資料

論文受付
2018年4月2日

論文受理
2018年9月4日

Code No. 622

面積線量計を用いた胃集団検診における線量評価

鈴木千晶¹ 山内紬起子² 山村大輔² 竹井泰孝³ 鈴木昇一⁴

¹ 聖隷健康サポートセンター Shizuoka 放射線課

² 聖隷予防検診センター放射線課

³ 川崎医療福祉大学医療技術学部診療放射線技術学科

⁴ 大同病院放射線課

緒言

医療被ばくの最適化のツールとして、国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) は診断参考レベル (Diagnostic Reference Levels: DRLs) の利用を推奨している^{1~3)}。European Union (EU) は国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency: IAEA) の国際基本安全基準 (Basic Safety Standard: BSS) を踏まえて、欧州原子力共同体の基本安全基準指令として、EU 加盟国に放射線検査等において DRL を導入し、定期的に評価する

ことを義務付けている⁴⁾。本邦では2015年6月7日に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) がわが国で初となる Japan DRLs 2015⁵⁾ を発表した。消化管検査に対する DRL は設定されていない。昨今、内視鏡検査の普及により消化管 X 線造影検査の検査数は上部消化管 X 線検査、下部注腸検査共に減少しているが、一方で胃がん検診として毎年約700万人の受診者が上部消化管 X 線検査を受診しており⁶⁾、早急の DRL 策定が望まれる。

Evaluation of Radiation Exposure on Mass Screening Examination for Gastric Cancer Using an Air Kerma-area Product Meter

Chiaki Suzuki,^{1*} Yukiko Yamauchi,² Daisuke Yamamura,² Yasutaka Takei,³ and Shoichi Suzuki⁴

¹ Department of Radiological Technology, Seirei Healthcare Support Center Shizuoka, Seirei Health Care Division

² Department of Radiological Technology, Seirei Preventive Examination Center, Seirei Health Care Division

³ Department of Radiological Technology, Faculty of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare

⁴ Department of Radiology, Daido Hospital

Received April 2, 2018; Revision accepted September 4, 2018

Code No. 622

Summary

The present study grasped the radiation exposure per examination by incident air kerma (air kerma-area product; KAP and incident air kerma; $K_{a,e}$) using an air kerma-area product meter of our division with mobile population based gastric cancer screening. Initially, we measured the air kerma rate at the patient entrance reference point using an air kerma-area product meter and calibrated dosimeter, for three devices which an air kerma-area product meter was equipped, inspected the indication error of them. The error was 4.3% at the maximum, and accuracy was confirmed. The 816 patients who underwent gastric cancer screening in our division, the median values of KAP and $K_{a,e}$ of the standard gastrography method 1 were $645.7 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$, 37.4 mGy, respectively. The radiation dose of males were significantly higher than females, and the radiation dose increased in proportion to the BMI. The median values of calculated KAP and $K_{a,e}$ of the standard gastrography method 1 for standard body size were $633.8 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$, 37.0 mGy, respectively. We suggest that the patient exposure in gastrography can be optimized using an air kerma-area product meter.

Key words: air kerma-area product meter, gastric cancer screening, diagnostic reference levels

*Proceeding author

上部消化管 X 線検査における被ばく線量の報告は、現在の撮影法である基準撮影法とは相違しているものの、ファントムを使用し空気カーマから求めた丸山ら⁷⁻⁹⁾、小山ら¹⁰⁾の報告や Numerical Dose Determination (NDD) 法を用いた加藤ら¹¹⁾の報告がある。近年では広藤ら¹²⁾による人体ファントム内線量計を利用した報告や、山本ら¹³⁾の面積線量 (air kerma-area product: KAP) と入射表面線量からモンテカルロシミュレーションソフトを用い、基準撮影法による実効線量が報告された。

2012 年に改訂された日本工業規格 (Japanese Industrial Standards: JIS) では、透視 X 線装置に対して線量値の表示が規定され¹⁴⁾、当事業部でも 2016 年以降導入された胃部巡回バスは面積線量計を搭載したものを標準としている。面積線量計は X 線管装置の絞りに装着することで、リアルタイムに時系列データが収集でき、複数受診者に利用できる利点がある¹⁵⁾。また、欧州委員会 (European Commission: EC) では、2014 年の “Radiation Protection No 180 Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries”¹⁶⁾において、透視撮影やインターベンションにおける DRL として KAP および入射表面線量の値で策定されている。よって、本邦でも KAP や入射表面線量による DRL の策定が妥当と考える。なお入射表面線量は後方散乱係数を含んだ値と定義されているが、面積線量計で得られる表示値は後方散乱係数を含まない入射空気カーマ (incident air kerma: $K_{a,e}$) となっている。

本研究の目的は、面積線量計を用いて巡回バスによる胃がん検診によって被検者が受ける KAP および $K_{a,e}$ を把握し、上部消化管 X 線検査の線量管理、将来の胃がん検診に対する DRL 策定の指標となり得るかを検討することである。

1. 方法

1-1 使用機器およびファントム

撮影装置は面積線量計 VacuDAP standard (VacuTec) が搭載された 3 台の Image intensifier digital radiography (II-DR) 方式デジタル X 線 TV 透視撮影装置 CLAVIS MOBILE ESPACIO (日立製作所) を使用した。固有ろ過および付加フィルタはそれぞれ 1.0 mmAl+1.5 mmAl, 0.05 mmCu であり、3 装置の購入年月は装置 A: 2016 年 6 月、装置 B: 2016 年 3 月、装置 C: 2016 年 1 月である。また、VacuTec から得られる $K_{a,e}$ は天板上から 30 cm、焦点から 55 cm の点で校正されており、仕様書に則り、この点を患者照射基準点と定義した。

ファントムには 40×40 cm の Polymethyl methacrylate (PMMA) ファントム (三菱レーヨン) を使用し、面積線量計の表示値の精度を確認するための線量計として 2016 年 11 月に日本品質保証機構 (Japan Quality Assurance Organization: JQA) で公正を受けた Unfors RaySafe 社製 RaySafe X2、検出器には Unfors RaySafe 社製 X2 R/F Sensor 半導体検出器を用いた。

1-2 面積線量計の表示値評価

1-2-1 基準空気カーマ率の確認

Figure 1 に示すようにローリング天板上に 20 cm 厚の PMMA ファントムを配置した。なお、天板は凹型のローリング天板であるため、発泡スチロールにて調整し床面と並行とした。したがって、PMMA ファントムの下面は天板下面より 8 cm 上方となった。X 線管焦点より 30 cm の位置に半導体検出器を配置して X 線透視を Auto 条件にて行った。

1 分間の X 線照射を 5 回行い、半導体線量計測定値 (K_a) と面積線量計表示値 ($K_{a,e}$) の平均値からそれぞれの透視線量率を求めた。 K_a を式 (1) により患者照射基準点で距離補正した空気カーマ率 $K_{a,r}$ 、 X_1 に変換した。

$$K_{a,r}, X_1 = 0.298 K_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

測定値から求めた基準点での空気カーマ $K_{a,r}$ 、 X_1 と $K_{a,e}$ の誤差について式 (2) を用いて算出した。

$$Err = \left(\frac{K_{a,e}}{K_{a,r}, X_1} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

視野サイズは、通常使用しているサイズである 9 インチとした。

1-2-2 入射線量と $K_{a,e}$ の検証

Figure 2 に測定時の幾何学的配置を示す。半導体検出器を PMMA ファントム 15-28 cm 上に配置して X 線透視ならびに撮影を Auto 条件にて行った。

1 分間の X 線照射と撮影をそれぞれ 3 回ずつ行った。半導体線量計測定値は、X 線管中心から 55 cm 下方の患者照射基準点と重なるファントム厚 22 cm (発泡スチロール厚を加算した天板から 30 cm 上) を基準に距離補正を行い、面積線量計表示値との誤差を透視線量率と撮影線量で測定検証した。視野サイズは、通常使用している 9 インチとした。

1-3 巡回バス胃がん検診の線量評価

1-3-1 対象

胃がん検診の撮影法は 2011 年改訂の新・胃 X 線撮影法ガイドライン¹⁷⁾ の対策型検診撮影法に準じ、食

Fig. 1 Geometrical set-up for the exposure measurements of reference air kerma rate.

Fig. 2 Geometrical set-up for the exposure measurements of air kerma-area product and incident air kerma. The dose was measured at 150, 180, 200, 220, 240, 260, 280 mm high from the bed.

Table 1 Number of subjects who underwent gastric cancer screening

	Region	Employee	Total
Male	112	292	404
Female	278	134	412
Total	390	426	816

道、2重造影8体位の計9曝射で行う基準撮影法Iである。

対象は2016年11月から2017年2月、2017年6月から9月までに当事業部の巡回バスにて胃がん検診を受診した816名(男性404名、女性412名、平均年齢 54.6 ± 12.9 歳)で、そのうち市町村が住民に対して実施する地域検診は390名(男性112名、女性278名、平均年齢 61.9 ± 11.7 歳)、企業が社員に対して実施を義務付けている職域検診は426名(男性292名、女性134名、平均年齢 48.0 ± 10.0 歳)である(Table 1)。なお、本研究の実施にあたり、当事業部の倫理審査委員会の承認を得た。

1-3-2 撮影と線量計測

撮影を担当した診療放射線技師は31名(男性17名、女性14名、胃がん検診専門技師17名)で、胃がん検診の撮影経験は5年未満が12名、5年以上10年未満が5名、10年以上は14名であった。

硫酸バリウム製剤には、濃度200 w/v%の伏見製薬製バリトゲン[®]HDを150 ml用い、発泡剤として伏見製薬製バリエース[®]発泡剤5 gを用いた。視野サイズは9インチ固定、絞りは適宜使用可とした。透視ならびに撮影はAuto条件にて行い、1検査当たりのKAPおよび $K_{a,e}$ と検査所要時間の記録を行った。

1-3-3 KAPと $K_{a,e}$ の評価

初めに、総受診者816名のKAPと $K_{a,e}$ の関係を検討した。また、KAPおよび $K_{a,e}$ を男女間、性別ごとに地域検診と職域検診間で比較した。

次に、身長と体重の計測を同日に行った505名(男性315名、女性190名)に対してBody Mass Index (BMI)と $K_{a,e}$ の関係を、検査所用時間を記録した692名(男性361名、女性331名)の検査所要時間と $K_{a,e}$ の関係をそれぞれ検討した。

1-3-4 標準体型における入射表面線量と医療被ばくガイドラインとの比較

医療被ばくガイドライン¹⁸⁾と比較するため、BMI 18.5以上~25.0未満を標準体型とした場合の360名(男性226名、女性134名)のKAPおよび $K_{a,e}$ を算出した。なお2015年に行われた日本消化管画像研究会委託研究報告¹⁹⁾において、マーゲンファントム上の後方散乱付加に相当する増加率は1.12~1.42倍であった

Table 2 Measurement error of reference air kerma rate using an air kerma-area product and dosimeter

	$K_{a,e}$ (mGy/min)	$K_{a,r}, X_I$ (mGy/min)	Err (%)	SD
Device A	14.0	14.7	4.3	1.50
Device B	16.0	15.8	1.2	0.24
Device C	11.9	12.1	4.3	0.07

$K_{a,r}, X_I$: reference air kerma rate using dosimeter

$K_{a,e}$: reference air kerma rate using dose area product

ことから、後方散乱係数として、線量計測定値に過小評価を避けるため最大値1.42を乗じた値を入射表面線量とし、医療被ばくガイドライン¹⁸⁾と比較を行った。

1-4 統計学的検定法

KAPおよび $K_{a,e}$ を中央値、四分位範囲で示した。性別および地域・職域検診ではunpaired t-test、KAPと $K_{a,e}$ 、BMIと $K_{a,e}$ 、検査所要時間と $K_{a,e}$ は単回帰分析を用いて有意差検定を行った。なお有意差検定にはEZR²⁰⁾を使用し、各検定における有意水準は5%とした。

2. 結果

2-1 面積線量計の表示値評価

2-1-1 基準空気カーマ率の確認

Table 2に面積線量計と半導体線量計の基準空気カーマ率の表示誤差を示す。表示誤差は最大4.3%となった。これは、JIS²¹⁾規格およびIEC²²⁾基準による許容誤差35%を十分満たしており、各装置の面積線量計の表示値の精度は良好に保たれていた。

2-1-2 入射線量と $K_{a,e}$ の検証

Figure 3に透視線量率、Fig. 4に撮影線量の表示誤差を示す。測定値と表示値の誤差は、各装置ともにファントムが最も薄い場合の透視線量率と撮影線量で最大となった。しかし、最も誤差の大きかった装置でも透視線量率で最大9.2%、撮影線量で最大19%と基準空気カーマ率同様、JIS²¹⁾規格およびIEC²²⁾基準による許容誤差35%以内であった。

2-2 巡回バス胃がん検診の線量評価

2-2-1 KAPと $K_{a,e}$ の評価

KAPと $K_{a,e}$ は $y=0.06X+1.16$, $R=0.986$ ($P<0.001$)と非常に強い相関を示した(Fig. 5)。

男女別のKAPをTable 3、 $K_{a,e}$ をTable 4およびFig. 6に示す。男性が44.6(34.6~56.0) mGy、女性が32.0(25.0~43.2) mGyと、男性が女性と比べて有意に高い値を示した($P<0.001$)。地域検診、職域検診で分類

Fig. 3 Measurement error of fluoroscopy radiation dose rates.

Fig. 4 Measurement error of radiation dose.

した場合の性別ごとの KAP を Table 3, $K_{a,e}$ を Table 4 および Fig. 7 に示す。男性、女性ともに職域検診と地域検診の間で有意差は認められなかった。BMI は職域検診で男性 23.6 ± 2.8 , 女性 21.2 ± 2.2 , 地域検診で男性 23.3 ± 3.3 , 女性 22.3 ± 3.8 であった。

Figure 8 に BMI と $K_{a,e}$ の関係を示す。 $K_{a,e}$ は BMI に対して、相関係数は $R=0.621$ ($P<0.001$) と中程度の相関を示した。

Figure 9 に検査所要時間と $K_{a,e}$ の関係を示す。 $K_{a,e}$ は検査時間に対して、相関係数は $R=0.108$ ($P<0.001$) であり相関は認められなかった。

2-2-2 標準体型における入射表面線量と医療被ばくガイドラインとの比較

標準体型による 1 検査あたりの KAP および $K_{a,e}$ の中央値は、Table 5 に示すように 633.8 (513.7 – 794.4) $\text{mGy} \cdot \text{cm}^2$, 37.0 (30.2 – 46.2) mGy であった。1 検査あたりの入射表面線量は、 52.5 mGy とガイドラインの間接撮影と比較すると同等、直接撮影と比較すると大きく下回った。

Fig. 5 Scatter diagram of air kerma-area product and incident air kerma.

3. 考 察

本邦における上部消化管 X 線検査は、古くから、多く施行されてきたが、施設間や技師間で手技や検査技術が異なり、検査精度に格差を生じていることが従来からの課題とされていた。昨今は日本消化器がん検診学会ならびに NPO 法人日本消化器がん検診精度管理機構により新・胃 X 線撮影法ガイドライン¹⁷⁾ が提唱されて、撮影手順や撮影体位、撮影枚数等が標準化され、施設や個人の撮影手技が一定化されつつある。そこで本研究で行った線量測定は、初めに装置に搭載されている面積線量計の精度を評価し、次に巡回バスにおける胃がん検診検査あたりの KAP および $K_{a,e}$ を求めて検討した。これはガイドライン撮影法による面積線量計を利用した線量指標であり、標準化が進んだ現在、上部消化管 X 線検査領域にとって DRL 策定の参考値になると考える。

各装置の面積線量計の基準空気カーマ率は、装置間で 1.2–4.3% と精度の差は認められたが、いずれも JIS²¹⁾ 規格、IEC²²⁾ 基準の面積線量計の許容誤差 $\pm 35\%$ を大きく下回っており、良好な精度が保たれていることが確認された。

また、PMMA ファントムの厚さを変化させた場合の $K_{a,e}$ から求めた透視線量率と撮影線量では、特に薄いファントム厚の撮影線量で誤差が 19% と大きくなった装置もあった。しかしながら、基準空気カーマ率と同様に、各装置ともに JIS²¹⁾ 規格、IEC²²⁾ 基準の許容誤差 $\pm 35\%$ を大きく下回っており、面積線量計の精度が高いことが確認された。

本研究で用いた巡回バスに搭載された面積線量計で

Table 3 Results of air kerma-area product in the standard gastrography I

	Regiona (mGy·cm ²)	Employee (mGy·cm ²)	Total (mGy·cm ²)
Male	773.6 (631.2–956.7)	748.1 (592.5–973.5)	757.7 (596.3–969.6)
Female	528.4 (408.4–690.8)	596.3 (451.8–801.9)	542.1 (427.0–737.7)
Total	594.2 (445.4–807.7)	708.4 (545.1–936.9)	645.7 (498.5–864.5)

Table 4 Results of incident air kerma in the standard gastrography I

	Regiona (mGy)	Employee (mGy)	Total (mGy)
Male	46.1 (36.4–57.3)	43.2 (34.2–55.4)	44.6 (34.6–56.0)
Female	31.4 (24.2–40.5)	34.5 (26.1–46.7)	32.0 (25.0–43.2)
Total	35.2 (26.2–47.8)	41.3 (32.2–53.7)	37.4 (28.8–50.8)

Fig. 6 Comparison of incident air kerma in male and female.

測定された KAP と、 $K_{a,e}$ には強い相関が認められた。KAP は $K_{a,e}$ に皮膚面入射面積を乗じた値であるが、当事業部の透視および撮影はすべて 9 インチと同一入射面積である。絞りは撮影者により適宜使用しているが、大きな影響がなかったためと考える。

日本のがん検診は、対策型検診と任意型検診の大きく 2 種類に分かれており、胃がん検診もそれぞれ行われている。対策型検診は対象集団全体の死亡率を下げるために行われるがん対策の集団検診であるが、その中でも市区町村が行う地域検診と、職域・健保組合等

が行う職域検診に分かれており、対象者は変わってくる。消化器がん検診全国集計²³⁾では要精検率が地域検診でやや高いことが報告されている。本調査でも地域検診で透視観察時間の延長により線量高値が推測されたが、職域検診が地域検診より線量が有意に高値を示した。そこで、職域検診と地域検診間を男女別に比較したところ、職域検診と地域検診共に、男性および女性の BMI を比較すると男性が高く、Fig. 6 に示すように $K_{a,e}$ は男性が女性に比べて有意に高い値を示した。しかし、Fig. 7 に示すように男女いずれも職域検診と地域検診間で $K_{a,e}$ に有意差が認められなかった。したがって、職域検診が地域検診より線量が有意に高値を示した要因は、職域検診では男性が多く、地域検診では女性が多いため、男女間の有意差がそのまま反映された結果と考える。

今回、検査所要時間と $K_{a,e}$ は相関が認められなかった。本来の線量管理では透視時間と線量との関係が必要とされるが、本研究で使用した装置では透視時間の表示が分単位となっているために詳細な透視時間の記録が行えなかった。そのため透視観察外の時間も含んだ検査所要時間と $K_{a,e}$ の関係となっているために相関関係が認められなかったと考える。なお新・胃 X 線撮影法ガイドライン¹⁷⁾では対策型検診の透視時間は 4 分以内となっており、透視時間と線量の関係も今後も調査が必要であるといえる。

また、X 線 TV 透視撮影装置は、現在、フィルム法（間接撮影と直接撮影）からデジタル撮影方式へと替わっているが、医療被ばくガイドライン¹⁸⁾では間接撮

Fig. 7 Comparison of incident air kerma in screening of the regional and the employee.

Fig. 8 Scatter diagram of body mass index and incident air kerma.

Fig. 9 Scatter diagram of examination time and incident air kerma.

Table 5 Comparison of entrance surface dose and medical exposure guideline for standard body size

	Air kerma-area product (mGy·cm ²)	Incident air kerma (mGy)	Entrance surface dose (mGy)
	633.8 (513.7–794.4)	37.0 (30.2–46.2)	52.5
Medical exposure guideline			50 (Indirect radiation dose) 100 (Direct radiation dose)

影と直接撮影の数値が表記されているのみである。これは、以前は撮影方式の名称から対策型検診は間接撮影法、任意型検診は直接撮影法と呼ばれていたためであるが、デジタル化の普及により、間接撮影や直接撮影といった装置名による使い分けは意味をなさなくなった。本研究ではすべて II-DR 方式の装置を使用しており、比較基準として妥当ではない。2014 年 3 月

に行われた医療被ばくガイドライン改訂(案)の中間報告²⁴⁾において、撮影回数 25 回、1 検査当たり 120 mGy という値が提示されたが、この 1 検査当たり 120 mGy の値は撮影回数から施設内での撮影に相当すると考える。今回は巡回バス胃がん検診の線量把握を目的としていることから、前者の医療被ばくガイドライン¹⁸⁾の値と比較を行った。対象を標準体型に限定す

ると、KAP と $K_{a,e}$ の中央値は $633.8 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$, 37.0 mGy となったが、ガイドラインが入射表面線量としての値を表記しているため、後方散乱係数として 1.42 を乗じて比較した。入射表面線量は 52.5 mGy となり、従来の間接撮影のガイドライン値よりやや上回ったが、このガイドライン値は巡回バス検診で多く使用されていた間接方式で行った撮影を意味しており、II-DR 方式は直接方式となる。よって、直接撮影のガイドライン値との比較がより妥当を考え、ガイドライン値を大きく下回っていることが確認された。

一方で、過去の上部消化管 X 線検査における被ばく線量の線量評価指標は実効線量と入射表面線量で示されている。しかしこれらの値は、種類の異なるファントムを使用し、透視や撮影条件より導き出すなど、算出方法に統一性がなかった。山本ら¹³⁾は、面積線量とモンテカルロシミュレーションを用いて 1 検査当たりの平均実効線量を示したが、入射線量も同時に報告している。

本研究は、標準体型における $K_{a,e}$ の中央値に後方散乱による付加を乗じて 1 検査当たりの入射表面線量も算出した。今後、面積線量計を搭載する装置が多くなることが予測され、施設内では Flat Panel Detector (FPD) 方式の装置も稼働している。フィルム法からデジタル撮影方式によって、撮影線量の減少、II-DR 方式から FPD 方式の装置によって、パルス透視

の活用による透視線量率の減少が見込まれる。DRL 策定には、より簡便で、統一された線量評価方法が必須とされる。よって、本研究による面積線量計から得られる面積線量 KAP と標準体型における表示値 $K_{a,e}$ による DRL 策定が妥当と考える。

4. 結 語

面積線量計を用いた巡回バスによる胃がん検診における 1 検査当たりの KAP および $K_{a,e}$ は、 $645.7 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$, 37.4 mGy であった。標準体型での KAP および $K_{a,e}$ は、 $633.8 \text{ mGy} \cdot \text{cm}^2$, 37.0 mGy であった。今回の研究から面積線量計を用いた上部消化管 X 線検査の線量管理が可能であり、面積線量計は DRL 策定において有効なツールであると考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご協力を賜りました聖隷予防検診センター放射線課の診療放射線技師諸兄に感謝いたします。また、本稿をまとめるにあたりご指導いただきました、聖隷健康診断センター放射線課の平野昌弘氏に深く御礼申し上げます。

なお、本研究の要旨は第 45 回日本放射線技術学会秋季学術大会(2017 年、広島)にて発表した。

参考文献

- 1) ICRP. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection and safety in medicine. ICRP Publication 73. Ann. ICRP 26(2). 1996.
- 2) ICRP. International Commission on Radiological Protection. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 2007.
- 3) ICRP. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1). 2017.
- 4) European Society of Radiology (ESR). Summary of the European Directive 2013/59/Euratom: essentials for health professionals in radiology. Insights Imaging 2015; 6(4): 411-417.
- 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結果に基づく診断参考レベルの設定. <http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRLhoukokusyo.pdf> (Accessed 2017.4.27).
- 6) 日本消化器がん検診学会全国集計委員会. 平成 26 年度消化器がん検診全国集計. 日消がん検診誌 2017; 55(1): 52-83.
- 7) 丸山隆司, 隈元芳一, 西沢かな枝, 他. X 線診断における撮影および透視, 1986 年. Radioisotopes 1993; 42(2): 113-119.
- 8) 丸山隆司. 医療被ばくの頻度と実効線量. 放線科 1995; 38(9): 317-325.
- 9) 丸山隆司, 岩井一男, 西沢かな枝, 他. X 線診断による臓器・組織線量, 実効線量および集団実効線量. Radioisotopes 1996; 45(12): 761-773.
- 10) 小山一郎, 星野欽一郎, 久保田博, 他. X 線透視系の被曝線量調査報告書. 日放技学誌 1997; 53(5): 609-620.
- 11) 加藤英幸, 磯辺智子, 越智茂博, 他. 消化管 X 線検査における被曝線量の施設間格差の評価法. 日放技学誌 1999; 55(7): 655-664.
- 12) 広藤喜章, 青山隆彦, 小山修司, 他. 人体ファントム内線量計測に基づいた上部消化管 X 線検査における被検者の被ばく線量評価. 保健物理 2005; 40(4): 341-353.
- 13) 山本兼右, 山崎秀男, 高倉玲奈, 他. 胃がん検診における基準撮影法を用いた受診者の実効線量. 日消がん検診誌 2015; 53(3): 365-375.
- 14) JIS Z4751-2-54: 2012 203.6.4.5 <http://kikakurui.com/z4/Z4751-2-54-2012-01.html>
- 15) 松原孝祐, 他. 面積線量計を用いたリアルタイム線量モニタの有用性. 放射線防護分科会誌 2002; 15: 63.
- 16) European Commission. Diagnostic reference levels in thirty-six European countries. Radiation Protection No 180. 2014.
- 17) 日本消化器がん検診学会, 胃がん検診精度管理委員会編. 新・胃 X 線撮影法ガイドライン, 改訂版(2011 年). 日本消化器がん検診学会. 東京: 医学書院. 2011.
- 18) 日本診療放射線技師会医療被ばく安全管理委員会. 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：日本診療放射線技師会, 2006.
- 19) 山崎富雄, 工藤安幸, 札元将史, 他. 委託研究報告 多目的デジタル X 線 TV 装置の市場調査：被ばく線量を中心に. JART 2015; 62(9): 983-990.
- 20) Kanda Y. Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. Bone Marrow Transplant 2013; 48(3): 452-458.
- 21) JIS Z4752-3-1：日本工業規格 2004.
- 22) IEC 60580：医用放射線関連和訳規格 面積線量計. 日本放射線機器工業会, 2000.
- 23) 日本消化器がん検診学会全国集計委員会. 委員会報告 平成 26 年度消化器がん検診全国集計. 日消がん検診誌 2017; 55(1): 56-58.
- 24) 医療被ばくガイドライン改訂委員会. 医療被ばくガイドライン改訂「一般透視」中間報告. JART 2014; 61(3): 70-74.

問合せ先

〒422-8006 静岡市駿河区曲金 6 丁目 8-5-2
聖隷健康サポートセンター *Shizuoka* 放射線課 鈴木千晶