

令和元年6月24日現在

機関番号：81404

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K09029

研究課題名(和文) 心臓領域におけるCTおよびIVR時の心臓臓器線量と乳房線量の評価・管理法の開発

研究課題名(英文) Development of evaluation and management of cardiac organ dose and breast dose in cardiac computed tomography and interventional radiology.

研究代表者

加藤 守 (Kato, Mamoru)

秋田県立脳血管研究センター(研究部門)・放射線医学研究部・特任研究員(内部)

研究者番号：10595573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：放射線防護に関する国際学術組織である国際放射線防護委員会は2007年の勧告にて、乳房と心臓の組織加重係数を引き上げ、人体に対するリスク評価を高く修正した。更に、2013年に、高線量となる心臓CTとIVRは放射線傷害を発生させ、がんリスクを増加させる可能性があるとして勧告した。本研究にて、心臓CT及びIVR時の乳房入射線量をガラス線量計を用いて実測した結果、CTは100mGy、IVRは20mGyとCTで高被ばくとなった。胸部ファントムを用いた平均的な心臓吸収線量はCT50mGy、IVR145mGyであった。IVRは心臓の傷害を発生させるしきい値500mGyを超える手技も想定され注意が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低侵襲な冠動脈CTの発達により、手軽に冠動脈評価が行えるようになった。しかし、冠動脈CTにより病変が見つかった場合には、より高被ばくとなる冠動脈インターベンションが適応となる。国際放射線防護委員会では、乳房の放射線による発がんリスクを高く見直し、心臓においては高被ばくとなる冠動脈CTや冠動脈インターベンションによる確定的影響の可能性を示唆した。本研究の結果から、冠動脈CTでは乳房への高被ばく、冠動脈インターベンションでは高被ばくによる心臓の組織反応の可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Recently, medical exposure has attracted international attention. In 2007, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) published a new set of radiation weighting factors in order to assess the carcinogenic risk effectively. According to the publication, the radiation weighting factors for breast and heart were increased and corrected the risk assessment of stochastic effect. Furthermore, in ICRP Publication 118 (2013), it was reported that cardiac CT and IVR require high doses, which may cause radiation injury and increase the risk of cancer.

In this study, we measured the breast incident dose of cardiac CT and IVR using many arrayed glass dosimeters in clinical. The results of breast incident dose of cardiac CT were 100mGy, and cardiac IVRs were 20mGy. On the other hand, the average absorbed heart organ dose using a chest phantom was 50mGy for Cardiac CT and 150mGy for cardiac IVR.

研究分野：放射線防護・計測学

キーワード：組織吸収線量 乳房線量 心臓吸収線量 冠動脈CT PCI ガラス線量計 組織反応 確率的影響

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

厚生労働省が報告した平成 27 年度の死因順位は、心疾患による死亡は悪性新生物に次いで第 2 位となっている。心疾患の大部分を占める虚血性心疾患の治療は、侵襲性が低く狭心症状を即座に改善でき、心筋の壊死を最小限に食い止める冠動脈インターベンション (PCI) が広く施行されている。しかし、PCI は X 線透視を用いた画像下治療 (IVR) 手技のため、患者の放射線高被ばくが問題となっている。また、頻拍性不整脈を根治する治療で、透視下にカテーテルを心内に挿入し、頻拍の原因となる部位を焼灼する経皮的カテーテル心筋焼灼術 (RFCA) が増加している。焼灼部位の決定には透視下にてカテーテルの微妙な操作が必要となるが、頻拍の回路が複雑な症例が稀ならずあり、透視による患者被ばく線量増加が問題となっている。RFCA は放射線感受性が高い未成年者も適応となるため、将来的なリスクも考慮する必要がある。更に、PCI と RFCA に関連して心臓 CT が施行されることが多く、患者被ばく線量は相加的に影響を及ぼすことが危惧される。

近年、国際的に医療放射線による被ばくが関心を集めている。特に心臓領域の CT や IVR は患者の被ばく線量が多くインフォームドコンセントが重要とされている。放射線防護に関する勧告を行う国際学術組織である国際放射線防護委員会 (ICRP) は 2007 年の勧告にて乳房と心臓の組織加重係数を引き上げ、人体への影響に対するリスク評価を高く見直した。更に、2013 年の ICRP Publication 120 では、心臓 CT や心臓 IVR (PCI、RFCA) 手技は高線量となり、放射線傷害を発生させ、がんリスクを増加させる可能性があるとして勧告した。医療放射線の線量最適化と被ばく低減は今後も重要な安全管理項目の一つと考える。

2. 研究の目的

虚血性心疾患で行われる冠動脈造影検査 (CAG) や心臓 CT、PCI は患者の放射線高被ばくが問題となっている。ICRP Publication 120 の勧告では、高線量となる心臓 CT や PCI、RFCA 手技は増加傾向にあり、患者管理を十分行う事としている。また臓器吸収線量管理も重要で、特に心臓 CT や IVR では心臓臓器線量と乳房臓器線量の評価が重要であるが、現在、正確な測定及び評価は行われていない。本研究では、乳房入射線量と心臓入射線量を蛍光ガラス線量計およびモンテカルロシミュレーションを用いた線量推定ソフトを用いて評価した。

3. 研究の方法

(1) CAG および PCI における線量の最適化に向け、5 施設 232 症例において蛍光ガラス線量計を用いて、装置表示の積算空気カーマ (AK) と背部の最大入射皮膚線量 (MSD) および最大乳房入射線量 (MMD) を実測した。得られた結果から、最小値 (Min)、最大値 (Max)、平均値 (Mean)、標準偏差 (SD)、中央値 (Median)、75 パーセンタイル値を算出した。更に、AK と MSD および MMD の関係を解析した。

(2) 心臓 CT における乳房入射線量を測定するために、専用の測定用装具を開発し蛍光ガラス線量計を用いて測定を行った。使用装置はシーメンス社製 64-slice DSCT SOMATOM Definition を用いた。X 線照射は以下の通常の冠動脈 CT プロトコルを用いた。

- ・ Topogram
- ・ Chest plain CT
- ・ Coronary calcium score
- ・ Test injection of the contrast medium
- ・ ECG-gated Coronary CT
(Tube voltage 120 kV, tube current 340 mAs/rot, collimation 64 × 0.6 mm, rotation time 330 ms)

(3) 心臓の臓器吸収線量を評価するために、モンテカルロシミュレーションを用いた線量推定ソフトである PCXMC (STUK, Finland) を用いて、心臓 CT、CAG、PCI 各 100 症例の臨床条件を基に心臓臓器吸収線量を算出した。更に、蛍光ガラス線量計をファントム内部の心臓周囲に貼付し、心臓 CT と CAG の平均的な X 線条件を用いてそれぞれ照射を行った。PCI に関しては、100 例を 3 枝毎 (右冠動脈: RCA、左前下行枝: LAD、左回旋枝: LCX) に分類し、それぞれのワーキングアングルにて、透視と撮影条件の平均値で照射した。

4. 研究成果

(1) 表 1 に 5 施設における CAG および PCI の装置表示線量情報と蛍光ガラス線量計で測定した MSD と MMD を示す。MMD は CAG で 5.3 ± 2.5 mGy、PCI にて 17.3 ± 14.2 mGy といずれも X 線の射出側となるため低値であった。PCI の場合、乳房表面での最大線量 y (mGy) は、装置表示の積算空気カーマ x (Gy) と $y = 8.1x + 3.6$ ($p < 0.01$ 、 $R^2 = 0.76$) の関係が得られた。一方、最大入射皮膚線量は CAG で 0.3 ± 0.1 mGy、PCI にて 1.4 ± 1.1 mGy と高く、最大で 6.5 Gy の被ばくがあった。AK と MSD の関係を Fig.1 と Fig.2 に示す。AK と MSD は非常によく相関し、MSD は回帰式から CAG は AK の 0.66 倍、PCI では 1.1 倍と係数を乗じることで推定可能と思われる。今回の結果から線量適正化を考慮する診断参考レベルの Local 基礎データと考えると、AK の 75 パーセンタイル値を用いて、CAG は 0.5 Gy、PCI は 1.5 Gy が指標と考えられた。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

表1 多施設における線量収集結果

	Height (cm)	Weight (kg)	Age (years)	FT (min)	AK (Gy)	MSD (Gy)	MMD (mGy)
CAG (n=57)							
Mean	162	64.6	70.6	8.6	0.4	0.3	5.3
SD	8.1	11.5	7.6	6.2	0.2	0.1	2.5
Min	142.0	40.6	58	2.2	0.1	0.1	1.4
Max	177.0	87.4	84	34.5	1.1	0.6	11.6
Median	163.0	64.5	72	6.8	0.3	0.2	4.9
75th percentile	167.7	70.6	77	10.5	0.5	0.4	6.3
PCI (n=175)							
Mean	160.8	63.3	68.7	29.3	1.3	1.4	17.3
SD	8.3	11.4	11.3	24.1	0.9	1.1	14.2
Min	140.0	36.6	44	2.0	0.1	0.1	3.6
Max	179.8	87.8	88	148.0	5.2	6.5	82.3
Median	162.0	62.0	70	21.4	1.0	1.0	12.8
75th percentile	167.0	72.3	77	36.3	1.5	1.7	22.1

FT: 透視時間 AK: 空気カーマ MSD: 最大入射皮膚線量 MMD: 最大乳房入射線量

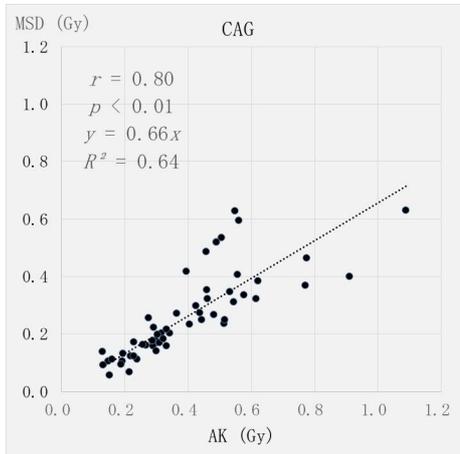


Fig.1 CAGにおけるAKとMSDの相関

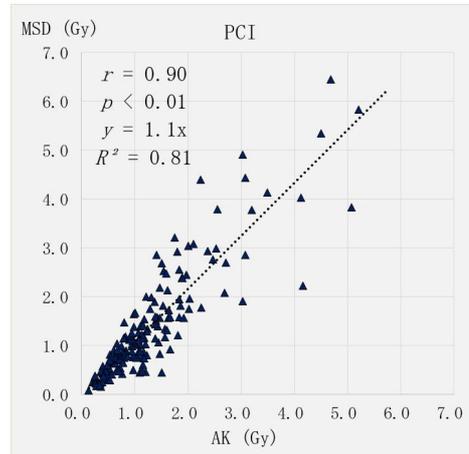


Fig.2 PCIにおけるAKとMSDの相関

(2)心臓CT時の体表面入射線量を測定するために開発した装具をFig.3、4に示す。



Fig.3 CT用装具

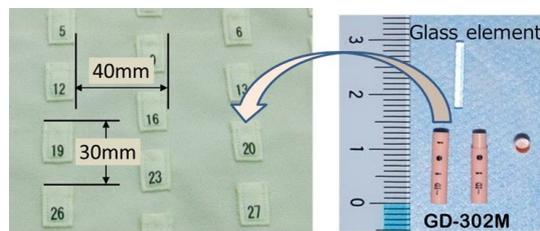


Fig.4 CT用装具ポケット



Fig.5 CT用装具を装着時

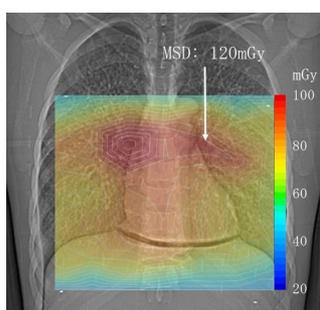


Fig.6 冠動脈CT線量分布

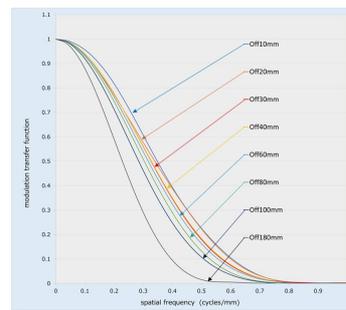


Fig.7 CT中心から離れたときのMTF

胸部ファントムに CT 用装具を装着し (Fig.5) X 線照射した結果を Fig.6 に示す。テストインジェクション法を用いて造影剤の到達時間を解析してから、本造影を始めている。Fig.6 にて、テストインジェクションの位置と思われる部位に一致して高線量部位が認められた。その値は最大値で 120 mGy と、他の検査と比べて著しく高線量であった。心臓 CT は細いビーム幅で細かく撮影するため患者の被ばく線量が多く、更に心臓を CT ガントリ中心にして撮影するため、ボウタイフィルタなどの影響で理論的に胸部前面 (乳房表面) が最大線量となる。本来であれば心臓を CT ガントリの中心に設定するが、乳房入射線量を低減するために、体幹部が CT ガントリの中心となる様に 20 mm 下げること、約 20% の線量低減が可能となった。心臓が CT ガントリの中心から離れることによる画質の影響を Modulation Transfer Function (MTF) を用いて評価したところ、中心から 20 mm までは 10% MTF に変化はなかった (Fig.7)

(3) PCXMC を用いた心臓 CT 時の心臓臓器吸収線量は、100 症例の平均で 32.7 ± 14.1 mGy であった。ファントム心臓周囲に設置したガラス線量計に平均的な X 線 CT 条件で照射した時の値は 50.4 mGy であった。心臓 CT の PCXMC を用いた心臓臓器吸収線量は 35% 程度低値を示したが、PCXMC は後方散乱を加味していない影響と思われた。CAG100 症例における PCXMC を用いた心臓臓器吸収線量は 20.2 ± 8.16 mGy であった。ガラス線量計の最大値は 23.3 mGy であった。PCI100 症例の AK は平均 1.0 ± 0.5 Gy、最小値 0.2 Gy、最大値 3.5 Gy、75 パーセントイル値 1.2 Gy であった。PCXMC を用いた心臓臓器吸収線量は、平均 61.3 ± 33.0 mGy、最小値 17.9 mGy、最大値 221.1 mGy、75 パーセントイル値 76.4 mGy であった。装置表示の AK と PCXMC を用いた心臓臓器吸収線量は良い相関を示し、回帰直線から心臓臓器吸収線量 (mGy) は AK (mGy) の 6% 程度と推定可能と考えた (Fig.8)。しかし、この値は後方散乱係数を加味していない値であり、臨床時は後方散乱係数 (1.4) を乗ずる必要があると考える。PCI 時のワーキングアングルは、RCA (26 症例) は LAO 45°、LAD (51 症例) は RAO 30° Cranial 30°、LCx (23 症例) は A-P Caudal 30° で、それぞれのワーキングアングルにて平均的な X 線条件でファントム心臓周囲に設置したガラス線量計に照射した時の線量は、RCA は 80.9 mGy、LAD は 82.6 mGy、LCx が 76.0 mGy であった。この時の PCXMC による心臓臓器吸収線量は、RCA は 62.5 mGy、LAD は 40.8 mGy、LCx は 45.6 mGy と蛍光ガラス線量計の値に比べ後方散乱を加味しても過小評価となった。

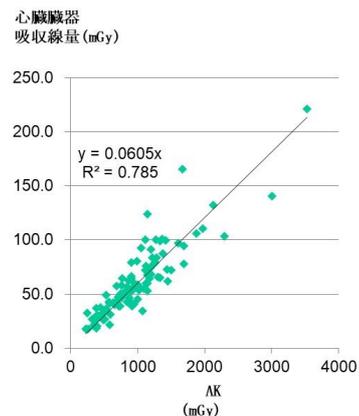


Fig. 8 AK と PCXMC による心臓臓器吸収線量の関係

臨床時の心臓臓器吸収線量は実測が不可能である。今回のファントム評価では心臓 CT、CAG、PCI 単回ではしきい値とされる 500 mGy を超える事はないと思われるが、繰り返し PCI が行われる場合などはしきい値を超える事も想定されるため、十分に注意する必要があると考えた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

加藤 守、坂本 肇、塚本 篤子、川内 覚、松本 一真、盛武 敬、インターベンションにおける診断参考レベルの確定に向けて、日本放射線技術学会雑誌、査読なし、72(12)、1255-1267、2016. https://doi.org/10.6009/jjrt.2016_JSRT_72.12.1255

Mamoru Kato, Koichi Chida, Takashi Moritake, 他 5 名、Direct dose measurement on patient during percutaneous coronary intervention procedures using radiophotoluminescence glass dosimeters. Radiation Protection Dosimetry. 査読あり、175(1)、31-37、2017. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw263>

加藤 守、知って得する面積線量計の秘密!?, RadFan、査読なし、175(1)、31-37、2017. Mamoru Kato, Koichi Chida, Masaaki Nakamura, Hideto Toyoshima, Ken Terata, Yoshihisa Abe, New real-time patient radiation dosimeter for use in radiofrequency catheter ablation, Journal of Radiation Research, Volume 60(2)、215-220、2019. <https://doi.org/10.1093/jrr/rry110>

Kato Mamoru, Chida Koichi, Ishida Takato, 他 5 名、Occupational Radiation Exposure of the Eye in Neurovascular Interventional Physician, Radiation Protection Dosimetry, Published: 09 January 2019, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy285>

[学会発表] (計 20 件)

加藤 守、IVR 領域の DRLs の策定経緯について、第 72 回日本放射線技術学会総会学術大会、2016

Mamoru Kato, Fundamental Study on Patient Radiation Dose Measurement in Catheter Ablation Using the Real Time Dosimeter, JRC2016、2016

加藤 守、線量測定フィルムを用いた PCI 時の患者被ばく線量過大評価に関する検討、第 44 回日本放射線技術学会秋季学術大会、2016

加藤 守、診断参考レベルを究める「血管撮影」、第6回東北放射線医療技術学会、2016
加藤 守、蛍光ガラス線量計を用いた患者入射線量測定システムの開発、第6回東北放射線医療技術学会、2016
Mamoru Kato、What parameters are optimal for establishment of diagnostic reference levels in interventional radiology procedures?、European Congress of Radiology 2017 (ECR2017)、2017
加藤 守、血管撮影装置における低格子比グリットを用いた透視線量率低減の基礎検討、第46回日本IVR学会総会、2017
加藤 守、冠動脈CTにおけるCT寝台の高さが乳房の表面線量に与える影響、第42回日本心血管インターベンション治療学会東北地方会、2017
加藤 守、IVR領域における診断参考レベルの世界的動向について、第7回東北放射線医療技術学会、2017
加藤 守、Cardiac - IVRに携わる術者の水晶体被ばく線量の推定方法、第7回東北放射線医療技術学会、2017
加藤 守、コーンビームCTにおける低格子比グリットを用いた被ばく線量低減、第33回日本脳神経血管内治療学会学術総会、2017
加藤 守、冠動脈インターベンションにおけるリアルタイム線量管理の検討、第31回日本冠疾患学会学術集会、2017
Mamoru Kato、Study on the Measurement of the Entrance Surface Dose and Reducing the Mammary Entrance Surface Dose for Coronary Computed Tomography Angiography、European Congress of Radiology 2018 (ECR2018)、2018
加藤 守、心臓インターベンションにおける患者皮膚障害回避のための患者線量モニタリングと工夫、第82回日本循環器学会学術集会、2018
Mamoru Kato、Study on New Real-time Patient Radiation Dosimeter for Use in Cardiac Interventional Radiology、第74回日本放射線技術学会総会学術大会、2018
Mamoru Kato、Multicenter Study on Evaluation of the Entrance Skin Dose in Percutaneous Coronary Intervention Procedures、2018 Korean Society of Cardio-Vascular Interventional Technology、2018
加藤 守、冠動脈CTおよび心臓カテーテル手技における心臓臓器線量評価、第46回日本放射線技術学会秋季学術大会、2018
坂元 健太郎、加藤 守、冠動脈CTと心臓カテーテル検査における患者被ばく線量の比較評価、第46回日本放射線技術学会秋季学術大会、2018
Mamoru Kato、Fundamental study on real-time dose management in percutaneous coronary intervention、2018 Radiological Society of North America (RSNA)、2018
Mamoru Kato、Occupational Radiation Exposure of the Eye in Neurovascular Interventional Physician、2018 Radiological Society of North America (RSNA)、2018

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：千田 浩一

ローマ字氏名：(CHIDA, koichi)

所属研究機関名：東北大学

部局名：災害科学国際研究所

職名：教授

研究者番号(8桁)：20323123

研究分担者氏名：盛武 敬

ローマ字氏名：(MORITAKE, takashi)

所属研究機関名：産業医科大学

部局名：産業生態科学研究所

職名：准教授

研究者番号(8桁)：50450432

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：木下 俊文

ローマ字氏名：(KINOSHITA, toshibumi)

研究協力者氏名：阿部 芳久

ローマ字氏名：(ABE, yoshihisa)

研究協力者氏名：坂本 肇

ローマ字氏名：(SAKAMOTO, hajime)

研究協力者氏名：塚本 篤子

ローマ字氏名：(TSUKAMOTO, atsuko)

研究協力者氏名：松本 一真

ローマ字氏名：(MATSUMOTO, kazuma)

研究協力者氏名：孫 略

ローマ字氏名：(SUN, lue)

研究協力者氏名：芳賀 喜裕

ローマ字氏名：(HAGA, yoshihiro)

研究協力者氏名：坂元 健太郎

ローマ字氏名：(SAKAMOTO, kentarou)

研究協力者氏名：高橋 規之

ローマ字氏名：(TAKAHASHI, noriyuki)

研究協力者氏名：大阪 肇

ローマ字氏名：(OOSAKA, hajime)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。