線量管理システムを用いて新旧装置間の Ka_r と撮影条件および画質を比較した。その結果、新装置では撮影時の Ka_r が旧装置と比較して平均約40%低減しているにもかかわらず、視覚評価スコアは高値であり、被ばく低減と画質の維持が両立していることが明らかとなった。また管電圧および管電流とBMIとの関係から、新装置では患者体型に応じて自動露出制御が適切に機能していることが示唆された。これらの所見は、線量管理システムの活用が装置ごとの撮影条件の把握と被ばく線量の管理および最適化、さらに画質維持の観点から有用であること示している。

透視条件における付加フィルター設定は新旧装置共に0.4 mmCu+1.0 mmAlで統一されていたが、Detector doseには差があり、旧装置では250 nGy/s、新装置では200 nGy/sと、50 nGy/sの違いがあった。通常、付加フィルターが同一である場合、Detector doseの差が被ばく線量に影響を及ぼすと考えられる。しかし、透視時の Ka_r の比較では、新旧装置間に有意差は認められなかった。この結果については、Fig.6に示されるように、旧装置では管電流が約160 mAで一定となっており、BMIとの相関がなかったことが影響していると考えられる。一般的に、BMIが増加すると受光面に到達するX線量が減少するため、画質を一定に保つためには管電流を増加させる必要がある。し

かし、旧装置ではBMIの増加に応じた管電流の調整がされない設定であったため、高いBMI群においては必要な線量が確保されず、収集された透視 Ka_r は本来必要とされる値よりも低くなったと考えられる。結果として、新旧装置間の比較において、旧装置では高BMI症例における Ka_r が相対的に低値となる傾向が認められた。このことは、高BMI症例において必要線量が確保されず、画質が低下している可能性を示唆するものであり、線量管理システムの解析によってその傾向を定量的に把握できた点が特徴である。すなわち線量管理システムを用いることで、患者体型に応じた撮影条件の偏りを可視化し、画質の安定性を担保する上での運用上の課題を抽出できたと考えられる。

撮影条件においては、付加フィルターの設定が旧装置では0.1 mmCu+1.0 mmAl、新装置では0.4 mmCu+1.0 mmAlとなっており、Detector doseの設定は旧装置で140 nGy/frame、新装置で60 nGy/frameと、新装置では付加フィルター厚が増加し、かつDetector doseが低減された条件となっていた。これらの違いから、新装置での線量低減は予測可能である。しかし、線量管理システムを用いることで、これらの撮影条件の違いと実際の被ばく線量を解析し、装置設定が線量低減にどの程度寄与しているかを客観的に評価できたことは線量最適化の有用性を示すものである。実際、撮影時の Ka_r は約40%低減しており、線量管理システムにより、この低減効果が付加フィル

ターや管電圧設定などの装置要因によるものであることを定量的かつ客観的に評価することができた。

付加フィルターと被ばく線量に関しては、Cuフィルター厚が増加すると、画像に寄与しない低エネルギー成分が除去され、X線の実効エネルギーが高エネルギー側へシフトし、結果として被ばく線量が低減することが報告されている²¹⁾。小田らの報告によれば、Cuフィルターが0.1 mm厚くなるごとに被ばく線量は約10%低減することが示されており、Cuフィルター厚が被ばく線量に大きく関与することが指摘されている。一方、Cuフィルター厚の増加は画像のコントラスト低下につながることを知られているが、この影響は管電圧を低下させることで補償できるとされている²²⁾。大石らの報告では、管電圧が90 kVから70 kVへ低下すると画像コントラストは約1.5倍向上するとされており、本研究においても、旧装置では115 kV、新装置では80 kVが使用されていたことから、新装置ではCuフィルターの厚み増加によるコントラスト低下を管電圧の低下によって補っていると考えられる²³⁾。

一方で、管電圧を低下させるとX線が体内を十分に透過しないため、被ばく線量が増加する可能性があることが危惧されている。しかし、川嶋らの報告では、120 kV (Cu 0.1 mm厚) と90 kV (Cu 0.2 mm厚) の組み合わせで比較した場合、両者の入射表面線量は同等であったとされており、Cuフィルターの適切な使用により被ばく低減効果が実証されている²⁴⁾。これらの先行研究と本研究の結果を踏まえると、新装置における撮影条件は、被ばく線量の低減と画像コントラストの確保を両立させたバランスの良い条件であったと考えられる。実際、Fig.10を用いた視覚評価においては、新装置の画像がコントラストおよびノイズの観点から良好な評価を得ており、これが裏付けられている。このような良好な視覚評価の背景には、撮影条件の工夫に加え、interventional radiology (IVR) 装置における画像処理技術の進化も大きく寄与していると考えられる¹⁶⁻²⁰⁾。特にリアルタイムでのノイズ低減処理が可能となったことで、低線量の条件下においてもノイズを低減した視認性の高い画像の提供が可能となっている。さらに低管電圧の撮影条件にすることで、造影された血管と周囲組織のコントラストが強調され、血管の視認性が向上し、診断や治療に有用な画像が提供されたと考えられる。

本研究において、線量管理システムを用いることで、新装置では旧装置と比較して、線量と画質の両面がバ

ランス良く設計された撮影条件であることが確認された。今後、IVRにおける管理者は、線量管理システムを活用して線量と画質の関係を定量的に把握し、装置特性や患者体型を考慮した被ばくの最適化を推進していくことが求められる。

また線量データと画質評価を継続的に蓄積し解析することで、装置性能の変化や撮影条件の適正を長期的に評価できる体制構築が期待できる。線量管理システムによって取得された撮影条件および線量データを画質と併せて解析することで、低線量条件下においても画質が維持されていることを示した点は、被ばく管理の質的向上に寄与すると考えられる。

今後、線量管理をさらに効率的かつ実用的に進めていくためには、BMIや疾患区分などの臨床情報を線量管理システムに自動的に連携し、DRLs 2025における疾患別の診断参考レベルと対比できる仕組みが求められる²⁵⁾。実際に、DRLs 2025では、IVRにおいてCTO PCIと非CTO PCI、脳血管内治療など、手技および疾患区分ごとに基準値が設定されている。従ってDRLs 2025に準拠した線量管理が可能なシステムを構築し運用体制の整備が確立すれば、医療被ばく管理の質的向上につながると考えられる。

4. 結 語

本研究では、線量管理システムを用いて新旧装置間の被ばく線量を検討した。

新装置では撮影条件において約40%の線量低減が認められ、透視条件を含めた全体の被ばくも低減傾向を示した。線量管理システムの活用は、装置ごとの線量特性の把握を可能とし、被ばく線量の管理および最適化にも有用である。

利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反事項はない。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、ご協力いただきました昭和医科大学病院 放射線技術部の皆さまに深く感謝申し上げます。

発表学会

本研究の要旨は、2024年7月13日に開催されたTOPIC2024で発表した。

表の説明

Table 1 旧装置と新装置の使用フィルターおよびDetector dose

Table 2 新旧装置間の患者情報の比較

図の説明

- Fig.1 被ばく線量レポート画面
Fig.2 新旧装置間における透視時間の比較
Fig.3 新旧装置間における撮影時間の比較
Fig.4 新旧装置間における透視 Ka,r の比較
Fig.5 新旧装置間における撮影 Ka,r の比較
Fig.6 新旧装置間における透視条件とBMIとの関係
A：管電圧とBMIの関係 B：管電流とBMIの関係
*点線：Old System 実線：New System
Fig.7 新旧装置間における撮影条件とBMIとの関係
A：管電圧とBMIの関係 B：管電流とBMIの関係
*点線：Old System 実線：New System
Fig.8 新旧装置間における臨床画像の視覚評価
Fig.9 各評価者における新旧装置間の視覚評価比較
Fig.10 新旧装置間における同一患者、同角度の画像比較

参考文献

- Inohara T, et al.: Comparative Trends in Percutaneous Coronary Intervention in Japan and the United States, 2013 to 2017. J Am Coll Cardiol, 76(11), 1328-1340, 2020.
- Chida K, et al.: Radiation dose and radiation protection for patients and physicians during interventional procedure. J Radiat Res, 51(2), 97-105, 2010.
- Vano E, et al.: Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures. B J Radiol, 74, 1023-1031, 2001.
- 医療放射線防護連絡協議会, 他: IVRIに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン. https://www.jsir.or.jp/wp-content/uploads/2015/03/ivr_hifusyogai_GL.pdf
- 日本循環器学会, 他: 2021年改訂版 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. https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Kozuma.pdf
- Miller D.L., et al.: Quality improvement guidelines for recording patient radiation dose in the medical record. J Vasc Interv Radiol, 15(5), 423-429, 2004.
- Stecker M.S., et al.: Guidelines for patient radiation dose management. J Vasc Interv Radiol, 20(7), 263-273, 2009.
- 加藤 守, 他: 経皮的冠動脈インターベンションにおける患者被曝に関して. 心臓, 42(10), 1285-1293, 2010.
- 厚生労働省: 医療法施行規則 (昭和23年厚生省令第50号) 第1条の11第2項第3号の2. 1948.
- 梅津芳幸, 他: カテーテルアブレーションとPercutaneous Coronary Intervention (PCI) における被ばく低減対策の有効性の検証. 日放技学誌, 68(9), 1221-1230, 2012.
- Omar A, et al.: Assessment of the occupational eye lens dose for clinical staff in interventional radiology, cardiology and neuroradiology. Journal of radiological protection, 37(1), 145-159, 2017.
- 大友一輝, 他: ポータブルX線撮影における放射線技師の被曝防護意識に関する調査. 日本放射線安全管理学会誌, 19(1), 2-10, 2020.
- 厚生労働省: 医療法施行規則の一部を改正する省令 (平成31年厚生労働省令第21号). <https://www.mhlw.go.jp/content/12201000/000759433.pdf>
- Sakamoto H, et al.: Examination of Effectiveness Verification and Additional Items in Angiography and IVR of DRLs 2015. Japanese Journal of Radiological Technology, 76(2), 210-217, 2020.
- 先山耕史, 他: DRLs 2020を踏まえたIVR手技別被ばく防護の最適化の検討. 日放技学誌, 79(2), 160-165, 2023.
- Trunz L.M, et al.: Investigation of Radiation Dose Estimates and Image Quality Between Commercially Available Interventional Fluoroscopy Systems for Fluoroscopically Guided Interventional Procedures. Acad Radiol, 28(11), 1559-1569, 2021.
- Gregory Anthony, et al.: Performance evaluation of two interventional fluoroscope suites for cardiovascular imaging. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 23(10), 1-13, 2022.
- Thomas J. Stocker, et al.: Trends and predictors of radiation exposure in percutaneous coronary intervention: the PROTECTION VIII study. EuroIntervention, 18(4), 324-332, 2022.
- Davide Maccagni, et al.: Noise reduction technology reduces radiation dose in chronic total occlusions percutaneous coronary intervention: a propensity score-matched analysis. The International Journal of Cardiovascular Imaging, 34, 1185-1192, 2018.
- Mirlind Kastrati, et al.: Reducing Radiation Dose in Coronary Angiography and Angioplasty Using Image Noise Reduction Technology. The American Journal of Cardiology, 118, 353-356, 2016.
- 安田光慶, 他: 金属フィルタを用いた循環器専用撮影装置における放射線被ばく低減の検討. 日放技学誌, 68(3), 247-253, 2012.
- 小田鉸弘, 他: 血管造影に用いる適正な付加フィルタ. 日放技学誌, 44(12), 1668-1674, 1988.
- 大石誉奈, 他: 重金属フィルタによる患者被曝線量の低減と画質 (コントラスト) の改善. 日放技学誌, 58(1), 109-114, 2002.
- 川嶋広貴, 他: デジタル胸部X線撮影における線質と画質の関係: 人体軟部組織等価ファントムによる検証. 日放技学誌, 77(3), 255-262, 2021.
- 医療被ばく研究情報ネットワーク (J-RIME): 日本の診断参考レベル (2025年版). https://j-rime.qst.go.jp/report/JapanDRLs2025_ja.pdf