

令和 4 年 5 月 7 日現在

機関番号：33916

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K17152

研究課題名(和文)胎児CT検査にともなう胎児被ばく線量評価方法の確立とソフトウェア開発

研究課題名(英文)SIZE-SPECIFIC DOSE ESTIMATES IN FETAL COMPUTED TOMOGRAPHY

研究代表者

小林 正尚 (Kobayashi, Masanao)

藤田医科大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：80720979

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：胎児CT撮影では妊娠期間や撮影条件の違いにより胎児に吸収される放射線量が異なる。管電圧80-135kVでコンソールに表示されるCT線量指数(CTDI)から胎児の体格別線量推定値(SSDE)を求めるための補正係数を提案する。妊婦と胎児に対応するCTDIをモンテカルロシミュレーションで評価し、これらのCTDIの比を胎児係数とした。胎児の有効径が10cmの場合、胎児ファクターは1.0となった。推定された妊婦SSDEに胎児ファクターを乗じて胎児SSDEを推定し、胎児CT検査の画像をMCシミュレーションして得られた胎児線量と比較した結果31.5%の誤差で胎児線量を推定することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

胎児CT検査の実施には2人の個人を考慮しなければなりません。母体となる妊婦に対しては、本人に直接的な利益なく放射線を受けることとなりますが被ばく線量を評価する方法は確立しています。一方、胎児に対しては、診断目的で放射線を受けることとなりますが、その被ばく線量を評価する方法は確立していません。将来的な放射線障害を危惧する両親の不安を解消するためにも胎児の被ばく線量を評価する方法を新しく確立しました。

研究成果の概要(英文)：During fetal computed tomography (CT) imaging, because of differences in the pregnancy period and scanning conditions, different doses of radiation are absorbed by the fetus. We propose a correction coefficient for determining the fetal size-specific dose estimate (SSDE) from the CT dose index (CTDI) displayed on the console at tube voltages of 80,100,120,135 kVp. The CTDIs corresponding to pregnant women and fetuses were evaluated using a Monte Carlo (MC) simulation, and the ratio of these CTDIs was defined as the Fetus-factor. When the effective diameter of a fetus was approximately 10 cm, the Fetus-factor was 1.0. The estimated pregnant SSDE was multiplied by the Fetus-factor to estimate the fetal SSDE, which was compared with the fetal dose obtained by the MC simulation of the image of the fetal CT examination. The fetal dose could be estimated with an error of 31.5% in fetal examinations conducted using helical CT.

研究分野：radiation protection

キーワード：CT 被ばく 放射線

1. 研究開始当初の背景

出生前に認められる骨系統疾患（骨形成不全症、軟骨無形成症など）の頻度は 10,000 分娩に 2 例程度と報告されている（Spranger J. Springer, 2004）。これらの出生前画像診断検査の選択肢には、胎児超音波検査や腹部・骨盤部単純 X 線撮影検査、および胎児 MRI 検査と胎児 CT 検査がある。放射線による被ばくを与えず非侵襲的に胎児を経時観察できる超音波検査は、出生前画像診断として広く利用されているが、骨の観察に限っては音響陰影の影響を強く受けるため正診率が 50～60%と低い（Rauno R et al. Ultrasound Obstet Gynecol, 2004）。一方、X 線 CT 検査は骨の描出能に優れており、画像を軸位断・冠状断・矢状断面や三次元で観察できるため胎児の骨系統疾患に対する正診率が 94.3%と高い（Rauno R et al., 2004）。その結果、胎児 CT 検査を施行することで、胎児超音波検査では不明確であった症例の 50%の診断名が確定したとの報告や胎児超音波検査で確定した診断名の 50%が変更されたとの報告もある（宮崎治.日獨医報, 2012）。このことから、胎児 CT 検査は胎児被ばくを適切に評価・管理する方法が確立し、その安全性が証明されることで出生前画像診断検査として一般に広く容認される可能性がある。胎児に対する放射線影響は、被ばく時期と胎児線量が関与している（国際放射線防護委員会勧告 84「妊娠と放射線」）。懸念すべき最も低線量で生じる障害は知能指数の低下（しきい値:100mGy）である。中枢神経系に対する放射線感受性は、受胎後 8～15 週が高感受性、16～25 週が低感受性、25 週以降が抵抗性と報告されている。骨系統疾患を疑う多くの場合、検査時期は胎児期（30 週前後）であることから放射線抵抗性の時期である可能性が高い。放射線誘発がんに関しては、約 10mGy の胎児線量で相対リスクが 1.4（自然発生リスクより 40%増加）と報告されている。しかし、自然発生率が約 0.2～0.3%と非常に低いいため問題にならない。胎児 CT 検査は、出生前画像診断検査の第一選択に推奨するものではない。胎児 CT 検査は胎児被ばくに対する主治医や患者の主観的な判断から出生前画像診断検査の選択肢として除外される状況であるため、それが正当な判断かを科学的根拠にもとづき評価する必要がある。

2. 研究の目的

胎児 CT 検査の実施に際しては 2 人の個人を考慮しなければならない。まず、母体となる妊婦に対しては、本人に直接的な利益なく放射線を受けることになる。しかし、被ばく線量評価方法は確立している。一方、胎児に対しては、診断目的で放射線を受けることになるが、現在までにその被ばく線量を評価する方法は確立していない問題がある。そのため、将来的な放射線障害を危惧する両親の不安を解消するためのインフォームド・コンセントにてそれを否定する証拠を示すことができない。成人を対象にした患者の被ばく線量評価方法は、北米医学物理学会から Size-Specific Dose Estimates (SSDE) が提案されている。そこで申請者は、SSDE の概念を応用して胎児の被ばく線量を新たに評価する方法 SSDE_{FETUS} を確立するための研究を行い、それを簡便に評価できるソフトウェアの開発を目指す。

3. 研究の方法

1. 胎児 CT 検査にともなう胎児線量の実態調査:

藤田医科大学病院にて 2010 年～2017 年の間に施行された計 13 症例の胎児 CT 検査(妊娠 32 ± 3 週)に対して、それぞれ検査時の画像と撮影条件をもとにモンテカルロ・シミュレーションを実施した。この過程より、胎児の臓器吸収線量と実効線量を評価できるため胎児線量の

実情を把握できる。

2. 胎児の被ばく形態の検証:

胎児線量とは胎児が均等被ばくしたとの仮定で成り立っている。しかし、この仮定が当てはまるのは妊娠初期だけであり、胎児期まで胎児が成長した場合には不均等被ばくになっている可能性が否定できない。そこで、それぞれの状況を仮定して実効線量を評価し、精度を検証した(図 1)。

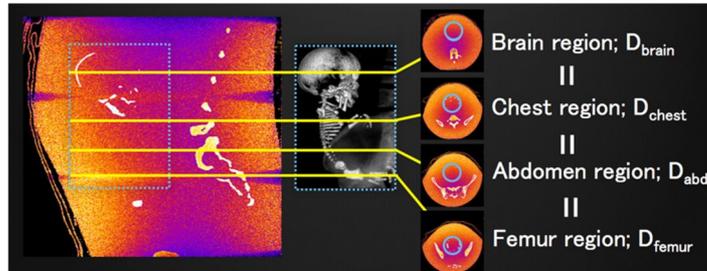


図 1. モンテカルロ・シミュレーション結果と被ばく状況の確認

3. 簡易評価法 SSDE_{FETUS} の構築

CT の X 先出力を示す指標である CTDI は 32cm の円筒形アクリルファントムに対して評価した。そこで得た CTDI の値を患者の体型に相当する任意の直径に補正して被ばく線量を評価するための方法が SSDE である。本研究で新たに提案する方法は、上記過程で得る妊婦の被ばく線量から胎児の被ばく線量を推定するものである。基礎データを得るために以下の項目を遂行した。

デジタルファントム(形状:円筒形, 密度:均一密度 CT 値 100HU(アクリル相当), 直径:20~50cm (1cm 間隔))を作成し, DICOM 情報を付与して DICOM 化した。

デジタルファントムをモンテカルロ・シミュレーションする。そのファントム内には胎児(3~16cm)が存在するとみなし, 互いの線量の関係性を評価する。これより得られる結果は, SSDE に乗じることで胎児の線量を評価することができる。(図 2)

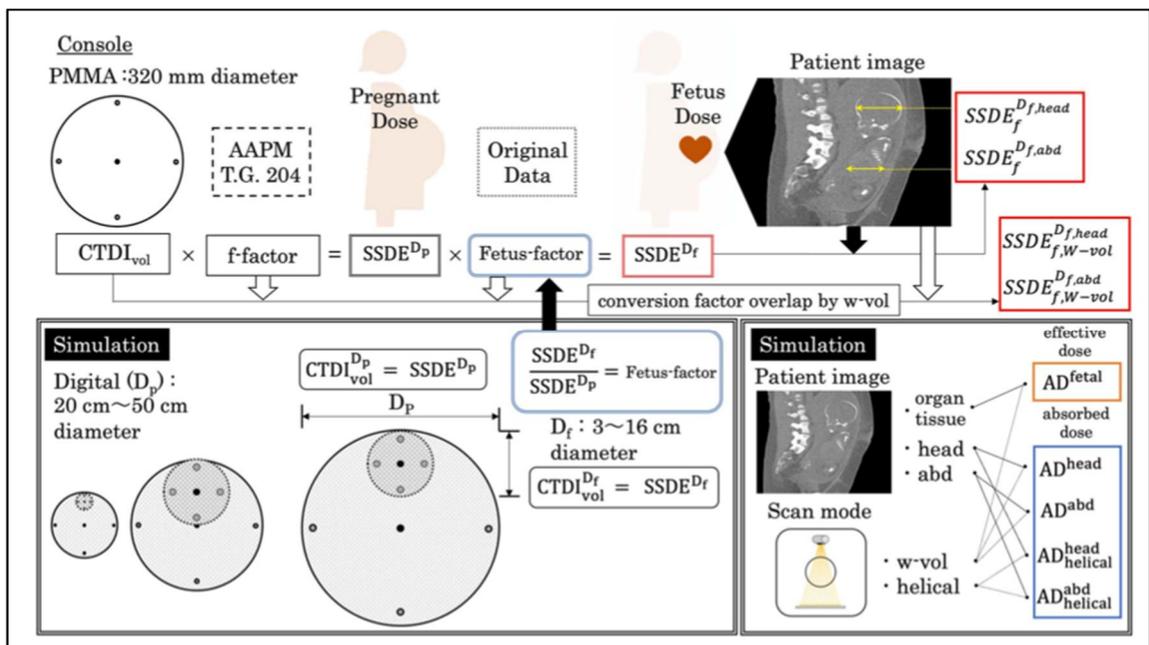


図 2. 新規性と胎児線量の評価方法の概念

4. SSDE_{FETUS} の検証と算出ソフトウェアの開発・提供

胎児 CT 検査の線量を評価してその精度を検証した後、本研究の評価方法を簡便に遂行するためのソフトウェアを開発する。ソフトウェアには、日本語・英語に対応した手順書を作成してインターネットで無料配布できる状況とした。

4. 研究成果

各管電圧(80, 100, 120, 135 keV)における 妊婦-胎児線量補正係数(Fetus-factor)値は評価範囲内の妊婦実効直径(D_p),胎児実効直径(D_f)に依存して 0.7 から 1.3 までとなった(図 3)。特に、D_fを 9cm から 10cm まで変化させた場合、Fetus-factor は 1.0 となり、SSDE_{D_p}と SSDE_{D_f}は等しくなることが確認された。D_fが 11cm 以上になると負の傾きが大きくなった。胎児発育の観点のみから見ると、妊娠期間が短くなるにつれて胎児の被ばく線量が増加する。図 3 の 135kV_p の折れ線グラフでは、線で囲まれた部分に 80kV_p(D_f = 3~16cm)の Fetus-factor を重畳している。80kV_pと 135kV_pの Fetus-factor を比較すると、D_fが 3cm ではほとんど差がなく、直径 16cm では-8.0%(D_p=32cm)、-10.4%(D_p=50cm)の差が得られた(図 3、表 2)。このことから、Fetus-factor は D_pと D_fが大きいときに大きなエネルギー特性を持つことが示唆された。

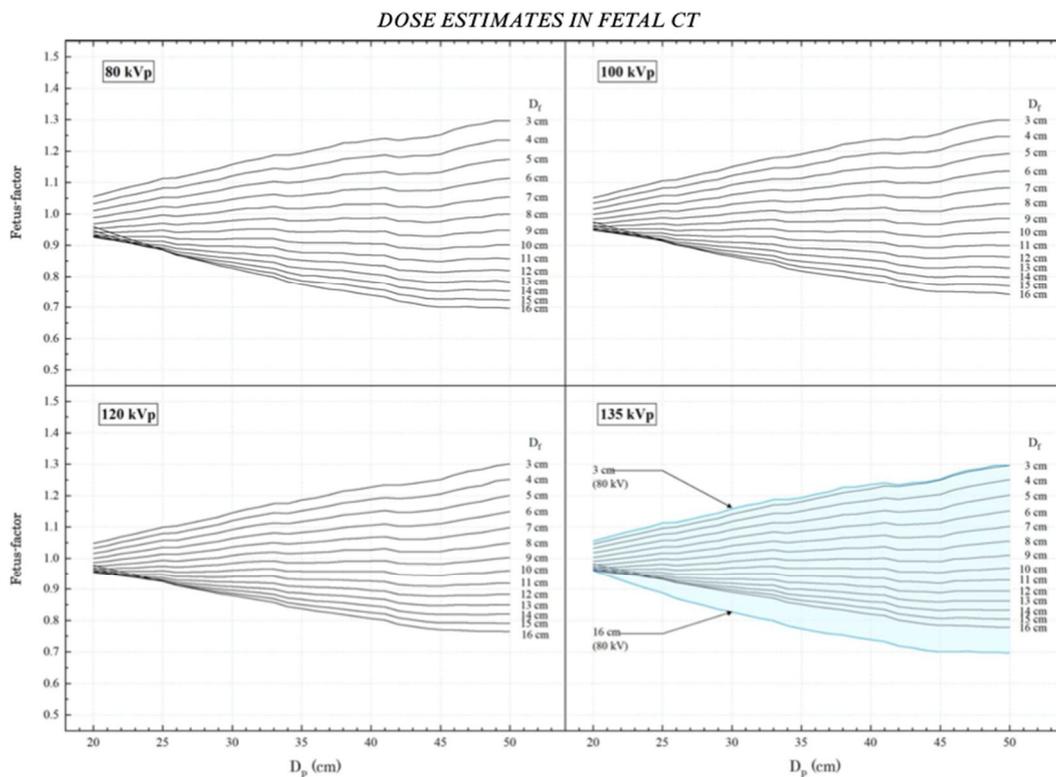


Figure 3. Fetus-factor characteristics. In the graph for the tube voltage of 135 kV_p, the Fetus-factor of 80 kV_p (D_f = 3–16 cm) is superimposed, as indicated region bounded by lines.

図 2 . F-factor の変化

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Kobayashi Masanao, Haba Tomonobu, Suzuki Sayaka, Nishihara Yusei, Asada Yasuki, Minami Kazuyuki	4. 巻 43
2. 論文標題 Evaluation of exposure dose in fetal computed tomography using organ-effective modulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical and Engineering Sciences in Medicine	6. 最初と最後の頁 1195 ~ 1206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13246-020-00921-z	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 -

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------