

自作胸部撮影用被ばく線量計による 線量測定とその分析結果からの被ばく管理

Dosimetry with a self-made chest radiography dosimeter and radiation dose management from the analysis results

新開 英秀¹⁾, 大石 哲也¹⁾, 高木 優¹⁾, 加藤 宏章¹⁾, 小宮 弥子¹⁾, 上田 昂樹¹⁾,
吉川 久美子¹⁾, 力武 沙也香¹⁾, 馬場 郁子²⁾

1) 公益財団法人 福岡労働衛生研究所 労衛研健診センター
2) 公益財団法人 福岡労働衛生研究所 労衛研健診センター 医師

Key words: chest radiography, radiation dose management, incident surface dose, body weight

【Abstract】

Chest X-rays in medical examinations were taken for many examinees of different body types, and a method for estimating the exposure dose of each examinee was examined.

First, we made our own radiation dosimeter for chest radiography of the examinee, installed it in one room of the chest radiography room, confirmed that it could measure with high accuracy, and then analyzed the measurement data.

From the measurement data, it was found that the exposure dose of the examinee correlates well with the weight of the examinee. Therefore, from the relationship between the weight of the examinee and the exposure dose of the examinee, it can be applied to the exposure dose management of the examinee even in other chest imaging rooms.

【要旨】

健診における胸部X線撮影は多くの体形の異なる受診者の撮影を行っており、そのおのおのの受診者被ばく線量を推定する方法を検討した。

まずは、受診者胸部撮影用被ばく線量計を自作し、胸部撮影室の一部屋に設置し、高精度に測定できることを確認した上で、その測定データを分析した。

その測定データから、受診者被ばく線量は受診者の体重によく相関することが分かったので、受診者体重と受診者被ばく線量との関係から他胸部撮影室でも受診者被ばく線量管理に応用できることを試みた。

緒 言

2015年6月に、初めてDRLsが公表された時の胸部正面の入射表面線量は0.3mGyであった。2020年7月にDRLs2020として改定され、胸部正面は別に検診胸部正面の項目が新規に追加され0.2mGyと定められた。

当施設では施設健診と巡回健診を実施し、2019年度は34万人以上の胸部撮影を行っている。撮影人数が多いことから集団実効線量も大きくなり、健診における受診者被ばく線量管理の必要性を痛感し、DRLs2020による最適化の検討も含めて胸部撮影での受診者被ばく線量管理について試みた。

以前は、全ての胸部撮影装置でフォトタイマーを使用した通常通りの方法で肺野ファントム（標準体形）を撮影し、その撮影条件での受診者被ばく線量の値を各撮影室に掲示していたが、体形の異なる多くの受診者の被ばく線量を推定することは難しく、受診者胸部撮影用被ばく線量計を自作し、胸部撮影室の一部屋に設置した。その受診者胸部撮影用被ばく線量計の特性評価を行い、高精度に測定できることを確認した上で、その測定データを分析し、おのおのの受診者胸部被ばく線量を簡易的に推定する方法を検討した。

1. 使用機器と方法

1-1. 自作胸部撮影用被ばく線量計の概要

市販されている線量計と比較して、自作線量計は同等の性能を有している¹⁾ことと安価（10万円以下）に製作できることから、胸部撮影用被ばく線量計を製作した。

1-1-1. 電離箱

電離箱²⁾の寸法は可動絞りの前面のサイズを考慮して、外法180mm×180mm、内法146mm×146mm

SHINKAI Eishu¹⁾, OOISHI Tetsuya¹⁾,
TAKAGI Yuu¹⁾, KATOU Hiroaki¹⁾,
KOMIYA Hiroko¹⁾, UEDA Kouki¹⁾,
YOSHIKAWA Kumiko¹⁾, RIKITAKE Sayaka¹⁾,
BABA Ikuko²⁾

1) Roueiken Medical Check Center, Fukuoka
Institute of Occupational Health

2) Roueiken Medical Check Center, Fukuoka
Institute of Occupational Health, Doctor

Received June 2, 2021; accepted November 25, 2021

の正方形とし、枠は4mm厚の真ちゅう板を切り抜いて製作した。電極は平行平板型で集電電極と高压電極の二層から成る。壁は100 μ m厚のポリエステルフィルムをこの枠に4mm間隔で二層に張った。この上層には集電電極を、下層には高压電極を15 μ m厚アルミニウム（家庭用アルミ箔、99.4%純度）で形成し接着した。集電電極の面積を20mm \times 20mmとし、それに伴い、高压電極の面積を30mm \times 30mmとした。Fig.1に断面構造を、Fig.2に外観図を示す。

1-1-2. 増幅器

増幅器は一般に用いられているものと原理的には同一であるが、直流増幅器としてModel AD549KH（アナログ・デバイセズ）を使用した。測定はX線照射時の電離電荷を0.016 μ Fのコンデンサーにチャージし、このチャージ電荷量を受診者皮膚面位置（撮影天板面から20cm）での吸収線量に換算して表示した。

この表示値は、自作労衛研線量計³⁾をAccu Dose+10X6 (Radcal Corporation) で線量校正し、目的位置での照射線量 (μ C/kg) を測定し、後方散乱係数と吸収線量変換係数を掛けて入射表面吸収線量を求めた。その値になるように、Fig.3中の調整抵抗で表示 (mGy) させたものである。

高压電極には高压モジュール(株式会社ベルニクス)

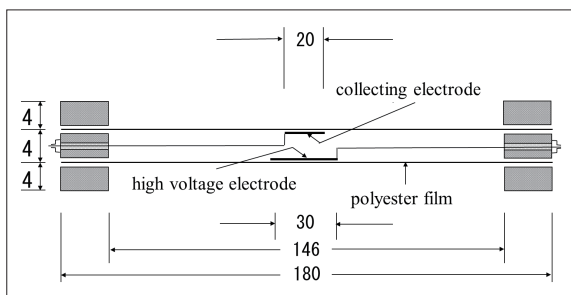


Fig.1 Cross section of an ionization chamber

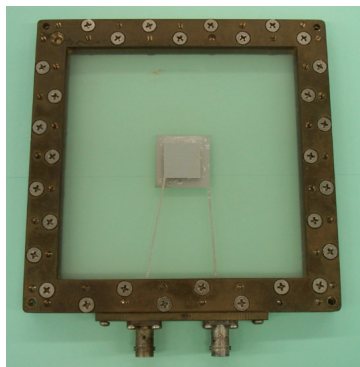


Fig.2 Appearance of an ionization chamber

を使用して、DC200Vの電圧を印加した。Fig.3に測定回路図を、Fig.4に外観図を示す。

1-2. 自作胸部撮影用被ばく線量計の特性評価

自作胸部撮影用被ばく線量計の特性については、以下の使用機器および材料を使用した。

- X線高電圧装置：HITACHI DHF-153H4R (Radnext) (総ろ過 2.5mmAl)
- デジタル撮影装置：FUJI FILM DR-ID1200 (CALNEO Smart)

自作労衛研線量計³⁾を基準線量計としてその線量比を求めた。

1-2-1. 線質特性

自作胸部撮影用被ばく線量計の線質特性については、80kV・100kV・120kV・130kVの管電圧で照射野は撮影天板上で43cm \times 43cmとし、胸部撮影用被ばく線量計の電離箱は可動絞り前面に取り付け、自作労衛研線量計³⁾は胸部撮影天板から20cm離れた179cmで同時測定を行った。

1-2-2. 線量率特性

自作胸部撮影用被ばく線量計の線量率特性については、線質特性の測定と同じ配置で120kVの管電圧で測

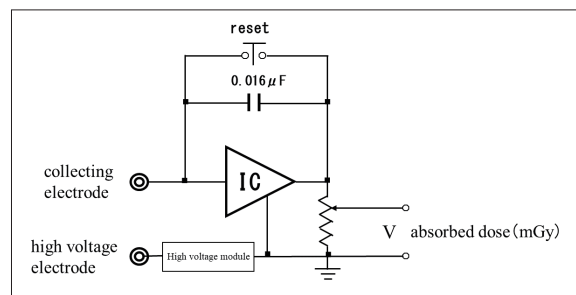


Fig.3 Principle of measuring circuit of an amplifier



Fig.4 Appearance of an amplifier

定した。線量率は皮膚入射面位置での線量率である。

1-3. 自作胸部撮影用被ばく線量計の臨床応用

1-3-1. 健診における胸部撮影用被ばく線量計による線量測定

配置模式図を Fig.5 に示す。可動絞リ前面の電離箱で撮影天板から胸厚 20cm 位置での入射表面線量を測

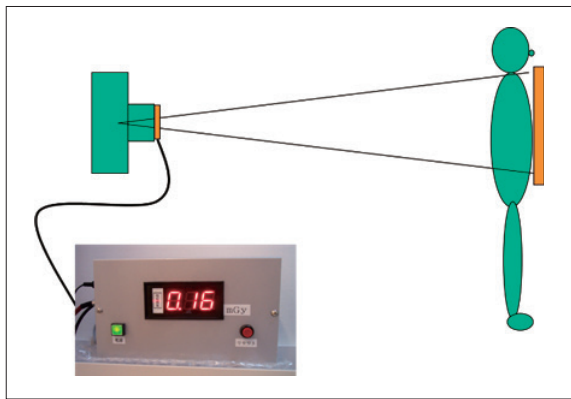


Fig.5 Schematic layout

定し、吸収線量 (mGy) 単位で表示した。

日常の健診業務でこの胸部撮影用被ばく線量計を使用し、吸収線量値を現在は手書きで記録している。

1-3-2. 健診における被ばく線量の分析

健診における被ばく線量頻度を Fig.6 に示す。男性女性合計と女性の最頻値は 0.18mGy である。男性の最頻値は 0.22mGy で、22% 程度高い値となった。男性女性合計の中央値は 0.23mGy、平均値は 0.25mGy である。

男性女性合計のデータについて、入射表面位置での吸収線量と身長・体重・腹囲・BMI との関係求めた。

吸収線量と身長との相関係数は 0.3671、体重との相関係数は 0.8349、腹囲との相関係数は 0.7882、BMI との相関係数は 0.8386 となった。身長に対しては弱い相関であるが、BMI・体重・腹囲は強い相関がある。特に BMI・体重に関しては、相関係数が 1.0 に近く強い相関があることが分かる。

しかし、BMI は体重 kg ÷ (身長 m)² より算出するため、体重の方が利用しやすく、体重を使用して他の胸

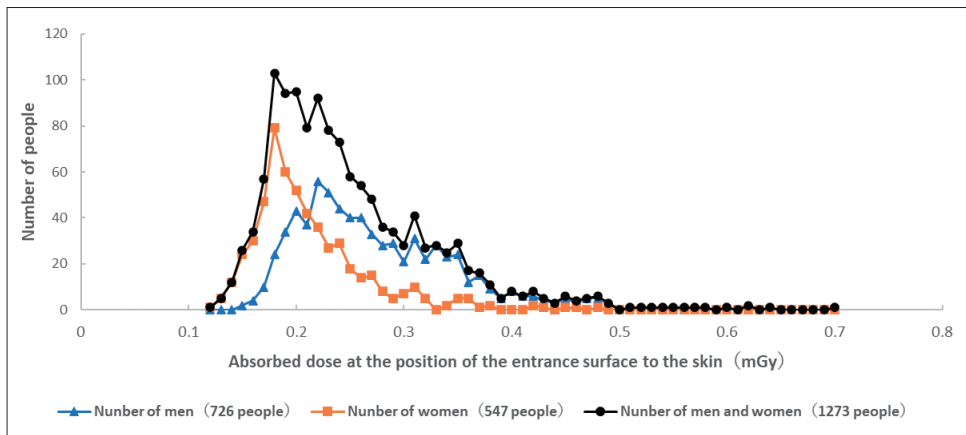


Fig.6 Frequency of absorbed dose

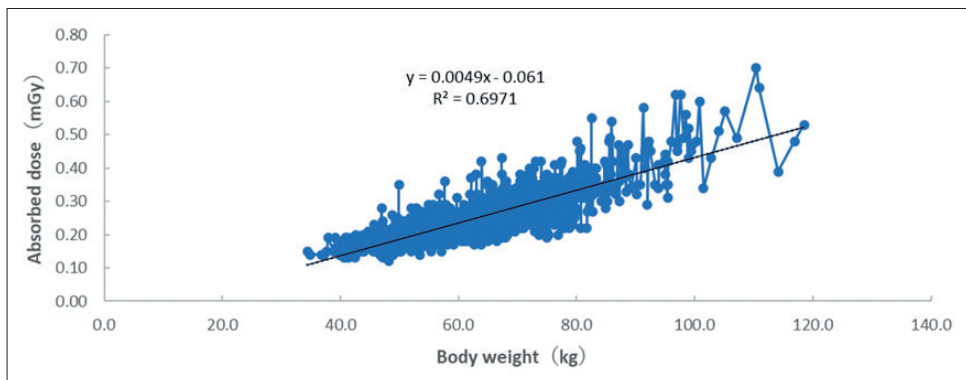


Fig.7 Relationship between body weight and absorbed dose at the time of chest radiography

部撮影室の被ばく線量管理を行うようにした。Fig.7に体重との相関関係を示す。

1-4. 他胸部撮影室での線量管理

自作胸部撮影用被ばく線量計で線量測定した、男性女性合計1,273人分の吸収線量を統計的にデータ処理を行い、箱ひげ図⁴⁾を作成した。箱ひげ図をFig.8に示す。

箱の下方が25パーセントタイル値で0.19mGyとなる。上方が75パーセントタイル値で0.29mGyとなった。中央値が0.23mGyで平均値が0.25mGyである。下方の「ひげ」が0.12mGyで、上方の「ひげ」が0.43mGyである。

そこで前述したFig.6の被ばく線量頻度からFig.8の外れ値 (Outliers) を除外した数値を使用して、再度被ばく線量頻度をFig.9に示す。

Fig.9では中央値0.23mGy、平均値が0.24mGyとなった。

中央値と平均値の違いはわずかであり、正規分布と仮定して線量管理を行った。

他の全ての胸部撮影室での被ばく線量管理を行うに

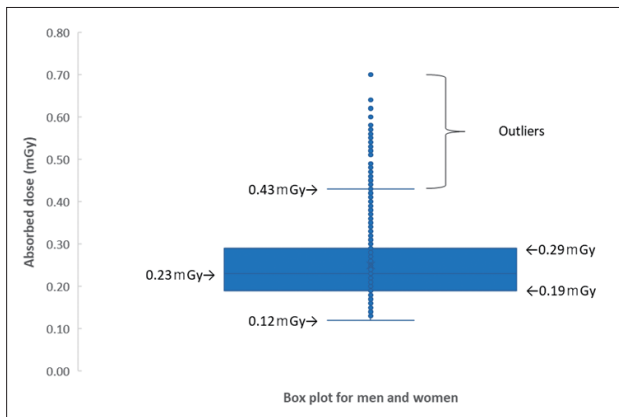


Fig.8 Box plot for men and women

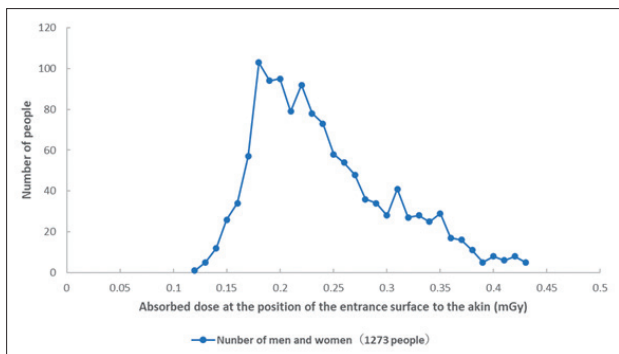


Fig.9 Frequency of absorbed dose

当たり、肺野ファントムPBU-SS-2型 (京都科学) をフォトタイマーを使用した臨床条件で撮影し、その撮影条件での照射線量 ($\mu\text{C/kg}$) を自作労衛研線量計³⁾で測定し、後方散乱係数と吸収線量変換係数を掛けて、入射表面位置での吸収線量 (mGy) を25室の胸部撮影室 (車載型: 22室, 施設型: 3室) (CR: 2室, FPD: 23室) について求めた。吸収線量は0.13~0.23mGyの範囲であった。

2. 結 果

2-1. 自作胸部撮影用被ばく線量計の概要

中央部の電極はアルミ箔を貼り付けているため光照射野を遮るが、その回りはポリエステルフィルムで製作しているので、位置合わせには差し障りなく撮影を実施できた。

2-2. 自作胸部撮影用被ばく線量計の特性評価

2-2-1. 線質特性結果

80kV~130kVでの測定結果をFig.10に示す。線質依存性は+8%~-5%の範囲にある。胸部撮影に限ってはほぼ120kVで撮影しているために、誤差はないといえる。

2-2-2. 線量率特性結果

144~300 ($\mu\text{C/kg}$) /secの線量率における測定結果をFig.11に示す。-3%以内の線量率依存性である。胸部撮影においては線質依存性・線量率依存性も少なく線量管理ができた。

2-3. 自作胸部撮影用被ばく線量計の臨床応用

自作胸部撮影用被ばく線量計でデータを取った男性女性合計の1,273人の吸収線量と体重の相関係数は強

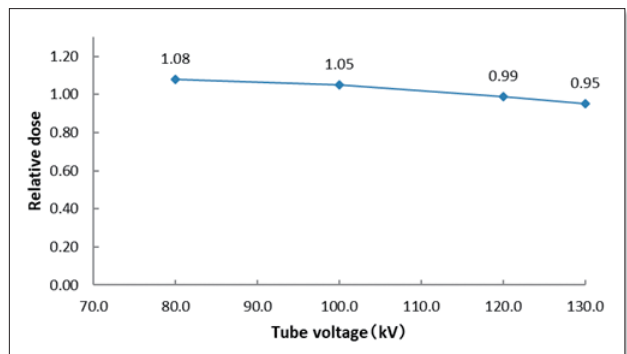


Fig.10 Beam quality dependence of an ionization chamber

い相関があることから、体重を使用して他の胸部撮影室の被ばく線量管理を行うようにした。

2-4. 他胸部撮影室での線量管理

Fig.7の体重と吸収線量の回帰式 ($y=0.0049x-0.061$) を用いて、他の胸部撮影室での被ばく線量管理を行った。

正規分布では、平均値を μ 、標準偏差を σ と表すと、 $\mu \pm \sigma$ の範囲に68.27%の値が含まれるので、回帰式で計算した吸収線量を真中に1本と σ の範囲 ($\pm 34\%$) を2本の線で表記した。他胸部撮影室 (吸収線量: 0.15mGy, 車載型: FPD) での被ばく線量表記例を Fig.12 に示す。

他胸部撮影室 (吸収線量: 0.15mGy, 車載型: FPD) の掲示物例を Fig.13 に示す。掲示物を操作室横に取り付けることで、体重から被ばく線量を推定できるよう

にした。

ここでは0.15mGyの被ばく線量表記例・掲示物例を示したが、0.13~0.23mGyの吸収線量の全25室の胸部撮影室についても同様な線量表記を行い、掲示物を取り付けた。

またDRLs2020の検診胸部正面の入射表面線量0.2mGyを超える装置が当初は3室 (0.23mGy・0.27mGy・0.21mGy) あった。肺野ファントムを撮影条件を下げて撮影し、その画像を医師1人、診療放射線技師6人で画像評価を行い、2室 (0.27mGy→0.23mGy, 0.21mGy→0.19mGy) は線量低減ができた。

DRLs2020の検診胸部正面の0.2mGyを超える装置が2室 (0.23mGy: 2室) となったが、いずれも車載型で設置から16年が経過した装置であり、デジタル撮影装置はCR装置であった。

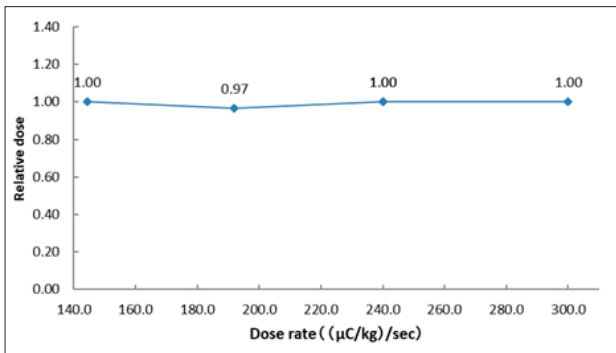


Fig.11 Dose rate dependence of an ionization chamber

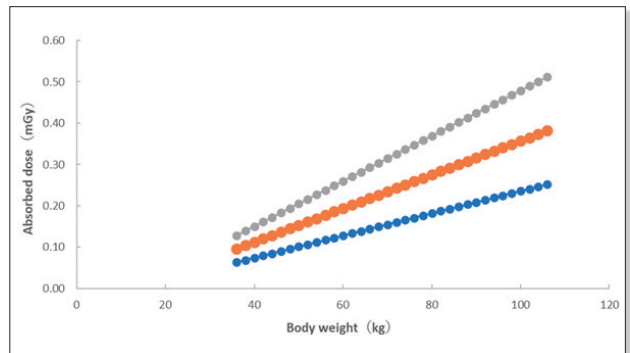


Fig.12 Relationship between body weight and absorbed dose

07

胸部撮影時の線量 (217号車)
標準体型の方

- ・胸部デジタルX線撮影: 0.15mGy (0.032mSv)
- 大型体型の方: 1.3倍~1.6倍、小型体型の方: 0.8倍

診断参考レベル 2020 0.2mGy

診断参考レベル(Diagnostic Reference Level : DRL)

Fig.13 Postings for radiation dose control

3. 考察

健診における胸部X線撮影は短時間に多くの受診者の撮影を実施することが必要であり、個々の被ばく線量について考慮する時間的余裕がないことも多い。できれば全ての胸部X線撮影装置に被ばく線量計を取り付けたいところであるが、経費的にも時間的にも難しいのが現状である。コンピューターによる計算ソフトについても比較したが、10~20%程度低く算出されることも経験している。

そこで受診者の吸収線量と強い相関を持つ体重から入射表面位置での吸収線量を簡易的に推定する方法を検討した。胸部撮影においてBMIと入射表面線量は強い相関があることが報告されている⁵⁾。また胃X線撮影検査でのBMIと入射表面線量には強い相関があることも報告されている⁶⁾。

われわれもBMIと強く相関し同様の結果であったが、体重とも同程度の強い相関があることから、使用しやすい体重を使用して管理することにした。

4. 結語

多くの受診者の検査を行う健診における胸部X線撮影において、被ばく線量管理を行うために、自作胸部撮影用被ばく線量計を製作した。その特性も十分な精度を維持できていることを確認し、臨床現場で受診者の胸部撮影時の被ばく線量を測定した。その測定結果を分析し、統計処理することにより、他の胸部撮影室でも、受診者の体重から被ばく線量を推定することができる掲示物を各撮影室に掲示した。これにより、受診者推定線量を確認し、受診者から放射線被ばくに関する質問などがあった場合には、その推定線量や別に準備している医療被ばくQ&A（放射線被ばくと生体に関する影響など）について適切に回答できる体制を構築できたと考える。

謝辞など

本研究を行うに当たり、自作労働研線量計の校正について、ご指導いただきました九州大学大学院医学研究院保健学部門 医用量子線科学分野の藤淵俊王先生、ならびに肺野ファントムを借用させていただきました九州大学病院医療技術部放射線部門の皆さまに感謝致します。

また本研究では、受診者の被ばく線量・身長・体重・腹囲・BMIを参照しているため倫理審査委員会での審査が必要と思うが、当施設には倫理審査委員会が設置されていない。そこで日本診療放射線技師会の「医の倫理審査委員会」に相談し、当施設の管理者（所長）と十分な意見交換を行い、当施設のホームページで「個人情報保護方針」として学会発表等のサンプルデータなどを使用する場合は匿名データとして発表し、さらには受診票で受診者の同意が得られていることから、この研究を行った。

本論文の要旨は第6回福岡県診療放射線技師会学術大会、ならびに第36回日本診療放射線技師学術大会において発表した。

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。

図の説明

- Fig.1 電離箱の断面構造
- Fig.2 電離箱の外観図
- Fig.3 増幅器の測定回路図
- Fig.4 増幅器の外観図
- Fig.5 配置模式図
- Fig.6 吸収線量の頻度
- Fig.7 胸部撮影における体重と吸収線量の関係
- Fig.8 箱ひげ図
- Fig.9 吸収線量の頻度
- Fig.10 線質依存性
- Fig.11 線量率依存性
- Fig.12 体重と吸収線量との関係
- Fig.13 被ばく管理のための掲示物

参考文献

- 1) 新開英秀：X線検査時における被検者の被曝管理。日放技学誌，57(4)，377-387，2001。
- 2) 新開英秀，他：患者被曝線量計として開発した小型電極電離箱の特性評価。日放技学誌，52(5)，639-644，1996。
- 3) 新開英秀，他：検診における線量測定について—(1)自作電離箱線量計（労働研線量計）の特性評価。九州放射線医療技術学術大会予稿集，109，2012。
- 4) 羽山 博：データ分析に必要な統計の教科書。1-252，(株)インプレス，2018。
- 5) 浅田恭生，他：一般撮影におけるBMIと入射表面線量解析。日本放射線技術学会総会学術大会予稿集，2005。
- 6) 太田洋一，他：生活習慣病健診の胃X線検査における線量評価の基礎的検討。日消がん検診誌，58(2)，83-92，2020。