

令和 3 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K17223

研究課題名（和文）妊婦・胎児専用模型(ファントム)の開発と被曝線量低減

研究課題名（英文）Development of pregnant / fetal model (phantom) and radiation dose reduction

研究代表者

松永 雄太 (Matsunaga, Yuta)

東北大学・医学系研究科・大学院非常勤講師

研究者番号：30803019

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究で開発したファントムは2種類の腹囲サイズで、ファントム内部に線量計を配置できるように設計し、今までにない妊婦腹部ファントムを開発した。さらに、開発したファントムを用いて、骨系統疾患を患う胎児が受ける出生前診断でのCT検査時における被曝線量評価を行い、胎児被曝線量低減策を検討した。胎児被曝線量の低減策に関しては、撮影時の管電圧を高く設定することで低電圧時に比べて被曝線量の低減を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

妊娠子宮の大きさは、週数や体格によっても異なるため、2種類の腹囲サイズのファントムを開発した。開発したファントムは内部に線量計を配置できるようにし、胎児の線量測定が可能になった。胎児被曝線量の低減策に関して、撮影時の管電圧を高く設定することで低電圧時に比べて被曝線量の低減を確認した。低電圧撮影の利点として、低コントラスト分解能向上やヨード造影剤使用時の造影効果の増強が挙げられる。しかし、骨系統疾患の出生前診断では高コントラストである骨の評価を行い、ヨード造影剤を使った検査は一般的に行われない。これらの結果を踏まえて、CTによる骨系統疾患の出生前診断の管電圧は、高電圧に設定することを提案したい。

研究成果の概要（英文）：The phantom developed in this study has two types of abdominal circumference sizes, and is designed so that a dosimeter can be placed in the phantom, and we have developed an unprecedented pregnant woman's abdominal phantom. Furthermore, using the developed phantom, we evaluated the radiation dose on prenatal diagnosis of skeletal dysplasias with CT and examined measures to reduce the fetal radiation dose. Regarding measures to reduce fetal radiation dose, it was confirmed that the radiation dose was reduced compared to when the voltage was low by setting the tube voltage at the time of imaging high.

研究分野：放射線技術学

キーワード：胎児線量 線量低減 コンピュータ断層撮影 被曝

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、CT 検査を用いた骨系統疾患の出生前診断の有用性が多く報告されるようになった。胎児期に発症する骨系統疾患には周産期死亡を来す生命予後不良の疾患から成長につれて病状が進行し継続的に観察が必要な疾患など様々であり、経過と予後を予測するための正確な出生前診断が重要である。一方、妊婦が CT 検査を受ける場合、胎芽・胎児は子供や成人に比べ放射線の影響を受けやすく、被曝時期や被曝線量によって胎芽・胎児死亡(流産)、外表・内臓奇形、発育遅延、精神遅滞、悪性腫瘍、遺伝的影響などが心配され、胎児被曝が問題となる。胎児や妊婦が受ける被曝線量を正確に測定し、被曝低減に努めることは妊婦に安心して検査を受けてもらうために重要なことである。しかし、今まで妊婦の放射線検査が多く行われてこなかったため、胎児や妊婦の被曝線量を測定する専用のファントムは販売されていない。先行研究[1]では骨系統疾患の出生前診断の CT 検査で受ける線量評価をシミュレーションにて報告しているが、実測による報告はなく、胎児の正確な線量評価や最適化に関する研究報告は少ない。

また、Miyazaki ら[2]が行った胎児 CT 検査の撮影条件に関するアンケート結果によると、設定管電圧は低電圧から高電圧まで施設によって様々であった。低電圧撮影は小児などで線量低減に成功しているが、胎児に対しては明らかになっていない。実測やシミュレーションで胎児線量を明らかにする先行研究[1,3]は多くあるが、胎児線量の線量低減法を報告したものはない。

本研究によるファントム開発は放射線影響の大きい胎児の被曝線量を正確に測定することで、臨床現場で放射線被曝に悩む担当医師、妊婦の一助となりえる。

2. 研究の目的

(1) 腹囲サイズは変更可能で、内部に線量計を配置して被曝線量を測定できる妊婦・胎児専用模型(ファントム)を開発すること。

(2) 開発したファントムを用いて胎児が受ける被曝線量を異なる管電圧で測定し、被曝線量低減策を考案すること。

3. 研究の方法

(1) 妊婦・胎児専用ファントム開発について

藤田医科大学の医学研究倫理審査の承認を受けて、過去に撮影した妊婦の CT 画像(在胎週数 8 週から 39 週)から寝台 Z 軸方向における胎児の位置を確認し、妊婦の腹部の形状・胎児の CT 値を計測した。これらの結果より 2 種類の腹囲サイズ(Large と Small)の妊婦の腹部ファントムを企業の技術者とタイアップして、開発設計を行った。開発するファントムは市販のファントム(Alderson Rando phantom; Phantom Laboratory 社)と組み合わせて使用する設計にした。ファントムの材質は CT 値を考慮してポリウレタン樹脂を使用し、ファントム内部に線量計を配置するために穴を Large サイズで最大 11 か所、Small サイズで最大 6 か所設計した。

(2) 被曝線量測定・被曝線量低減策考案について

使用した CT 装置は 320 列 CT 装置(Aquilion ONE; キヤノンメディカルシステムズ株式会社)で、撮影条件を表 1 に示す。撮影条件は先行研究[2]の骨系統疾患出生前診断における CT 検査の撮影条件に関するアンケートで得られた結果を参考にした。管電圧のみ 80 kV、100 kV、120 kV、135 kV の 4 種類の設定でそれぞれ測定を行った。各測定における管電流は画像ノイズレベルが同一になるように SD 設定を行い、管電流変調(VolumeEC; キヤノンメディカルシステムズ株式会社)を使用した。

開発したファントムに光ケーブル式リアルタイム線量計(RD 1000; トーレック株式会社)を配置し、表 1 の撮影条件にて照射し、胎児の被曝線量測定を行い、各管電圧における胎児被曝線量を確認した。各測定はランダムエラーの影響を減らすため、軌道同期ヘリカルスキャンで 3 回ずつ測定を行った。なお、測定にあたり光ケーブル式リアルタイム線量計は各管電圧に対する校正を計量法認定事業者制度(Japan Calibration Service System: JCSS)のトレーサビリティ体系に準拠した特定二次標準器と校正された 6 cm³の指頭型電離箱(10×5-6, Radcal Corporation)電離箱線量計(9015, Radcal Corporation)を用いて行った。

画質評価は軟組織アルゴリズムで Large サイズ・Small サイズの両ファントムの領域に均一な関心領域(ROI)を描画することによって各管電圧における画像ノイズを測定した。各管電圧における被曝線量・画像ノイズの統計解析は、Steel-Dwass の方法を使用して有意水準 5%未満($P < 0.05$)として判定を行った。

表 1 撮影条件

	管電圧 (kV)	名目 スライス 幅(mm)	ピッチ	管電流 (mA)	回転速度 (s)	表示 CTDIvol (mGy)	表示 DLP (mGy cm)
Large サイズ	80 100	80 × 0.5	1.388	管電流 変調	0.5	3.9 3.6	120.0 110.9
						3.4 3.5	104.4 108.8
Small サイズ	120 135	80 × 0.5	1.388	管電流 変調	0.5	3.1 2.3	93.7 71.5
						2.5 2.8	75.9 84.9

Y Matsunaga, T Haba et al. Fetal radiation dose of four tube voltages in abdominal CT examinations during pregnancy: A phantom study. Journal of applied clinical medical physics 22 (2), 178-184 より引用し、一部改変

4. 研究成果

(1) 妊婦・胎児専用ファントム開発について

本研究で新しく開発した Large サイズと Small サイズのファントムを図 1 に示す。このファントムは妊娠腹部を想定しており、測定時には図 2 に示すように市販のファントム(Alderson Rando phantom; Phantom Laboratory 社)と組み合わせて使用する。Large サイズ使用時は Small サイズの上に配置して使用する。また、開発したファントムには内部に線量計を配置できるように Large サイズ使用時には 11 か所、Small サイズ使用時には 6 か所に 5 mm 程度の穴をあけてある。ファントムの形状・CT 値は実際の妊婦の腹部に近い形・値を再現できた。

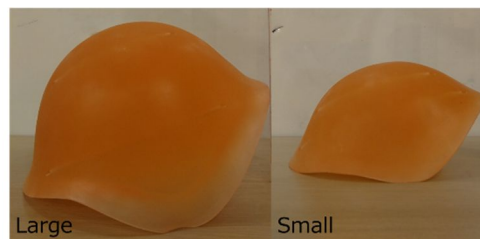


図 1 本研究で新しく開発した Large サイズと Small サイズのファントム

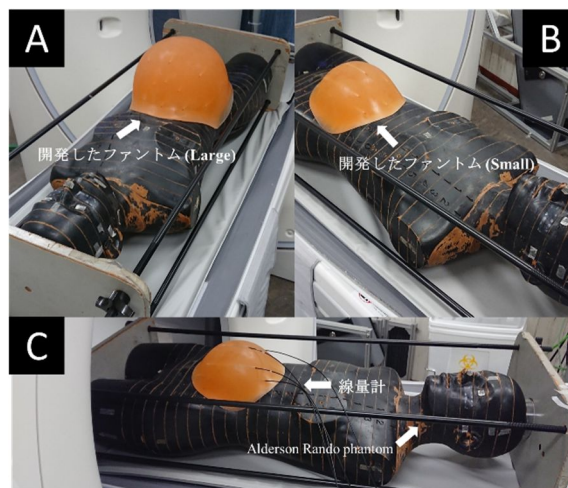


図 2 Alderson Rando phantom と妊婦・胎児専用ファントムを組み合わせた写真 A: Large サイズ B: Small サイズ C: 線量計をファントムに配置した時の様子

(2) 被曝線量測定・被曝線量低減策考案について

管電圧 80 kV、100 kV、120 kV、135 kV 使用時における胎児線量測定結果を表 2 に示す。胎児線量は Large サイズ・Small サイズの両ファントムともに 80 kV 使用時が最も高い結果となった。Large サイズにおける 120 kV、135 kV の胎児線量は 80 kV、100 kV に比べて統計学的に有意に低い結果となった。80 kV 使用時に比べて、120 kV および 135 kV のような高電圧を使用した場合の平均胎児線量は、最大 15% 程度低くなった。一方、Small サイズにおける 100 kV、120 kV、135 kV の胎児線量は 80 kV と比べて統計学的に有意に低い結果となった。80 kV に比べて 100 kV 以上を使用した場合、最大 20% 程度低くなった。高電圧で撮影した胎児線量は低

電圧撮影時に比べて低減していることを確認した。管電圧 80 kV、100 kV、120 kV、135 kV 使用時における中心線量と辺縁線量を表 3 に示す。中心線量に対する辺縁線量の比率は、80 kV の比率が最も高いことを示し (1.18 および 1.08)、そして 135 kV の線量は、Large サイズ・Small サイズの両ファントムともに最も低い結果 (1.12 および 1.01) であった。中心線量に対する辺縁線量の比率は、管電圧が増加するにつれて低くなった。高電圧撮影では低電圧撮影に比べて、X 線の透過性が亢進しており腹部表面近傍の被曝線量が低くなったためであると考えた。先行研究[4]では、胎児の深さ(妊婦腹部の皮膚から胎児までの距離)と腹囲または在胎週数との間に相関関係がないことを示されており、腹囲や在胎週数に関係なく、胎児の位置が母体の皮膚表面に近くなる可能性がある。また、各管電圧の画像ノイズは統計学的に違いを認めなかった。

低電圧撮影の利点として、低コントラスト分解能向上やヨード造影剤使用時の造影効果の増強が挙げられる。しかし、骨系統疾患の出生前診断では高コントラストである骨の評価を行い、ヨード造影剤を使った検査は一般的に行われない。これらの結果を踏まえて、CT による骨系統疾患の出生前診断の管電圧は、高電圧に設定することを提案したい。

表 2 管電圧 80 kV、100 kV、120 kV、135 kV 使用時における胎児線量測定結果

管電圧(kV)	Large サイズ				Small サイズ			
	80	100	120	135	80	100	120	135
平均胎児線量(mGy)	9.25	8.96	7.83	8.02	6.86	5.51	5.47	5.70
標準偏差(mGy)	1.28	1.30	1.21	1.16	0.53	0.42	0.37	0.37
80kV との違い(%)	-	-3.2	-15.4	-13.3	-	-19.6	-20.2	-16.9

Y Matsunaga, T Haba et al. Fetal radiation dose of four tube voltages in abdominal CT examinations during pregnancy: A phantom study. Journal of applied clinical medical physics 22 (2), 178-184 より引用し、一部改変

表 3 管電圧 80 kV、100 kV、120 kV、135 kV 使用時における中心線量と辺縁線量

管電圧(kV)	Large サイズ				Small サイズ			
	80	100	120	135	80	100	120	135
中心線量(mGy)	7.91	7.66	6.88	7.22	6.43	5.34	5.39	5.67
辺縁線量(mGy)	9.32	9.03	7.88	8.06	6.94	5.55	5.49	5.70
辺縁線量/中心線量	1.18	1.18	1.14	1.12	1.08	1.04	1.02	1.01

Y Matsunaga, T Haba et al. Fetal radiation dose of four tube voltages in abdominal CT examinations during pregnancy: A phantom study. Journal of applied clinical medical physics 22 (2), 178-184 より引用し、一部改変

(3) まとめ

本研究で開発したファントムは 2 種類の腹囲サイズで、ファントム内部に線量計を配置できるように設計し、今までにない妊婦腹部ファントムを開発した。さらに、開発したファントムを用いて、骨系統疾患出生前診断における CT 検査で受ける被曝線量を実測で評価し、胎児被曝線量低減策を検討した。胎児被曝線量の低減策に関しては、撮影時の管電圧を高く設定することで低電圧時に比べて被曝線量の低減を確認した。

(4) 参考文献

- [1] Victoria T, Epelman M, Coleman B G, Horii S, Oliver E R, Mahboubi S, Khalek N, Kasperski S, Edgar J C and Jaramillo D 2013 Low-dose fetal CT in the prenatal evaluation of skeletal dysplasias and other severe skeletal abnormalities *Am. J. Roentgenol.* **200** 989-1000
- [2] Miyazaki O, Sawai H, Murotsuki J, Nishimura G and Horiuchi T 2014 Nationwide radiation dose survey of computed tomography for fetal skeletal dysplasias *Pediatr. Radiol.* **44** 971-9
- [3] Matsunaga Y, Kawaguchi A, Kobayashi M, Suzuki S and Suzuki S 2016 Dose evaluation for foetal computed tomography with a 320-row unit in wide-volume mode and an 80-row unit in helical scanning mode: a phantom study *Radiat Prot Dosim.* **168** 523-30
- [4] Angel E, Wellnitz C V, Goodsitt M M, Yaghmai N, DeMarco J J, Cagnon C H, Sayre J W, Cody D D, Stevens D M, Primak A N, McCollough C H and McNitt-Gray M F 2008 Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size. *Radiology* **249** 220-7

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsunaga Yuta, Kondo Yuya, Kobayashi Kenichi, Kobayashi Masanao, Minami Kazuyuki, Suzuki Shoichi, Chida Koichi, Asada Yasuki	4. 巻 188
2. 論文標題 VOLUME CT DOSE INDEX AND DOSE-LENGTH PRODUCT VALUES ACCORDING TO FACILITY SIZE IN JAPAN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 261 ~ 269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/rpd/ncz284	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsunaga Yuta, Haba Tomonobu, Kobayashi Masanao, Suzuki Shoichi, Asada Yasuki, Chida Koichi	4. 巻 22
2. 論文標題 Fetal radiation dose of four tube voltages in abdominal CT examinations during pregnancy: A phantom study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Clinical Medical Physics	6. 最初と最後の頁 178 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.13171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	千田 浩一 (Chida Koichi)		
研究協力者	浅田 恭生 (Asada Yasuki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------