資料

血管撮影装置のプログラム別のシネ撮影線量および
DSA 撮影線量の多施設調査：透視線量との比較

武田和也¹ 林 利廣² 先山耕史³ 長谷川亮太⁴
渡邊雄一⁵ 田島 修⁶ 塚本篤子⁷ 佐藤久弥⁸

¹ 榊原記念病院放射線科

² 東京大学医学部附属病院放射線部

³ 昭和大学横浜市北部病院放射線技術部

⁴ 千葉県救急医療センター検査部放射線科

⁵ 駒澤大学医療健康科学部診療放射線技術科学科

⁶ 埼玉県立循環器・呼吸器病センター放射線技術部

⁷ NTT 東日本関東病院放射線部

⁸ 昭和大学大学院保健医療学研究科

論文受付
2020 年 11 月 24 日

論文受理
2021 年 4 月 22 日

Code No. 622

Multicenter Evaluation of Cine Angiography and Digital Subtraction Angiography Dose Rate for Various Angiography Programs: Comparison with Fluoroscopic Dose Rate

Kazuya Takeda,^{1*} Toshihiro Hayashi,² Koshi Sakiyama,³ Ryota Hasegawa,⁴ Yuichi Watanabe,⁵ Osamu Tajima,⁶ Atsuko Tsukamoto,⁷ and Hisaya Sato⁸

¹ Department of Radiology, Sakakibara Heart Institute

² Department of Radiology, The University of Tokyo Hospital

³ Department of Radiology, Showa University Northern Yokohama Hospital

⁴ Department of Radiology, Chiba Emergency Medical Center

⁵ Faculty of Health Sciences, Department of Radiological Sciences, Komazawa University

⁶ Department of Radiological Technology, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center

⁷ Department of Radiology, NTT Medical Center Tokyo

⁸ Graduate of Health Sciences, Showa University

Received November 24, 2020; Revision accepted April 22, 2021

Code No. 622

Summary

We conducted a nationwide multicenter survey of various interventional radiology (IVR) procedures. Data were collected from 385 X-ray systems in 126 institutions, including 432 cine programs and 380 digital subtraction angiography (DSA) programs for diagnostic catheterization, percutaneous coronary intervention (PCI), ablation, transcatheter aortic valve implantation (TAVI), neurologic IVR, thorax IVR, abdominal IVR, and endovascular therapy (EVT). Fluoroscopic and cine dose rates were 10.1 mGy/min and 110.7 mGy/min, respectively, whereas for DSA programs, the median fluoroscopic and DSA dose rates were 8.0 mGy/min and 224.8 mGy/min, respectively. The DSA dose rate was more than twice the cine dose rate. The largest difference between dose rates was for diagnostic catheterization, which had a cine dose rate of 142.6 mGy/min and a fluoroscopic dose rate of 12.6 mGy/min (by a factor of 12.5), followed by EVT, which had a DSA dose rate of 216.0 mGy/min and a fluoroscopic dose rate of 7.7 mGy/min (by a factor of 29.6). The smallest difference between dose rates was for TAVI, which had a cine dose rate of 96.8 mGy/min and a fluoroscopic dose rate of 12.0 mGy/min (by a factor of 8.9), followed by neurologic IVR, which had a DSA dose rate of 227.9 mGy/min and a fluoroscopic dose rate of 9.6 mGy/min (by a factor of 22.6). Compared with the fluoroscopic dose rates, the cine dose rates were 9–13 times higher and the DSA dose rates were 22–30 times higher; the DSA dose rates were more than double the cine dose rates.

Key words: diagnostic reference levels (DRLs), interventional procedure, fluoroscopic dose rate, air kerma at the patient entrance reference point, air kerma-area product

*Corresponding author

緒 言

2015 年 6 月、医療被ばく研究情報ネットワーク (Japan Network for Research and Information on Medical Exposure: J-RIME) より、放射線防護の最適化を図るための指標として日本の診断参考レベル (diagnostic reference level: DRL) が公表され、2020 年 7 月に更新された¹⁾。DRLs 2015 では血管撮影・interventional radiology (IVR) 領域の DRL は、患者照射基準点 (patient entrance reference point: PERP) において透視線量率 20 mGy/min とされ、透視線量を最適化するツールとして有用であった^{2,3)}。5 年を経て改定された DRLs 2020 では、頭部/頸部領域、成人心臓領域、小児心臓領域および胸腹部領域と、検査・治療部位や治療内容が細分化されており、各領域における疾患に対応する DRL 量は、装置表示の患者照射基準点における空気カーマ値 (mGy) ならびに面積空気カーマ積算値 ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$) としている。アクリル (polymethyl methacrylate: PMMA) ファントムを用いた PREP における線量測定は、定期的に行うことで装置の品質管理 (quality control: QC) として自施設で使用している装置の線量把握することはもとより、同じ測定条件で行うことで他施設との線量を比較することができる。そのことから、線量最適化の指標として DRLs 2015 に引き続き DRLs 2020 においても採用され、使用装置にて多用される透視条件、照射野サイズにおいて、PMMA 20 cm を用いて PERP で測定された透視線量率が 17 mGy/min と設定された。しかし、IVR における放射線被ばく線量は手技中の X 線透視とシネ撮影や digital subtraction angiography (DSA) 撮影の合算になるが、DRLs 2015 および DRLs 2020 において PERP におけるシネ撮影と DSA の線量率についての言及がなされていない。アクリルファントムを用いた PREP における線量測定は、定期的な QC として自施設で使用している装置の線量を把握するのはもとより、同じ測定条件で行っているため他施設との線量を比較することができる。そこで、われわれは本調査より循環器領域における多施設線量調査として心臓カテーテル検査、経皮的冠動脈インターベンション、肺静脈隔離アブレーション、および経皮的大動脈弁置換術における透視線量率と患者被ばく線量を報告した⁴⁾。本研究ではその続報として、各施設で心臓カテーテル検査 (coronary angiography: CAG)、percutaneous coronary intervention (PCI)、カテーテルアブレーション (catheter ablation: ABL)、経皮的大動脈弁植え込み術 (transcatheter aortic valve implantation:

TAVI)、脳血管 IVR (neuroendovascular IVR: neuro IVR)、胸部 IVR (thorax IVR)、腹部 IVR (abdominal IVR: abd IVR) および下肢 IVR (endovascular treatment: EVT) に使用している収集プログラムを調査した。それらより視野サイズ、透視パルスレート、シネ撮影フレームレート、DSA 撮影フレームレート、付加フィルタなどの血管撮影装置の照射条件が異なるプログラムの PERP における透視線量率、シネ撮影線量率および DSA 撮影線量率を比較検討し、血管撮影装置の QC におけるシネ撮影線量率と DSA 撮影線量率を考察する。

1. 方 法

1-1 調査対象

循環器画像技術研究会および全国循環器撮影研究会の会員施設 320 施設を対象に、郵送にてアンケート調査依頼を行った。アンケート調査期間は 2016 年 12~2018 年 2 月とし、調査協力施設として同意が得られた大学附属病院 51 施設を含む 126 施設のうち、循環器領域に関して回答のあった 110 施設を対象とした。126 施設を地域別に分類すると、北海道地区 4 施設、東北地区 15 施設、関東地区 50 施設、中部地区 20 施設、近畿地区 17 施設、中国地区 5 施設、四国地区 4 施設、および九州沖縄地区 11 施設であった。回答のあった 126 施設の病床数の平均±標準偏差は、 632 ± 270 床であった。回答の得られた 126 施設の 385 装置のシネ撮影 432 プログラムと DSA 撮影 380 プログラムを対象とし、各施設の同一プログラムにおける透視線量率、シネ撮影線量率および DSA 撮影線量率における以降の項目を検討した。

1-2 患者照射基準点の線量測定方法

PERP の測定方法は、Fig. 1「IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン」の幾何学的配置⁵⁾に準じ、PMMA 20 cm、X 線管焦点～検出器間距離を 100 cm とした。透視条件、シネ撮影および DSA 撮影条件 (X 線条件、透視パルスレート、撮影フレームレート、付加フィルタ、視野サイズ) は、各プログラムにおける条件とした。線量測定値は透視線量率が 1 分間測定値とし、シネ撮影と DSA 撮影は 10 秒間撮影を行った測定値を 6 倍に換算し 1 分間あたりの線量率とした。使用した測定機器は、各施設で準備できる測定機器を使用し、日本品質機構もしくは日本放射線技術学会の診断領域線量計標準センターで校正された線量計を用いた。線量計の内訳は、電離箱線量計が Radcal 社 (Monrovia, CA, USA) 製 (Radiation Monitor Model

Fig. 1 Geometrical patient entrance reference point dosimetry.
SID: source image distance, PERP: patient entrance reference point,
PMMA: polymethyl methacrylate

9015 10×5-6, Radiation Monitor Model 2026C 20×6-6, Accu Gold 10×6-6)であった。半導体線量計が Unfors RaySafe 社 (Billdal, Sweden) 製 (Unfors Raysafe Xi, Unfors Raysafe X2, Unfors Raysafe Solo), RTI 社 (Flöjelbergsgatan, Sweden) 製 (Piranha), optically stimulated luminescence (OSL) 線量計が Landauer 社 (Glenwood, IL, USA) 製 (nanoDot) であった。測定機器の 73% が電離箱線量計で測定されていた。また、半導体線量計を使用した場合は、検出部の前面以外が遮蔽され後方散乱の測定ができないため、診断参考レベル運用マニュアル⁶⁾ に準じ、後方散乱を加味するため測定値に 1.4 を乗じた。

1-3 シネ撮影, DSA 撮影プログラムの内訳

アンケート回答があった 385 装置のシネ撮影 432 プログラムと DSA 撮影 380 プログラムの手技別の内訳を集計した。透視パルスレートとシネ撮影フレームレートを線量測定結果に記載されているフレームレートを集計し、DSA 撮影は線量測定結果に記載されている総撮影フレーム数を集計した。

1-4 透視線量率, シネ撮影線量率の検討

シネ撮影プログラムにおける透視線量率とシネ撮影線量率を集計し、それぞれの中央値, 平均値, 標準偏差を求め検討した。

1-5 透視線量率, DSA 撮影線量率の検討

DSA 撮影プログラムにおける透視線量率と DSA 撮影線量率を集計し、それぞれの中央値, 平均値, 標準偏差を求め検討した。

標準偏差を求め検討した。

1-6 透視線量率に対するシネ撮影線量率と DSA 撮影線量率の倍率の検討

シネ撮影プログラムの透視線量率とシネ撮影線量率の倍率および DSA 撮影プログラムの透視線量率と DSA 撮影線量率の倍率を求め検討した。

2. 結果

2-1 シネ撮影, DSA 撮影プログラムの内訳

シネ撮影と DSA 撮影の手技別プログラムの内訳を Fig. 2 に示す。シネ撮影で最も多かったのが PCI で 42.8% であった。DSA 撮影では abd IVR が 42.6%, neuro IVR が 31.6% と多く, CAG, PCI および TAVI のプログラムはなかった。

2-2 プログラム別の透視およびシネ撮影と DSA 撮影レート

透視パルスレート, シネ撮影フレームレートおよび DSA 撮影フレームレートの内訳を Fig. 3 に示す。透視パルスレートは 60% 以上で 7.5 p/s 使用されており, 以下 15 p/s と 10 p/s であり 30 p/s の高パルスレートをを用いたプログラムはなかった。シネ撮影フレームレートは 15 f/s が約 65% であり, 以下 7.5 f/s, 10 f/s であり, 透視パルスレート同様 30 f/s といった高フレームレートを使用したプログラムはなかった。DSA 撮影は 10 秒間撮影で最も多い総フレーム数は 22~31 フレームであり, 次に 32~41 フレーム, そして 21 フレーム以下であった。

Fig. 2 Breakdown of cine programs and DSA programs.

Fig. 3 Breakdown of fluoroscopy pulse rate (p/s), cine frame rate (f/s) and total frames by 10 seconds DSA.

2-3 シネ撮影プログラム別の透視線量率とシネ撮影線量率

シネ撮影プログラムの透視線量率を Fig. 4 に、シネ撮影線量率を Fig. 5 に示す。シネ撮影プログラムすべての透視線量率の中央値(平均±標準偏差：以下、同表記)は 10.1 mGy/min (11.4±7.8 mGy/min)であった。透視線量率の中央値が最も高いシネ撮影プログラムは CAG が 12.6 mGy (13.8±8.8 mGy/min)であり、最も低いシネ撮影プログラムの中央値は ABL の 4.7 mGy/min (6.0±4.1 mGy/min)であった。シネ撮影すべての線量率の中央値(平均±標準偏差)は 110.7 mGy/min (144.4±146.0 mGy/min)であった。シネ撮影線量率の最も高いプログラムは neuro IVR で 185.3 mGy/min

(171.7±105.2 mGy/min)であり、最も低いシネ撮影プログラムは ABL の 59.9 mGy/min (87.8±85.4 mGy/min)であった。

2-4 DSA 撮影プログラム別透視線量率と DSA 撮影線量率

DSA 撮影プログラムの透視線量率と DSA 撮影線量率を Fig. 6 に、透視線量率と DSA 撮影線量率を Fig. 7 に示す。DSA 撮影プログラムの透視線量率の中央値(平均±標準偏差)は 8.0 mGy/min (9.7±6.8 mGy/min)であった。透視線量率の中央値が最も高い DSA 撮影プログラムは neuro IVR が 9.6 mGy (11.4±6.8 mGy/min)であり、最も透視線量率の低い DSA 撮影

Fig. 4 Fluoroscopic dose rate by cine programs.

Fig. 5 Cine acquisition dose rate by cine programs.

プログラムの中央値は thorax IVR の 7.4 Gy/min (7.9 ± 3.5 mGy/min) であった。DSA 撮影プログラムすべての DSA 撮影線量率の中央値 (平均 $\pm$ 標準偏差) は 224.8 mGy/min (306.9 ± 353.1 mGy/min) であった。DSA 撮影線量率の最も高い DSA 撮影プログラムは neuro IVR で 227.9 mGy/min (289.1 ± 213.7 mGy/min) であり、最も低い DSA 撮影プログラムは thorax IVR であり、196.2 mGy/min (373.7 ± 766.5 mGy/min) であった。

2-5 透視線量率に対するシネ撮影線量率および DSA 撮影線量率の倍率

透視線量率とシネ撮影線量率、DSA 撮影線量率の倍率を Fig. 8, 9 に示す。透視線量率とシネ撮影線量率の倍率で最も倍率の小さいプログラムは TAVI の 8.9 倍 (11.1 ± 8.0 倍) で最も倍率の大きいプログラムは neuro IVR の 13.3 倍 (16.9 ± 15.0 倍) であった。また、透視線量率と DSA 撮影線量率の倍率が最も小さいプログラムは neuro IVR の 22.6 倍 (27.8 ± 18.9 倍)、最も倍率の大きいプログラムは EVT の 29.6 倍 (48.4 ± 50.6 倍) であった。

Fig. 6 Fluoroscopic dose rate by DSA programs.

Fig. 7 DSA acquisition dose rate by DSA programs.

3. 考 察

PERP での透視線量率やシネ撮影線量率に関してはこれまでにわが国からも多くの報告がある^{7~10)}。加藤らは、透視線量率が7インチで17.6 mGy/min, 8インチで12.5 mGy/min, シネ撮影線量7インチで261 mGy/min, 8インチで162 mGy/minであり、インチサイズが小さい拡大透視、撮影で線量が上昇すると報告している⁷⁾。梅津らはPCIとABLのプログラムでの透視線量とシネ撮影線量ともにABLがPCIの半分以下であると報告している⁸⁾。今回の調査でも透視線量率、シネ撮影線量率ともにABLはPCIの半分ほど

であった。また、稲葉らは13施設18装置の透視によるPERP線量率の中央値が24 mGy/minであり、DRLs 2015の透視線量率20 mGy/minの根拠となっているものは、日本血管撮影インターベンショナル認定技師機構(Japan Professional Accreditation Board of Radiological Technologist for Angiography and Intervention: JAPIR)が2013年に集計した血管撮影装置が320台の集計結果であり、わが国で稼働している血管撮影装置の1割程度で日本全国の血管撮影装置の線量設定を反映しているとは言い難いと述べている⁹⁾。今回われわれが調査した血管撮影装置は385台

Fig. 8 Difference between fluoroscopic dose rate and cine acquisition dose rate of cine programs.

Fig. 9 Difference between fluoroscopic dose rate and DSA acquisition dose rate of DSA programs.

であり DRLs 2020 の根拠となった JAPIR 第 12 回専門技師認定試験受験者および第 2 回、第 7 回認定更新者が申請書類として提出された 448 台に次ぐ調査台数である。更にプログラム数は 812 と他に類を見ない大規模調査であり、812 プログラムの透視線量率の 86 パーセンタイル値は 17.4 mGy で DRLs 2020 の PERP における透視線量率として用いられた 86 パーセンタイル値 17.2 mGy と同等の値であった。シネ撮影プログラムの透視線量率の中央値が 10.1 mGy で DSA 撮影プログラムの透視線量率の中央値が 8.0 mGy とシネ撮影の透視線量率が高かった。その要因として、

DSA 撮影プログラムは neuro IVR と abd IVR が全プログラムの約 75% を占めており、これらは大口径 FPD にて行われることが多く、線量測定時の照射野サイズがシネ撮影プログラムより大きいサイズで測定を行っていたことで透視線量率が低くなったと考えられる。

IVR における患者と従事者の被ばくは重要な問題であり、近年では透視保存機能を有した血管撮影装置が普及してきたことにより、カテーテルやガイドワイヤ操作、バルーン拡張、コイル塞栓などの IVR 手技中の記録をシネ撮影に代わり透視保存機能を用いることが被ばく低減に有効であるとの報告が多数ある^{11~14)}。

今回の調査では、透視線量率とシネ撮影線量率の倍率およびDSA撮影線量率の倍率を調査することで、透視保存機能による被ばく低減策の有用性の根拠になると考えられる。一方で、透視保存画像の画質はシネ画像と比べノイズが多いなど画質が劣ることから、診断能を担保するためシネ撮影による画像が診断画像として用いられている。先行研究では1フレームあたりの撮影線量は透視線量の15倍になるとの報告があるが¹¹⁾、本調査では1分あたりの透視線量率とシネ撮影線量率を比較した結果シネ撮影線量率は透視線量率の11倍の線量率であった。また、シネ撮影による線量はカテーテル手技の総線量の半分を占めているとの報告もあり¹⁵⁾、血管造影、IVRにおける線量の最適化を図るためにはシネ撮影線量およびDSA撮影線量の最適化も必要である。

4. 結 語

IVRにおける総被ばく線量は透視による線量とシネ撮影線量およびDSA撮影線量を合算した線量となる。本調査ではアンケート方式による多施設調査によってIVR手技別プログラムのPERPにおける透視線量率とシネ撮影線量率、DSA撮影線量率を比較することで、その線量の倍率を明らかにした。透視線量

率と比較しシネ撮影線量率は中央値で約11倍、DSA撮影線量率は透視線量率の約26.4倍、DSA撮影線量率はシネ撮影線量率の約2.2倍であった。診断参考レベルは診断領域の医療放射線防護において線量最適化のツールとして使用されるため、IVR領域におけるDRLの設定、また各施設における血管撮影装置の線量設定およびQCを行ううえでは透視線量のみならずシネ撮影線量やDSA撮影線量も考慮する必要がある。

謝 辞

研究の調査にあたりご協力いただいた126施設のご担当の皆様、全国循環器撮影研究会ならびに循環器画像技術研究会の幹事の皆様に深く感謝申し上げます。

本研究の要旨は第83回日本循環器学会学術集会(2019年、横浜)にて発表した。

なお、本研究は全国循環器撮影研究会の平成28年度、29年度の課題研究として助成を受けたものである。

利益相反

筆頭著者および共著者全員が開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) 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(2020年版). http://www.radher.jp/J-RIME/report/JapanDRL2020_jp.pdf (Accessed 2020.8.30).
- 2) 医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME). 最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベルの設定, 2015. <http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRLhoukokusyo.pdf> (Accessed 2020.8.30).
- 3) 医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME). 最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベルの設定(その2) 2015. <http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRLkyotusiryoku-2.pdf> (Accessed 2020.8.30).
- 4) 林利廣, 渡邊雄一, 今関雅晴, 他. 循環器領域における多施設線量調査. 日放技学誌 2020; 76(7): 715-724.
- 5) 医療放射線防護連絡協議会 編. IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン—Q&Aと解説—. 東京: 医療放射線防護連絡協議会, 2004.
- 6) 診断参考レベル運用マニュアル, 2016. 12-13. http://www.jsrtrps.umin.jp/pdf/drl_manual_20161001_ver3.pdf (Accessed 2020.3.13).
- 7) 加藤守, 千田浩一, 吉田恭平, 他. Flat-panel Detector搭載型血管撮影装置における視野サイズを考慮した患者被ばく線量低減法. 日放技学誌 2011; 67(11): 1443-1447.
- 8) 梅津芳幸, 小川和久, 重谷昇, 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 2012; 68(9): 1221-1230.
- 9) 稲葉洋平, 小林亮太, 千田浩一, 他. 多施設IVR装置における実測に基づいた透視線量率の現状—DRLs 2015との乖離—. 日放技学誌 2016; 72(8): 689-694.
- 10) 関口博之, 塚本篤子, 石田浩之, 他. 循環器用X線装置におけるPCI条件下での多施設線量実態追跡調査. 日放技学誌 2020; 76(9): 944-954.
- 11) Olcay A, Guler E, Karaca IO, et al. Comparison of fluoro and cine coronary angiography: balancing acceptable outcomes with a reduction in radiation dose. J Invasive Cardiol 2015; 27(4): 199-202.
- 12) Scanavacca M, d'Avila A, Velarde JL, et al. Reduction of radiation exposure time during catheter ablation with the use of pulsed fluoroscopy. Int J Cardiol 1998; 63(1): 71-74.
- 13) Steffenino G, Rossetti V, Ribichini F, et al. Short communication: staff dose reduction during coronary angiography using low framing speed. Br J Radiol 1996; 69(825): 860-864.
- 14) Soudack M, Hirschenbein A, Sosna J, et al. Last fluoroscopy hold in paediatric fluoroscopy: dynamic capture of physiological events and a potential for radiation exposure time reduction. J Med Imaging Radiat Oncol 2012; 56(1): 93-95.
- 15) 武田和也, 千田浩一, 桃原哲也, 他. 心臓カテーテル検査と冠動脈インターベンションにおけるバイプレーン装置とシングルプレーン装置の患者被ばく線量の比較. 日冠疾会誌 2017; 23(2): 97-101.

問合せ

〒183-0003 府中市朝日町3丁目16-1
 榊原記念病院放射線科 武田和也