原 著

一般撮影の医療被ばくの防護を最適化するための ベンチマークドーズ(BD)の提案

渡邊 浩¹ 関 将志² 新田正浩³ 芹田 樹³ 前原善昭⁴
大倉秀昭⁵ 村上朋史⁶ 山本和幸⁷ 佐藤 努¹ 田島隆人⁸

¹ 独立行政法人労働者健康安全機構横浜労災病院中央放射線部
(現 群馬パース大学保健科学部放射線学科)

² 北里大学病院放射線部

³ 聖マリアンナ医科大学病院画像センター

⁴ 聖マリアンナ医科大学病院放射線管理室

⁵ 横浜新緑総合病院放射線科

⁶ 公立大学法人横浜市立大学附属病院放射線部

⁷ 東海大学医学部附属病院診療技術部放射線技術科

⁸ 東海大学医学部付属八王子病院診療技術部放射線技術科

論文受付
2017年7月6日

論文受理
2018年2月8日

Code No. 621

Propose for the Benchmark Dose (BD) for the Optimization of Protection in Medical Exposure in General Radiography

Hiroshi Watanabe,^{1*} Masashi Seki,² Masahiro Nitta,³ Itsuki Serita,³ Yoshiaki Maehara,⁴
Hideaki Okura,⁵ Tomofumi Murakami,⁶ Kazuyuki Yamamoto,⁷ Tsutomu Sato,¹ and Ryuto Tajima⁸

¹ Department of Radiological Technology, Japan Organization of Occupational Health and Safety, Yokohama Rosai Hospital
(Current address: School of Radiological Sciences, Faculty of Health Science, Gunma Paz University)

² Department of Radiology, Kitasato University Hospital

³ Diagnostic Imaging Center, St. Marianna University School of Medicine Hospital

⁴ Radiation Control Office, St. Marianna University School of Medicine Hospital

⁵ Department of Radiology, Yokohama Shin-Midori General Hospital

⁶ Department of Radiological Technology, Yokohama City University Hospital

⁷ Department of Radiological Technology, Tokai University Hospital

⁸ Department of Radiological Technology, Tokai University Hachioji Hospital

Received July 6, 2017; Revision accepted February 8, 2018

Code No. 621

Summary

The goal of this research was to create the most appropriate index dose for the optimization of protection in medical exposure in general radiography in Kanagawa prefecture. We distributed questionnaires to 272 medical institutions in Kanagawa prefecture. The investigation period was from October 2015 to February 2016. Entrance surface dose (ESD) was used as the index dose. Investigated regions in general radiography were the adult chest, adult abdomen, and infant chest (anterior-posterior projections for all regions). The effective response rate was 35%. ESD was significantly lower with a flat panel detector (FPD) than with computed radiography (CR) in all regions (adult chest and abdomen: $p < 0.001$; infant chest: $p < 0.05$) [e.g., mean ($\pm$ standard deviation) ESD in the adult chest was 0.16 ± 0.06 mGy with FPD and 0.24 ± 0.10 mGy with CR]. In the infant chest with CR, ESD was significantly higher using a grid (0.15 ± 0.07 mGy) compared to not using a grid (0.10 ± 0.05 mGy; $p < 0.05$). Based on these results, we propose the benchmark dose of each medical equipment, such as adult chest: FPD, 0.2 mGy; CR, 0.3 mGy.

Key words: benchmark dose, diagnostic reference level, general radiography, medical equipment, entrance surface dose

*Proceeding author

緒言

国際放射線防護委員会 (International Committee of Radiological Protection: ICRP) は放射線防護の3原則を勧告しているが、医療行為である放射線検査には線量限度を適用しないことを明確にしている^{1,2)}。したがって、放射線診療は、行為の正当化と放射線防護の最適化が重要である。

しかしながら、医療技術の発展に伴って医療被ばく線量の増加が懸念されている。また、同じ検査でも被ばく線量が施設によって2桁も異なり、被ばく線量低減余地が大きいと指摘されている³⁾。

わが国においても、岸本らは患者が受ける線量の施設間差は10倍以上あり、その格差は拡大傾向にあることを示し⁴⁾、また、鈴木はデジタル化によって線量がわずかではあるが増大していると述べている⁵⁾。つまり、わが国でも放射線防護の最適化は医療被ばくにおける重要な課題の一つである。

このように医療被ばくにおける放射線防護の最適化は世界的な課題であり、ICRPや国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency: IAEA) は医療被ばくの最適化のツールとして診断参考レベル (diagnostic reference levels: DRLs) を推奨した^{6,7)}。そのため、1997年6月、EU (European Union) の欧州指令 Council Directive 97/43/Euratom によって、EU加盟国はDRLsの確立が求められた⁸⁾。また、世界の多くの国や地域あるいは学会・団体がDRLsの検討、提示を行ってきた^{9~13)}。

放射線検査の代表的な検査である一般撮影は、多くの医療機関で撮影されており、多数の団体や国がDRLsを提案している。わが国においても、日本診療放射線技師会 (Japan Association of Radiological Technologists: JART) が線量低減目標値を2000年に作成し¹⁴⁾、2006年に改訂した¹⁵⁾。また、2015年6月7日、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) が放射線診療に関わる13の学会、団体の承認を経て一般撮影、CT、IVR、マンモグラフィ、口内法X線撮影および核医学の、わが国で初めてのDRLsを作成した (J-RIME DRLs 2015)¹⁶⁾。

一般撮影のDRLsでは、浅田らが2011年に実施した調査結果報告 (全国調査結果2011)¹⁷⁾ を参考としているが、近年デジタル化が急速に進むとともに flat panel detector (FPD) の普及によって撮影線量の最適化が進んでいる可能性がある^{18~20)}。また、DRLsは世界の多くの国や地域で作成されているが、Rehaniは「DRLは定義された技術のために開発されたものであ

り、技術が変わったときに更新されることが想定されていたが、これは英国を除いてほとんど起こらなかった²¹⁾と述べており、FPDが普及しつつある中、FPDとcomputed radiography (CR) が混在するDRLsを用いるのがよいか検討が必要である。

本研究の目的は、神奈川県内の医療機関における一般撮影の撮影線量を調査することにより、現在の神奈川県において医療被ばくを最適化するために最も適切な指標線量を作成することにある。

1. 対象および方法

1-1 対象

対象は、公益社団法人神奈川県放射線技師会会員である診療放射線技師が勤める県内のすべての医療機関272施設である。

1-2 方法

1-2-1 調査方法

県内各医療機関の放射線部門「責任者 (診療放射線技師長)」宛に郵送で調査票を配布し、回答を得た。調査期間は2015年10月1日から2016年2月29日である。

1-2-2 入射表面線量 (ESD) の算定

一般撮影のDRLs等の指標線量の値は入射表面線量 (entrance surface dose: ESD) が用いられている。ESDの算定には佐藤による estimation of patient dose in diagnostic x-ray examination (EPD)²²⁾ を使用した。EPDは、numerical dose determination (NDD) 法を発展させたソフトウェアであり、NDD-Modify²³⁾と同様に、撮影条件を用いて標準的X線検査でのESDと臓器・組織線量を算出することができる。また、日本放射線技術学会が作成、公開したDRLsの運用マニュアルにおいて、一般撮影の算定方法として紹介されている²⁴⁾。ただし、EPDで算定された結果のうち、本研究ではESDのみを使用した。

1-3 調査項目

調査項目は、管電圧、管電流時間積 (mAs)、総ろ過、ターゲット角度、焦点-皮膚間距離、焦点-検出器間距離、照射野サイズ、グリッド使用の有無、グリッド比、また、医療機関区分、病床数、撮影頻度、受光媒体の種類、自動露出制御機構使用の有無、撮影条件の決定方法、撮影条件と画質の検討状況、再撮率の把握や低減方策等の実施頻度、ESDの把握と指標線量との比較状況などを調査した。ただし、本研究では、一般撮影のDRLsの指標であるESDの算定に用いられる項

Table 1 Kanagawa prefecture survey results (2015) on the entrance surface dose (ESD) in general radiography

Region Image receptor	Adult chest					Adult abdomen					Infant chest				
	Overall ^a	FPD ^b			CR ^c	Overall ^a	FPD ^b			CR ^c	Overall ^a	FPD ^b			CR ^c
		All	CsI ^d	GOS ^e			All	CsI ^d	GOS ^e			All	CsI ^d	GOS ^e	
Number of facilities	96	48	39	9	47	89	44	35	8	44	48	30	24	5	18
Mean value (mGy)	0.20	0.16	0.15	0.18	0.24	1.4	1.2	1.1	1.3	1.6	0.10	0.09	0.07	0.15	0.12
Standard deviation	0.10	0.06	0.06	0.06	0.10	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.06	0.05	0.03	0.06	0.06
Coefficient of variation (%)	51	40	42	30	42	51	53	50	62	45	57	56	48	39	53
Maximum value (mGy)	0.57	0.35	0.35	0.26	0.57	3.8	3.2	3.3	3.0	3.8	0.27	0.25	0.20	0.25	0.27
Minimum value (mGy)	0.055	0.055	0.055	0.10	0.093	0.26	0.26	0.26	0.69	0.59	0.02	0.02	0.04	0.11	0.05
Ratio of maximum value to minimum	10	6.4	6.4	2.5	6.1	15	13	13	4.3	6.4	11	10	5.1	2.2	5.6
25% tile value (mGy)	0.14	0.11	0.11	0.14	0.17	0.96	0.76	0.69	0.83	1.1	0.06	0.05	0.05	0.12	0.06
50% tile value (mGy)	0.19	0.14	0.14	0.19	0.22	1.3	1.1	1.1	1.0	1.4	0.09	0.07	0.06	0.13	0.11
75% tile value (mGy)	0.24	0.20	0.19	0.22	0.29	1.6	1.3	1.4	1.4	1.9	0.12	0.10	0.094	0.14	0.15

^a: Includes of one film screen type facility^b: Flat panel detector (FPD)^c: Computed radiography (CR)^d: CsI (Cesium Iodide)^e: GOS (Gadolinium-oxide sulfide)

目および装置、設備に関する情報のみ(管電圧、管電流時間積(mAs)、総ろ過、焦点-検出器間距離、照射野、受光媒体、グリッドの調査項目の結果)を使用した。総ろ過は付加ろ過と区別して回答を求めている。

なお、一般撮影のうち、ESD の状況を調査するために一般撮影の代表的な検査部位である成人胸部正面と成人腹部正面(臥位撮影)を調査した。また、小児の撮影線量の最適化が求められている^{5, 25)} ことから小児胸部正面も調査した。更に、J-RIME DRLs 2015 で規定している標準体型(成人胸部正面; 体厚 20 cm, 成人腹部正面; 体厚 20 cm, 小児胸部正面; 体厚 10 cm・生後 1 年未満)を指定して調査した。

1-4 統計解析

入射表面線量差の統計解析において、等分散の場合はスチューデントの t 検定を用い、不等分散の場合にはウェルチの t 検定を用いた。p<0.05 以下を有意であると判定した。解析ソフトは、Microsoft 社製表計算ソフト Excel のアドインソフトを使用した²⁶⁾。

1-5 倫理

本研究は、医療機関における標準的な被検者の撮影条件を調査し、個々の患者情報は入手ならびに扱わなかった。ただし、医療機関の放射線部門“責任者(診療放射線技師長)”に調査票を送付、回答を求めているため、横浜労災病院倫理委員会に申請を行い、承認を得た(承認番号 27-15)。

2. 結 果

調査票の送付施設数および回答数(回答率)はそれぞれ 272, 141 (52%)であった。ただし、総ろ過が未回答および法定範囲外の回答、成人胸部正面の撮影管電圧 100 kV 未満の回答ならびに受光媒体の重複回答および未回答を除外した。成人胸部正面において撮影管電圧 100 kV 未満の回答を除外したのは全国調査結果 2011 および浅田らが 2014 年に実施した調査結果報告(全国調査結果 2014)²⁷⁾と比較するためである。有効回答数および有効回答率はそれぞれ全体と成人胸部正面が 96(35%), 成人腹部正面が 89(33%)および小児胸部が 48(18%)であった。

本研究結果を Table 1 に示す。平均 ESD ならびに標準偏差 (standard deviation: SD) は成人胸部正面が 0.20±0.10 mGy, 成人腹部正面が 1.4±0.7 mGy, 小児胸部正面が 0.10±0.06 mGy であった。また、最大施設間差は成人胸部正面で 10 倍, 成人腹部正面で 15 倍, 小児胸部正面では 11 倍であった。

また、受光媒体ごとの ESD は成人胸部正面で FPD が 0.16±0.06 mGy, CR が 0.24±0.10 mGy, 成人腹部正面で FPD が 1.2±0.6 mGy, CR が 1.6±0.7 mGy, 小児胸部正面で FPD が 0.09±0.05 mGy, CR が 0.12±0.06 mGy であった。更に、FPD の蛍光体ごとの ESD は、成人胸部正面で cesium iodide (CsI) が 0.15±0.06 mGy, gadolinium-oxide sulfide (GOS) が 0.18±0.06 mGy, 成人腹部正面で CsI が 1.1±0.6 mGy, GOS が 1.3±0.8 mGy, 小児胸部正面で CsI が 0.07±0.03 mGy, GOS が 0.15±

Fig. 1 Entrance surface dose (ESD) for each image receptor [flat panel detector (FPD) or computed radiography (CR)] and grid (+ or -) in the infant chest general radiography.

Table 2 Comparison of Kanagawa prefecture survey results (2015) and nationwide survey results (2011) on the entrance surface dose (ESD) each region in the general radiography

Region	Adult chest		Adult abdomen		Infant chest	
	Kanagawa prefecture, 2015	Nationwide, 2011	Kanagawa prefecture, 2015	Nationwide, 2011	Kanagawa prefecture, 2015	Nationwide, 2011
Number of facilities	96	724	89	692	48	440
Mean value (mGy)	0.20	0.27	1.4	2.5	0.10	0.14
Standard Deviation	0.10	0.35	0.7	2.2	0.06	0.16
Coefficient of variation (%)	51	130	51	87	57	114
Maximum value (mGy)	0.57	6.1	3.8	28	0.27	2.1
Minimum value (mGy)	0.05	0.0004	0.26	0.06	0.02	0.01
Ratio of maximum value to minimum value	10	15275	15	459	11	208
25%tile value (mGy)	0.14	- ^a	0.96	- ^a	0.06	- ^a
50%tile value (mGy)	0.19	- ^a	1.3	- ^a	0.09	- ^a
75%tile value (mGy)	0.24	0.29	1.6	0.31	0.12	0.17

^a: Not shown in the paper

0.06 mGy であった。また、小児胸部正面の受光媒体別ならびにグリッドの有無による ESD を Fig. 1 に示す。小児胸部正面において FPD ならびに CR でグリッドを使用している施設と使用していない施設の線量は、それぞれ 0.09 ± 0.06 mGy (FPD & グリッド(+)), 0.08 ± 0.02 mGy (FPD & グリッド(-)), 0.15 ± 0.07 mGy (CR & グリッド(+)), 0.10 ± 0.05 mGy (CR & グリッド(-)) であった。

3. 考 察

3-1 全国調査結果との比較

全国調査結果 2011 および全国調査結果 2014 と本研究結果の比較を Table 2 および Fig. 2 に示す。なお、全国調査結果 2014 では FPD と CR の両方を含む全体の結果については平均値のみを示し SD を示していな

いため統計解析はできなかった。また、全国調査結果 2014 で示された線量は ESD ではなく入射皮膚線量 (entrance skin dose: ESd) と記されている。

三つの部位すべてにおいて、ESD は本研究結果の方が全国調査結果 2011 と比べ有意に低かった ($p < 0.001$)。3 部位すべて分散も有意に異なり ($p < 0.001$)、変動係数 (coefficient of variation: CV) も小さかった。CV は成人胸部正面では本研究結果が 51% に対し全国調査結果 2011 が 130%、同様に成人腹部正面では 51% に対し 87%、小児胸部正面では 57% に対し 114% であった。また、最大施設間差も本研究結果と全国調査結果 2011 との比較では 10 倍以上低かった。成人胸部正面では本研究結果が 10 倍に対し全国調査結果 2011 では 15,275 倍、同様に成人腹部正面では 15 倍に対し 459 倍、小児胸部正面では 11 倍に対し 208 倍で

***: $p < 0.001$

Fig. 2 Comparison of Kanagawa prefecture survey results (2015) and nationwide survey results (2011) on the entrance surface dose (ESD), and nationwide survey results (2014) on the entrance skin dose (ESkD) each for region in the general radiography.

(a) Adult chest, (b) Adult abdomen, (c) Infant chest

^a: Nationwide survey results (2014) do not show the standard deviation

* : $p < 0.05$
***: $p < 0.001$

Fig. 3 Comparison of entrance surface dose (ESD) between flat panel detector (FPD) and computed radiography (CR).

(a) Adult chest, (b) Adult abdomen, (c) Infant chest

あった。浅田らは受光媒体のデジタル化に伴って一般撮影の撮影線量の最適化が進んでいるが、胸部だけが最適化されていないことを指摘している¹⁷⁾。しかし、本研究結果は胸部においても全国調査結果 2011 よりも ESD が低かった ($p < 0.001$)。このことは、一般撮影全体において神奈川県医療機関が全国の医療機関よりも ESD が最適化されており、なおかつ施設間のばらつきも少なく収束していることを示唆している。ただし、後述するように神奈川県であっても医療被ばくの最適化については課題があるということも理解しておく必要がある。

本研究結果の FPD 使用率は、成人胸部正面、成人

腹部臥位正面および小児胸部正面でそれぞれ 50%、49% および 63% であった。また、本研究結果の ESD は、3 部位すべてにおいて FPD の方が CR よりも有意に低くなった (成人胸部正面; $p < 0.001$, 成人腹部正面; $p < 0.001$, 小児胸部正面; $p < 0.05$) (Fig. 3)。全国調査結果 2011 と全国調査結果 2014 では、FPD 使用率が成人胸部のみ示されており 28.5% と 34.6% である。FPD 使用率は本研究結果の方が高く、年を経るにしたがって FPD が普及している。FPD は CR より量子検出効率 (detective quantum efficiency: DQE) が高く²⁸⁾、撮影線量低減の余地が大きいとされており、CR に比べ 1/2 から 1/3 程度まで線量を低減可能と報告されてい

Fig. 4 Comparison of Kanagawa prefecture survey results (2015) and nationwide survey results (2011) on the entrance surface dose (ESD), and nationwide survey results (2014) on the entrance skin dose (ESkD) each for the image receptor [flat panel detector (FPD) or computed radiography (CR)] in the adult chest general radiography. (a) FPD, (b) CR

る¹⁸⁻²⁰⁾。そのため、本調査結果が全国調査結果 2011 よりも有意に低くなったのは、FPD の普及が要因の一つである可能性がある。

現在の DRLs は医療装置の違いを包含した指標線量となっているので、異なる医療装置の使用割合に変遷があった場合に適宜更新しなければ現状と合わない指標を出し続けていることになる。DRLs とは別に使用する医療装置ごとに指標線量を提示することによって医療装置の割合が変遷しても指標線量として有効である利点を持ち、医療被ばくの防護の最適化状況の違いによる線量のばらつきを示すことが可能になる。

また、本研究結果において FPD 蛍光体の CsI と GOS の比較では、小児胸部正面で有意に CsI の方が GOS よりも低かったが ($p < 0.001$)、成人胸部正面 ($p = 0.14$) と成人腹部正面 ($p = 0.20$) では有意ではなかった。CsI は GOS よりも DQE が 2 倍程度高いとされている⁴⁾。これらの結果は成人胸部正面と成人腹部正面においては CsI の持つ DQE の高さを活用できていない可能性を示唆している。

全国調査結果 2011 と全国調査結果 2014 は本研究の調査部位の中では胸部のみ FPD と CR に分けた場合の結果を示しており、本研究結果と FPD と CR に分けて比較した場合、CR では有意に本研究結果が全国調査結果 2011 と全国調査結果 2014 の両方よりも低かった ($p < 0.05$ (両方))。この結果は本研究結果の ESD が全国調査結果 2011 よりも低くなった原因が FPD の普及だけではないことを示唆している。一方、FPD では本研究結果が全国調査結果 2011 と全国調査結果

2014 の両方と有意差がなかった (本研究結果と全国調査結果 2011; $p = 0.08$, 本研究結果と全国調査結果 2014; $p = 0.14$) (Fig. 4)。緒言で記したとおり岸本らは「患者が受ける線量の施設間差は 10 倍以上あり、その格差は拡大傾向にある」と述べている。また、その要因は「診療放射線技師が再検査をおそれて必要以上の線量を与えていること、デフォルトされていて被写体に応じた条件設定が行われなくなっていること、患者が受ける線量への意識が低下していること、また、使用する装置の特性を十分に把握しておらず、適切な線量を選択していないケースが多くあると予想される」と指摘している⁴⁾。急速な FPD の普及のきっかけとなったワイヤレス FPD がわが国の医療機関に導入され、本格的に使用されてから 4 年ほどしか経過しておらず、神奈川県においても FPD の DQE の高さを活用できていない可能性がある。線量が異なる医療装置を含んだ DRLs の場合、著しく線量が高くなる医療装置が淘汰される役割を持つことも可能であり、医療装置の進歩に伴う線量の最適化を進めるうえで重要である。しかし、DRLs だけでは医療装置による線量差なのか最適化状況の違いによる線量差なのかが不明瞭になってしまう問題がある。

3-2 小児のグリッドの使用／否の比較

グリッドを使用することは散乱線の除去により画質の向上が期待できる。そのため、被写体厚が厚く、散乱線の含有率が高い成人の胸部および腹部撮影では、グリッドを使用することが推奨される。しかし、散乱

線の減少による線量の低下を補うために線量を高くする必要があり、患者線量の増加につながる。一方、小児の場合は、被写体厚が薄く、グリッドを使用しなくても十分な画質が得られるため、グリッドを使用するか否かは慎重に検討する必要がある^{6,29)}。本研究結果において小児胸部正面においてグリッドを使用しない施設の割合は52%であった。本研究結果のCR施設のESDは、グリッドを使用した場合は 0.15 ± 0.07 mGyであり、使用しない場合の 0.10 ± 0.05 mGyより有意に高くなった(Fig. 1) ($p < 0.05$)。米国ではグリッドを使用した場合と使用しない場合の線量差は既に報告されており、別々のDRLsも報告されている³⁰⁾。

3-3 ベンチマークドーズの提案

J-RIMEは、「ICRPの諸勧告やIAEAの国際基本安全基準など国際的な指針において、DRLsが診断領域の医療放射線防護において最適化のツールであるとされている。これは、DRLsが単に線量値を規定するだけでなく、どの線量をDRLsに用いる線量として定義するか、どのように測定するか、どのように集計するか、どのように運用するか等、さまざまな要素を含んでおり、更に装置や手法の品質保証にも密接に関連し、最適化に重要な役割を果たすためと考えられる。」と述べている¹⁶⁾。そして、DRLsは国または地域ごとに設定される。これは、経済格差や医療格差、装置および処置のプロトコルが国や地域の施設ごとによって異なる可能性があるためである。

本研究結果は、どの受光媒体を使用するか、また、小児胸部においてはグリッドの使用の有無で有意にESDが異なることを示した。

DRLsの目的は、安易に過剰な線量で撮影している医療機関に対し、それを気づかせることにある。しかし、安易に過剰な線量で撮影しているかどうかは医療装置別に示さなければ実際にはわかりにくい。したがって、これらのDRLsは国あるいは地域の同じような装置および放射線技術ごとに示すべきである。例えば、本調査結果において、成人胸部正面のESDが0.25 mGyの施設はJ-RIME DRLs 2015のDRLである0.3 mGyあるいは、CRの本研究結果の75%タイルである0.29 mGyと比較するとただちにプロトコルの変更を検討すべき対象ではないが、FPDの本調査結果の75%タイルである0.20 mGyを超えている。つまり、FPDの使用施設に絞ったDRLの決め方によってはただちにプロトコルの変更を検討すべき対象となる可能性がある。DRLsが活用されにくいのは、このようにFPDとCRを包含した場合、自施設の装置がFPD

かCRなのかでどのように対応すればよいか的確に判断できないことが理由の一つになっていると考える。また、これまで述べた理由ならびに本研究結果から小児の場合、グリッドを使用している施設群と使用していない群に分けて指標線量を決定すべきと考える。

つまり、地域、装置および設備の背景を分析したうえで指標線量を設定しなければ、医療機関がどのような対象になるのか明確に確認することができない。したがって、医療機関が自施設の撮影線量のレベルを正確に把握するためには、使用する装置別に示す方がより適切である。

Rehaniは成人向けのDRLsは標準的な患者またはファントムに限定されている等、現在のDRLsの限界を示し、成人の体重10 kgごとのグループに分類しそれぞれのグループの臨床的に許容可能な品質の画像を有する個々の検査の平均線量値から導出された体重別の指標線量としてacceptable quality dose(AQD)を提案している²¹⁾。DRLsをより選別して医療現場が使いやすい線量指標を提案するという観点からはわれわれの提案も同じ方向にある。このようなDRLsの問題の背景には指標線量を決定するための調査と決定方法に課題があるためではないかと考えられる。

そこでわれわれは、本研究結果に基づき使用している装置別の新たな指標線量としてベンチマークドーズ(benchmark dose: BD)を提案する。ベンチマークとは土地の測量法に由来し経済学等でも使用される用語で水準点や基準点を意味し、その基準点から比較対象の位置やレベルを測るために用いられる³¹⁾。例えば、病院経営では病院経営の指標を類似の病院群と比較して自らのレベルを分析する手法もある³²⁾。特に、相対評価が必要な場合は比較する基準点を設けることが重要となる。つまり、BDとは線量に大きく影響する装置の因子を除外し医療装置別に示すことで自施設の最適化の状況を把握するための基準点を意図している。ICRPが医療被ばくには線量限度を適用しないことを勧告していることやDRLsが安易に過剰な線量で撮影していることを気づかせることを目的としていることを踏まえて、DRLsと同様に調査結果の75%タイルを基準とした。成人についてはFPDとCRごとに設定する。また、小児胸部についてはFPDとCRに分けるとともにグリッド使用の有無別とする(Table 3)。成人胸部のBDはFPDの場合0.2 mGy、CRの場合0.3 mGy、成人腹部は同様にFPDが1.5 mGy、CRが2.0 mGy、小児胸部はFPDでグリッドを使用する場合が0.15 mGy、グリッドを使用しない場合が0.10 mGy、CRでグリッドを使用する場合0.20 mGy、グ

Table 3 Percentile value of the entrance surface dose (ESD) and benchmark dose (BD) each for the image receptor [flat panel detector (FPD) or computed radiography (CR)] or grid (+ or -)

Region			Adult chest			Adult abdomen			Infant chest			
FPD/Grid/BDs			All ^a	CsI ^b	BDs	All ^a	CsI ^b	BDs	Grid (+)	BDs	Grid (-)	BDs
ESD (mGy)	FPD	75%	0.20	0.19	0.2	1.3	1.4	1.5	0.12	0.15	0.10	0.10
		50%	0.14	0.14	-	1.0	1.1	-	0.07	-	0.07	-
		25%	0.11	0.11	-	0.8	0.7	-	0.05	-	0.06	-
	CR	75%	0.29	-	0.3	1.9	-	2.0	0.19	0.20	0.13	0.15
		50%	0.23	-	-	1.4	-	-	0.12	-	0.07	-
		25%	0.17	-	-	1.1	-	-	0.11	-	0.06	-

^a: All types of FPD^b: CsI (Cesium Iodide)

リッドを使用しない場合が0.15 mGyとする。特に、J-RIME DRLs 2015の一般撮影分野は主にCR使用施設のデータで構成されており、FPD使用率が急速に高まっている中、FPD使用施設はDRLsと本論文が提案したBDとの比較を併用することを推奨する。また、CR使用施設も受光媒体等の医療装置の更新の際にはDRLsやFPD使用施設のBDを踏まえて線量の最適化を考慮する必要がある。

なお、Table 3では参考までに25%タイルと50%タイルの値も示した。

3-4 研究限界

本研究では一般撮影のDRLsに用いられている部位のうち3部位を選択して調査した。3部位以外の最適化状況を把握し、BDを提案することは多くの放射線検査を実施している医療機関にとって有益であろう。

4. 結 論

一般撮影において神奈川県医療機関の線量は全国に比べて最適化されていることが示された。また、受光媒体やグリッドの使用状況によって一般撮影のESDに差があることが示された。しかし、神奈川県においてもFPDのDQEの高さを活用できていない可

能性がある。

各医療機関がより正確に自施設の線量の程度を理解するために、われわれは、本研究結果に基づき新たな指標線量としてBDを提案する。医療装置別の指標線量であるBDはDRLsよりも各医療機関の最適化状況を正確に把握できる。複数の医療装置を包含したDRLsにも有用性があり、今後はBDとDRLsを併用することが望まれる。

謝 辞

調査にご協力いただいた医療機関の皆様に深謝申し上げます。また、EPDの使用手法や研究内容にご指導いただいた茨城県立医療大学の佐藤斉教授ならびに先行研究検討にご指導いただいた藤田保健衛生大学の浅田恭生教授に心よりお礼を申し上げます。

また、本研究は公益社団法人神奈川県放射線技師会の医療被ばく最適化推進委員会による医療被ばく最適化活動の一環として実施した。

なお、本研究内容の一部は第32回日本診療放射線技師学術大会(2016年、岐阜市)において発表した。

参考文献

- 1) 日本アイソトープ協会 訳. 国際放射線防護委員会の2007年勧告(ICRP Publ.103). 東京: 丸善, 2009.
- 2) 日本アイソトープ協会 訳. 医学における放射線防護(ICRP Publ.105). 東京: 丸善, 2012.
- 3) 日本アイソトープ協会 訳. 国際放射線防護委員会の1990年勧告(ICRP Publ.60). 東京: 丸善, 1991.
- 4) 岸本健治, 有賀英司, 石垣睦太, 他. デジタル画像の画質と被ばくを考慮した適正線量の研究. 日放技学誌 2011; 67(11): 1381-1397.
- 5) 鈴木昇一. 日本における放射線診療で患者が受ける線量の実態調査の動向. 保健物理 2013; 48(1): 48-56.
- 6) 日本アイソトープ協会 訳. 医学における放射線の防護と安全(ICRP Publ.73). 東京: 丸善, 1997.
- 7) International Atomic Energy Agency (IAEA). International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, IAEA Safety Series No. 115. 1996.
- 8) Communication from the Commission concerning the imple-

- mentation of Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of the workers and the general public against the dangers arising from ionising radiation. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/NOT/?uri=CELEX:51998DC0087>. (Accessed 2015.12.23).
- 9) European Commission. Radiation protection 109. Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. OOEPEC, Luxembourg. 1999.
 - 10) Mettler FA, Huda W, Yoshizumi TT, et al. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008; 248(1): 254-263.
 - 11) Mettler FAJ, Bhargavan M, Faulkner K, et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources—1950-2007. *Radiology* 2009; 253(2): 520-531.
 - 12) European Commission. DDM2 Project Report Part 2: Diagnostic Reference Levels (DRLs) in Europe. 2010.
 - 13) National Council on Radiation Protection and Measurements. Reference levels and achievable doses in medical and dental imaging: recommendations for the United States. NCRP Report No. 172. Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements. 2012.
 - 14) 日本放射線技師会. 患者のための医療被ばくガイドライン (低減目標値). *日放線技師会誌* 2000; 47(10): 1694-1750.
 - 15) 日本放射線技師会. 放射線診療における線量低減目標値—医療被ばくガイドライン 2006. 東京: 文光堂, 2006.
 - 16) 医療被ばく研究情報ネットワーク. 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/DRLhoukokusyoEng.pdf>. (Accessed 2016.6.14).
 - 17) 浅田恭生, 鈴木昇一, 小林謙一, 他. X線診断時における患者が受ける線量の調査研究(2011)による線量評価. *日放技学誌* 2013; 69(4): 371-379.
 - 18) 岡友博史, 市川勝弘, 東出 了, 他. 低線量域における Digital Radiography の物理的画質特性の検討. *日放技学誌* 2012; 68(8): 961-969.
 - 19) Bacher K, Smeets P, Bonnarens K, et al. Dose reduction in patients undergoing chest imaging: digital amorphous silicon flat-panel detector radiography versus conventional film-screen radiography and phosphor-based computed radiography. *AJR Am J Roentgenol* 2003; 181(4): 923-929.
 - 20) 横井知洋, 高田忠徳, 市川勝弘, 他. 直接型および間接型 Flat Panel Detectors と Computed Tomography における物理的画質評価を利用した画質同一化の試み. *日放技学誌* 2011; 67(11): 1415-1425.
 - 21) Rehani MM. Limitations of diagnostic reference levels (DRL) and introduction of acceptable dose (AQD). *Br J Radiol* 2015; 88(1045): 20140344. doi: 10.1259/bjr.20140344.
 - 22) 茨城県診療放射線技師会. EPD. <http://www.iart-web.org/public/epd.html>. (Accessed 2017.6.25).
 - 23) 森 剛彦, 鈴木光昭, 佐藤 斉, 他. 医療被曝のガイダンスレベルの設定に関する研究. *鈴鹿医療技大紀要* 1997; 4: 109-129.
 - 24) 日本放射線技術学会. 診断参考レベル運用マニュアル. http://www.jsrt.or.jp/data/wp-content/uploads/2013/07/drl_manual_20161001_ver3.pdf. (Accessed 2017.5.1).
 - 25) The Image Gently Alliance. <http://www.imagegently.org/>. (Accessed 2017.3.23).
 - 26) 株式会社社会情報サービス. エクセル統計 Ver.2.12. 東京.
 - 27) Asada Y, Suzuki S, Minami K, et al. Survey of patient exposure from general radiography and mammography in Japan in 2014. *J Radiol Prot* 2016; 36(2): N8-N18.
 - 28) 岸本健治. 一般撮影においてのフラットパネルディテクタの評価. *日放技学誌* 2002; 58(4): 455-461.
 - 29) Šabič I, Ključevšek D, Thaler M, et al. The effect of anti-scatter grid on radiation dose in chest radiography in children. *Pediatrics Today* 2016; 12(1): 75-80.
 - 30) American College of Radiology (ACR). ACR-AAPM practice parameter for diagnostic reference levels and achievable dose in medical X-ray imaging. <https://www.acr.org/~media/0DAB1CD6FFC44F09A05E0BD0FCA175F8.pdf>. (Accessed 2017.5.1).
 - 31) 藤田圭一監修. 土木現場実用語辞典. 東京: 井上書院, 1993.
 - 32) 秦 温信, 石川 功, 澤田 健, 他. ベンチマーク分析による DPC 対応原価計算と標準治療計画の評価. 東京: じほう, 2007.

問合せ先

〒370-0006 高崎市問屋町 3-3-4

群馬パース大学保健科学部放射線学科 渡邊 浩