資料

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

関口博之¹ 塚本篤子² 石田浩之³ 上野浩輝⁴ 橘高大介⁵ 田邊頌章⁶
藤村耕平⁷ 今関雅晴⁸ 石川栄二⁹ 景山貴洋¹⁰ 佐藤久弥¹¹ 田島 修¹²

¹ 青梅市立総合病院放射線科 ² NTT 東日本関東病院放射線部

³ 新東京病院放射線科 ⁴ 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)

⁵ 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

⁶ 横浜市民立市民病院画像診断部 ⁷ 東京医科大学八王子医療センター放射線部

⁸ 千葉県救急医療センター検査部放射線科

⁹ 公立大学法人横浜市立大学附属病院放射線部(前 横浜市立大学附属市民総合医療センター)

¹⁰ 千葉県循環器病センター検査部放射線科 ¹¹ 昭和大学大学院保健医療学研究科

¹² 埼玉県立呼吸器・循環器病センター放射線技術部

論文受付
2019 年 4 月 10 日

論文受理
2020 年 6 月 3 日

Code No. 620

Multicenter Follow-up Survey on Radiation Dose Levels in Cardiovascular X-ray Apparatus under Percutaneous Coronary Intervention Conditions

Hiroyuki Sekiguchi,^{1*} Atsuko Tsukamoto,² Hiroyuki Ishida,³ Hiroki Ueno,⁴ Daisuke Kittaka,⁵
Nobuaki Tanabe,⁶ Kohei Fujimura,⁷ Masaharu Imazeki,⁸ Eiji Ishikawa,⁹ Takahiro Kageyama,¹⁰
Hisaya Sato,¹¹ and Osamu Tajima¹²

¹ Department of Radiology, Ome Municipal General Hospital

² Department of Radiology, NTT Medical Center Tokyo

³ Department of Radiology, New Tokyo Hospital

⁴ Department of Radiology, Saitama Sekishinkai Hospital(Current address: Philips Japan, Ltd.)

⁵ Graduate School of Health Sciences Biomechanical and Morphological Analysis, Showa University

⁶ Department of Radiology, Yokohama Municipal Citizen's Hospital

⁷ Department of Radiology, Tokyo Medical University Hachioji Medical Center

⁸ Department of Radiology, Chiba Emergency Medical Center

⁹ Department of Radiology, Yokohama City University Hospital(Former address: Yokohama City University Medical Center)

¹⁰ Department of Radiology, Chiba Cerebral and Cardiovascular Center

¹¹ Graduate School of Health Sciences, Showa University

¹² Department of Radiological Technology, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center

Received April 10, 2019; Revision accepted June 3, 2020

Code No. 620

Summary

It is important to optimize the exposure dose when conducting interventional radiology, but optimization is difficult for medical centers to achieve independently. In 2005, we administered a questionnaire on the measurement of dose rates and awareness of exposure reduction when performing percutaneous coronary intervention. Ten years later, we conducted a follow-up survey of the same 31 centers to determine the current situation and identify trends. The results of the survey showed that the mean fluoroscopy dose rate decreased to 55% of the 2005 value, from 28.2 to 15.6 mGy/min, and the mean radiography dose rate decreased to 71% of the 2005 value, from 4.2 to 3.0 mGy/s. Dose rates for both fluoroscopy and radiography decreased by 84% of facilities. The results also indicated greater cooperation by physicians compared to 10 years ago. In particular, there was a considerable increase in the exchange of ideas with physicians regarding exposure, suggesting a stronger level of interest in exposure. The overall score for questionnaire items was 33% higher than that in the previous survey. These results show that in the past 10 years, awareness of exposure reduction has improved, and dose optimization has been a major factor in the downward trend in dose rates in radiography and fluoroscopy.

Key words: interventional radiology (IVR), percutaneous coronary intervention (PCI), diagnostic reference levels, interventional procedure

*Corresponding author

緒言

心臓カテーテル検査、経皮的冠動脈インターベンション(percutaneous coronary intervention: PCI)において、被ばく線量の最適化は重要な課題である¹⁾。2004年6月に関連学会によって構成されたIVR等に伴う放射線皮膚障害とその防護対策検討会による「IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン」に掲載されている患者皮膚線量測定法(以下、ガイドライン測定法)は²⁾、自施設の線量を把握および管理することを目的としている。国内における心臓カテーテル検査、PCI施行時のX線照射条件の最適化を図る目的で、循環器画像技術研究会(Japanese Society of Circulation Imaging Technology: CITEC)では2005年に東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県が多施設におけるPCI施行時の透視および撮影線量の実態を把握するために、透視および撮影線量の測定を行った。同時にPCI施行時の被ばく低減意識を調べるためのアンケートを実施した。施設間差は透視線量率で32.9 mGy/min、撮影線量率で5.5 mGy/sとなった。また、ガイドライン測定法は認知しているが、医師と被ばくに関して意見交換をしている施設は少なかった。

この調査から10年が経過し、被ばく線量の低減や防護の最適化は、さまざまな成果が報告されている³⁾。また、2015年6月には防護の最適化のために本邦初の診断参考レベル(diagnostic reference levels in Japan 2015: Japan DRLs 2015)も発表された。しかし、過去に多施設間での線量測定と、アンケート調査による被ばく低減意識の追跡調査は報告されていない。今回われわれは循環器用X線装置におけるPCI条件下での線量率と現状把握、および推移を知るために前回の調査と同じ施設で追跡調査した⁴⁻⁶⁾。

1. 方法

1-1 調査対象

調査対象施設は、今回調査した38施設中、前回調査と同じ32施設とした⁷⁾。内訳は、CITEC会員が所属する施設が20施設で、CITEC会員が所属していない施設が12施設であった。対象施設の病床数と検査件数をFig. 1に示す。倫理審査判定は筆頭著者の施設で申請し、非該当の判定を受けた。

1-2 ガイドライン測定法による線量測定

測定方法は、2004年に発表された「IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン」の測定マニュアルに基づき、患者照射基準点(patient entrance

reference point: PERP)で電離箱線量計[Dosimeter DOSIMAX plus A HV basic unit+DC300 Ionization Chamber 3cc: IBA Dosimetry 社(ISO17025の承認を受けた同社により2014年7月14日校正)]を用いた。設定条件は、各施設のPCI施行時に使用する装置が表示する照射野(field of view: FOV)サイズ、収集レート、透視モード、撮影モードの条件で、焦点-検出器間距離(source to image receptor distance: SID)は左前斜位(left anterior oblique: LAO)60°での距離とした。透視2分間、撮影10秒間の積算モードで線量率を測定した。そこで得た透視線量率および撮影線量率の測定値と、付加フィルタ、収集レート、FOV、SIDの設定条件について、前回調査値と統計的有意差の検定を行った。統計解析は、対応のないt検定を行い、有意水準は5%で有意差ありとした。また、今回調査の測定値をJapan DRLs 2015の境界(20 mGy/min)で分けパルスレートとFOVをそれぞれ比較、検討した。この統計解析は、対応のあるt検定を行い、有意水準は5%で有意差ありとした。

1-3 アンケート調査による検討

前回調査のアンケート調査と同一内容の「被ばく低減意識に関する設問10項目」について追跡調査した(Table 1)。アンケート結果の各項目を1点とし10点満点でスコア化し、得られたスコアと線量率の関係を前回調査と比較、検討した。

2. 結果

2-1 透視線量率および撮影線量率

10年前と比較して、透視線量率は有意に低くなり($p=0.0001$)、平均 $-33.7\pm 36.1\%$ 減少した。最も減少した施設は -93.3% まで減少し、最も増加した施設は 63.9% まで増加した。撮影線量率でも有意に低くなり($p=0.0131$)、平均 $-15.7\pm 48.0\%$ 減少した。最も減少した施設は -85.5% まで減少し、最も増加した施設は 118.5% まで増加した。32施設中5施設が透視線量率、撮影線量率ともに前回調査と比較して高い線量率であった。また、施設番号は、前回調査で測定値が低かった施設からつけており、近時曲線に示すとおり前回調査で高い測定値であったほど今回調査は低い測定値となり、高い減少率を示した(Fig. 2)。それに伴い、平均透視線量率も前回調査は28.2 mGy/minであったのに対し、今回調査は15.6 mGy/minに減少した。前回調査は75パーセンタイル値が34.4 mGy/minとJapan DRLs 2015を上回る結果であったが、今回調査は16.7 mGy/minとJapan DRLs 2015の提唱する20 mGy/min

Table 1 Low exposure Questions about reduction awareness 10 items

- 「IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン(医療放射線防護連絡協議会策定)」及び「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(日本循環器学会)」について知っていますか? : (ガイドラインの認知)
- PCI時に患者被ばく低減として装置の透視, 撮影条件を変更していますか? : (撮影条件の最適化)
- スタッフに放射線防護の教育訓練をしていますか? : (放射線防護についての教育訓練)
- PCI時における患者さんの皮膚線量の管理目標値がありますか? : (線量管理目標値の設定)
- 目標値超過の場合にどうしていますか? : (線量超過時の対応)
- 線量の記録する場合は○をつけてください : (患者の被ばく線量の記録)
- PCI時に撮影条件のプログラムを変更する場合がありますか? : (撮影プログラムの変更)
- ガイドラインにそって透視線量率を測定しましたか? : (ガイドラインの線量測定)
- 医師が患者さんに放射線被ばくのリスクについてインフォームドコンセントをしていますか? : (被ばくのインフォームドコンセント)
- 医師と技師間で検査(PCI治療)前に検査(目的, 検査方法)や患者の被ばく(低減方法等)について説明しますか? : (患者の被ばくについての意見交換)

Fig. 2 Ten-year ratio of change at each facility.
(a) Fluoroscopy, (b) Cine

Fig. 3 Box-and-whisker plots of fluoroscopic and cine dose rates at each survey.
(a) Fluoroscopy, (b) Cine

Fig. 4 Correlation between fluoroscopy radiation dose rate and cine radiation dose rate at each survey.
(a) 2005, (b) 2015

を下回る結果となり、透視線量率は前回調査と比べ有意に減少する結果となった($p=0.0002$)。平均撮影線量率も、前回調査で 4.2 mGy/s であったが、今回調査は 3.0 mGy/s まで減少しており、最小値は前回調査より 0.1 mGy/s 高い値を示したが、最大値は 2.7 mGy/s 減少し、平均撮影線量率も有意に減少する結果となった($p=0.0131$)。透視線量率と撮影線量率ともに分散が収束され(Fig. 3)、透視線量率と撮影線量率の関係は前回調査と同様に正の相関を示した($p=0.0065$) (Fig. 4)。

線量率の較差は、透視線量率で 65.2 mGy/min から

32.9 mGy/min に減少し、撮影線量率で 8.3 mGy/s から 5.5 mGy/s に減少した(Fig. 5, 6)。

2-2 付加フィルタの材質と厚さ

前回調査では透視時に付加フィルタを使用していない施設が 15% 存在したが、今回調査ではすべての施設が透視時に付加フィルタを使用していた。付加フィルタの材質・厚さは、銅 0.2 mm が 35% と最も多く使用されていた(Fig. 7)。撮影時の付加フィルタは、使用していない施設が 24% から 16% と減少し、前回調査

Fig. 5 Fluoroscopy radiation dose rate in ascending order of facilities at each survey.
(a) 2005, (b) 2015

Fig. 6 Cine radiation dose rate in ascending order of facilities at each survey.
(a) 2005, (b) 2015

では銅 0.1 mm が 43% と最も多かったが、今回調査では使用できる付加フィルタの種類が多くなり、アルミニウム 1 mm+銅 0.1 mm が 26% と最も多い結果となった (Fig. 8)。

2-3 透視および撮影時の収集レートの選択

透視および撮影時の使用収集レートの比較を Fig. 9 に示す。前回調査の透視では 15 p/s が最も多く、63% の施設で使用されていた。今回調査では 7.5 p/s が 63% と最も多く、前回調査で選ばれていた連続透視は今回調査では使用していなかった。また 15 p/s を超える施設はなかった。

撮影では前回調査と今回調査ともに 15 f/s が最も多く、今回調査ではそれを超える施設はなかった。低い

設定は前回調査で 10 f/s までであったが、今回調査は 7.5 f/s を設定している施設が 2 施設あった。

2-4 FOV サイズ

各調査時の FOV の分布を Fig. 10 に示した。FOV サイズは装置が表示する値を基準とし、前回調査は 17.5 cm (7 inch) が 45% と最も多く、次に 15 cm (6 inch) および 12.5 cm (5 inch) が 24% と続く結果となった。今回調査は 20 cm (8 inch) が 38%、15 cm (6 inch) が 34% と二分する結果となった ($p=0.0163$)。

2-5 SID

各調査時の SID の分布を Fig. 11 に示した。ともに 100 cm が 38% と最も多く、今回調査は一峰性の結果

Fig. 7 Comparison of fluoroscopy additional filtrations used at each survey.

Fig. 8 Comparison of cine additional filtrations used at each survey.

となった。平均値は前回調査で 101.9 ± 5.9 cm, 今回調査では 99.9 ± 5.8 cm と SID の距離は短くなる傾向となった ($p=0.2168$)。

2-6 Japan DRLs 2015

今回調査の測定値を, Japan DRLs 2015 の透視線量率 20 mGy/min を境界に 2 群間で分けて, それぞれのパルスレートの分布と FOV サイズの分布を Fig. 12 に示した。パルスレートは, 20 mGy/min を超える施

設では 10 p/s が多く, それ以下の施設では 7.5 p/s が多く占めた ($p=0.3402$)。FOV サイズは, 20 mGy/min を超える施設では FOV サイズ 15 cm (6 inch) が多く, それ以下の施設では 15 cm (6 inch) と 20 cm (8 inch) を二分する形となった ($p=0.1375$)。

2-7 アンケート調査

前回調査と同様のアンケートを実施し, 各施設の合計点 (スコア化) を比較した。前回調査と今回調査とも

Fig. 9 Comparison of collection accumulate rates used for fluoroscopy and cine at each survey.
(a) Fluoroscopy pulse rate, (b) Cine frame rate

Fig. 10 Comparison of FOV size used during PCI for each survey.

に回答のある施設 21 施設のうちスコアが減少した施設は 5 施設, 増加した施設は 12 施設, 変わらなかった施設は 4 施設であった (Fig. 13).

アンケートスコアの箱ひげ図 (Fig. 14) では, 平均点は前回調査で 6.0 ± 2.6 点, 今回調査で 7.7 ± 2.1 点と向上し, 前回調査と比較して高スコア側に推移していることがわかる. 中央値においても有意差がみられ, 前回調査の 75 パーセンタイル値が今回調査の 50 パーセンタイル値と同じ値となった.

各アンケート項目別の結果を実施率で表すと, 前回

調査に比べ今回調査は 8 項目が向上し, 「撮影条件の最適化」と「患者の被ばく線量の記録」が低下した. 今回調査は「ガイドラインを認知」している施設は 100% となった.

前回調査では低い実施率を示した「線量管理目標値の設定」と「患者の被ばくについての意見交換」についても大きく向上した. 今回調査は「放射線防護についての教育訓練」以外は 70% を超える実施率となった (Fig. 15).

Fig. 11 Distribution of SID during PCI for each survey.

Fig. 12 Comparison of pulse rate and FOV used distribution at the boundary fluoroscopy dose rate of 20 mGy/min. (a) Pulse rate, (b) FOV

Fig. 13 Changes in questionnaire scores of each facility in each survey.

Fig. 14 Box and-whisker plots' results for each survey's questionnaire score.

Fig. 15 Implementation rate by questionnaire item for each survey.
(a) 2005, (b) 2015

3. 考 察

今回調査の結果、透視線量率の平均値が前回測定値から55%に減少し、撮影線量率も同じく71%まで減少した。10年前と比較して、透視および撮影ともに有意に差があり84%の施設で線量率が減少した。

透視線量率の低減には、低パルスレートの利用や付加フィルタの全施設使用、FOVサイズの変化なども考えられた。撮影線量率の低減には、86%の施設が10年前と同様に15 f/sを使用していたが、低フレームレート化の傾向であった。付加フィルタは、使用していない施設が16%であったが、透視同様フィルタの種

類が多くなり厚みも厚くなる傾向であった。FOVサイズに関しては、透視と同様の変化を示した。このことから、線量率が低下したのは装置本体の改良、進歩による低線量化への影響力も大きい。低パルス、低フレームレートを使用する、付加フィルタを使用する、過度なインチアップをしないなど、使用する放射線診療従事者の意識も大きく関与したことが考えられる。

撮影と透視の線量率の関係は、正の相関を示し、透視線量率を高く設定している施設は撮影線量率も高く設定していることが考えられる。

先に発表されたすべての血管撮影検査、治療が対象である Japan DRLs 2015 の 75 パーセント値は 16.9 mGy/min であるが、今回調査した 32 施設の PCI 施行時における、透視線量率の 75 パーセント値は、16.7 mGy/min であった。測定値がほぼ同等になったのは、対象が日本血管撮影・インターベンション専門診療放射線技師認定者が在籍する施設でなくとも、前回、調査して自施設の線量率を把握したことにより改善されたことが要因の一つと、アンケートで線量測定を行っている施設が増えたことから考えられる。また、FOV サイズの比較では、Japan DRLs 2015 の提唱する 20 mGy/min を境に、選択しているサイズが明らかに分かれ、線量を下げのために有効であることがわかった。

各アンケート項目別の結果は「被ばくのインフォームドコンセント」と「患者の被ばくについての意見交換」が向上したこと、前回調査と比べ医師の協力も増えてきていると考えられる⁸⁾。

特に、「患者の被ばくについての意見交換」が大きく上昇し、専門学会でも医師が認定を取るために被ばくの講習が必修になっているなど、被ばくに対する医師の関心が強くなっている環境に変わってきていると考えられる。

今回のアンケートスコア分布の結果では、中央値が 33%に向上し、施設間の線量率の較差も減少した。以上を踏まえると、ここ 10 年間で被ばく低減意識は根付いてきていることがわかった⁹⁾。

線量率においても、透視および撮影ともに減少しているのは、装置の性能の向上もあるが、アンケートスコアの較差が減少し、前回調査の線量率が大きい施設ほど線量率が減少していることから放射線診療従事者の知識が向上し、被ばく線量低減の工夫が寄与したと考えられる。

しかし、今回調査では単純にアンケートスコアが線

量低減の指標になるとは言い難く、それは装置の違い、撮影条件の違い(パルスレート、フレームレート、付加フィルタ等)、線量について本研究では解析していないからである。また、FOV サイズに関して今回は装置の表示値を比較しており、対象が、一辺か対角かはメーカーによって異なっている。これらの要因がどのように関係するのか今後詳細な調査、検討が必要である^{10, 11)}。

なお、今回の結果を調査対象施設へ報告し、各施設に多施設の設定情報を提供した。Japan DRLs 2015 と比較して 20 mGy/min より多い施設は 7 施設あり、これらの施設は、その情報をもとに再度検討し、更なる透視線量率および撮影線量率の最適化が期待でき、施設間較差が更に減少すると考える。

4. 結 語

PCI 施行時の線量率は、10 年前に調査した同じ施設と比較して透視および撮影ともに、84%の施設が減少傾向を示し、透視線量率および撮影線量率の平均値も減少した。

その要因は、装置の更新というハード面の向上もあるが、放射線診療従事者の被ばく低減を意識した装置の設定、医師の協力や前回調査で線量率が高い施設ほど大きく減少させたことが大きな要因であることが示唆された。

謝 辞

今回の研究で線量測定に協力していただきました各施設の皆様、ならびに、線量計を貸与していただきましたトーレック株式会社様に心より御礼申し上げます。

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) ICRP. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann ICRP 1977; 1(3).
- 2) 医療放射線防護連絡協議会. IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン. 東京, 2004.
- 3) 田島 修, 鍋倉良三, 佐藤久弥, 他. 心臓カテーテル検査における透視線量および被ばく低減技術の標準化(ガイドライン化を目指して)―第 2 報. 全循研誌 2005; 17: 8-16.
- 4) 稲葉洋平, 小林良太, 千田浩一. 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.
- 5) 医療被ばく研究情報ネットワーク. 最新の国内実態調査に基づく診断参考レベルの設定, 2015. <http://www.radher.jp/j-rime/report/drlhoukokusyo.pdf> (cited 2015.12.25).
- 6) 日本放射線技術学会. 診断参考レベル運用マニュアル, 2016. 医療被ばく研究情報ネットワーク (J-RIME) 監修. http://www.jsrtrps.umin.jp/pdf/drl_manual_20161001_ver3.pdf (cited 2018.09.06).
- 7) 田邊頌章, 関口博之, 塚本篤子, 他. 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. 日放技学誌 2019; 75(7): 646-651.
- 8) 循環器病の診断と治療に関するガイドライン (2010 年度合同研究班報告), 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). http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2011_nagai_rad_h.pdf (cited 2018.09.06).

- 9) 坂野智一, 岩本達志, 栗原卓也, 他. 慢性完全閉塞に対する経皮的冠動脈インターベンションの被ばく線量実態調査. 日放技学誌 2017; 73(1): 51-56.
- 10) 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.
- 11) 田島 修, 加藤 守, 岡 哲也, 他. 線量低減推進施設認定のデータからみる装置メーカー別の透視線量率および撮影線量の実態. 全循研誌 2018; 30: 97-103.