

Dose Assessment during Pregnancy in Abdominal X-ray Examinations

Ri-Won Woo,¹ Yong-In Cho,¹ Jung-Hoon Kim^{2,*}

¹Department of Radiology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Science Cancer Center

²Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: April 25, 2020. Revised: June 29, 2020. Accepted: June 30, 2020

ABSTRACT

In diagnostic X-ray examinations, dose assessments for pregnant female and fetus are realistically difficult, and related research is also lacking. Therefore, in this study, the purpose of the simulation was to analyze the dose and fetal dose for pregnant female during abdominal X-ray examination. Based on the data presented in ICRP 89, this study produced phantom reconstructed of the existing prenatal phantom, which was used to analyze the evaluation of the organ dose and fetal dose of pregnant female according to pregnancy week and the difference between the dose of the existing phantom and the reconstructed phantom. As a result, the abdominal X-ray test showed a tendency to show higher doses for organs close to the direction of the source joining. In addition, it was confirmed that fetal doses in posteroanterior position were reduced by more than 65% compared with anteroposterior position.

Keywords: X-ray, Fetal dose, Pregnant, Mcnpx

I. INTRODUCTION

최근 근거기반의학의 확대와 의료 기술의 발전으로 인해 영상검사 빈도는 세계적으로 증가하고 있는 추세이다.^[1] 신속하고 정확한 진단을 위해서 영상의학 검사는 필수적인 요소로서, 검사의 결과를 토대로 환자에게 맞는 치료를 수행한다. 한 예로 최근 코로나19 바이러스에 의해 발생 하는 폐렴의 진단은 흉부 X선 검사나 CT검사를 통해 확인한다. 이러한 바이러스는 나이, 성별, 인종을 가리지 않고 누구에게나 감염 될 수 있다.

임산부의 경우에도 바이러스 감염이나 불의의 사고 등으로 인해 방사선 검사를 수행할 경우가 발생한다. 하지만, 임산부는 방사선에 의한 태아 영향으로 인해 검사에 제한을 둔다. 국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)에 따르면 태내 의료상 피폭의 경우 어머니와 태아라는 상이한 두 존재에 대해 고려해야 되

며, 의료방사선 사용은 반드시 정당화 되어야 함을 권고하고 있다.^[2]

임신 기간 중 태아의 방사선에 의한 위험은 ‘임신 주 수’와 ‘흡수선량’에 영향을 받는다.^[2] 이는 태에게 방사선의 영향은 결정적 영향이 주를 이루기 때문이며 태아에게 100 mGy 이상의 선량은 태아사망, 기형, 정신지체 등의 문제를 야기한다. 진단 방사선 검사의 경우 그 선량이 50 mGy 보다 충분히 낮기 때문에 태아에게 유의미한 결정적 영향을 일으킬 가능성은 매우 낮지만, 그보다 낮은 저 선량에서도 백혈병, 소아암과 같은 확률적 영향의 발생 가능성이 존재한다.^[2]

임신 중 방사선 노출은 최대한 피해야 하지만, 임신 사실을 모르고 방사선 검사가 수행되거나, 검사를 함으로써 얻게 되는 이득이 방사선피폭으로 인한 위험성을 정당화시킬 수 있을 때 방사선 검사를 수행하게 된다. 예를 들어, 임산부에게 췌장 담도 질환은 흔하게 일어나며 미국에서는 임신여성

* Corresponding Author: Jung Hoon Kim

E-mail: donald@cup.ac.kr

Tel: +82-10-9142-1171

의 약 10%에서 담석증이 발생한다는 연구결과가 존재한다.^[1] 이들 중 약 0.1%의 확률로 치명적인 담도 질환으로 발전하며, 이를 치료하기 위해 일반적으로 내시경적역행담췌관조영술(ERCP, Endoscopic Retrograde Cholangio pancreatography)과 같은 시술과 함께 합병증 확인을 위한 복부 X선 검사가 추가적으로 진행된다.

임산부라는 그 특성상 실제 측정을 통한 선량 평가에는 제한점이 많고, 태아가 받는 선량에 대한 관련 연구가 매우 부족하다. 따라서 본 연구에서는 임산부 및 태아에게 가장 많은 영향을 줄 수 있는 복부 X선 검사를 중심으로 의료방사선선량위원회(MIRD, committee on Medical Internal Radiation Dose)에서 제안하는 임산부 모의 피폭체^[4,5]와 ICRP Report 89^[6]를 토대로 재구성된 모의 피폭체를 사용하여 모의실험을 진행하였다. 이를 토대로 복부 X선 검사 시 태아와 임산부의 장기선량에 대한 평가를 진행하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 몬테카를로 전산모사

임산부와 태아의 선량 평가를 위해 몬테카를로 기법을 기반으로 하였으며, 본 연구에서는 미 로스 알라모스 연구소(Los Alamos National Laboratory, LANL, USA)에서 개발한 MCNPX(Monte Carlo N-Particle Transport code, ver. 2.5.0, USA)를 이용하였다. MCNP 모사실험에 의해 발생하는 통계 오차를 감소시키기 위해서 5×10^7 개의 히스토리를 사용하여 불확도를 3% 이내로 실험 설계를 하였으며, 흡수선량 계산에 사용되는 F6 Tally(MeV/g)를 사용하였다.

1.1 진단용 방사선 발생장치

진단용 발생장치는 Digital Diagnost 4.1(Philips, Netherlands) 장비^[7]를 토대로 실험설계 하였으며, X선관의 모형은 Fig. 1과 같이 구성하였다. 복부 X선 검사 조건은 식품의약품안전처에서 제공하는 표준 촬영기법을 토대로 선정하였다.^[8] 또한 임산부는 엎드려 누운 자세는 어려움이 있으므로, 선 자세(Erect)를 기준으로 복부전후방향(AP)과 후전방향

(PA) 검사를 통해 모의실험을 설정하였다. 인체 팬텀의 각 임신 개월 수와 관계없이 모두 동일한 조건을 적용하였다. 기타상세 조건은 Table 1과 같다.

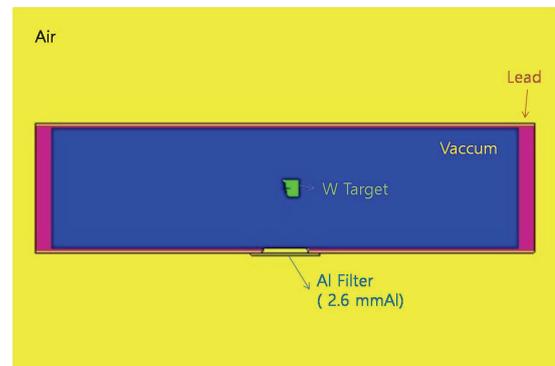


Fig. 1. MCNP X-ray Tube Model.

Table 1. X-ray Tube Specifications and Diagnostic X-ray imaging conditions in this study.

Target material	W
Anode Angle [°]	13
Material of filtration	Al
Thickness of filtration [mm]	2.6
Voltage [kVp]	85
Current x Exposure time [mAs]	20
Focus to Surface Distance [cm]	100
Beam Size [inch]	14 x 17

1.2 임산부 팬텀 모델

모의 피폭체는 기존의 M. Cristy 등의 연구^[4]를 바탕으로 제작된 MIRD형 팬텀 중에서 성인 여성의 체격과 같은 15세 여성 팬텀을 토대로 M. G. Stabin 등의 연구^[5]에서 제시한 MIRD형 팬텀 모델을 사용하였다. 이 팬텀은 3개월 간격으로 임신 초기, 중기, 후기에서 장기의 위치 및 부피를 고려하였으며, Table 2와 같이 성인의 뼈, 연조직, 폐, 그리고 태아의 뼈 4가지 물성으로만 구성되어 있다.

기존의 연구에서 제시한 MIRD형 팬텀의 경우 대부분의 장기에서 연부조직으로만 인체를 평가하였기 때문에 정량적 평가에서 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 ICRP 89 등에서 제시한 자료를 바탕으로,^[6,9-12] 물성과 밀도 정보를 변형한 팬텀을 제작하였으며, 제작된 팬텀의 장기별 구성 성분은 Table 3과 같다. 본 연구에서는 편의상 기존

의 MIRD형 팬텀을 Pre 팬텀, 재구성 과정을 거친 팬텀은 Post 팬텀이라 지칭하였으며, 각각 만들어진 팬텀은 Fig. 2와 같다.

하였다.

2. 실험방법

2.1 X선 스펙트럼 분석

X선 에너지 스펙트럼은 Table 1에 제시된 장치의 정보를 기반으로 MCNP-code를 통해 에너지 스펙트럼을 획득하였다. 획득한 스펙트럼에 대한 적정성을 확인하고자 IPEM(Institute of Physics and Engineering in Medicine) 보고서 78을 기반으로 한 스펙트럼 프로세서(Spectrum processor, SRS-78)를 통해 동일한 조건 내 스펙트럼을 획득하였다.^[14] 획득한 스펙트럼에 대한 평가는 특성 X선 에너지와 평균에너지 범위 등을 통해 비교 분석하였다.

2.2 복부검사 시 임신부에 대한 선량 평가

복부 X선 검사에 대해 구성한 기하학적 조건을 토대로 기존의 MIRD형 팬텀과 새롭게 재구성된 팬텀의 장기 및 태아 선량을 평가하였으며, 임신 주 수에 따른 선량 차이를 비교 분석하였다. 3개월 팬텀의 경우, 태아는 위치나 형태가 완전히 발달되지 않아 태아선량의 정확한 평가가 어려우며, 태아에 대한 별도의 팬텀 모델이 존재하지 않기 때문에 태아가 자궁내용물에 포함된다고 가정하였다. 6, 9개월 팬텀의 경우 태아 연조직과 태반, 태아 뼈, 자궁부속물로 구성되어 있으며, 태아 뼈와 태아연조직을 태아로 가정하고 태아 주변 장기를 나누어 평가하였다. 또한 태아 연조직이 임신 주 수가 지남에 따라 밀도와 성분이 달라졌으며, 태아 구성에 대한 그림은 Fig. 3과 같다. 이후, 선원의 조사 방향에 따른 선량변화를 평가하기 위해 복부 전후방향과 후전 방향 검사 조건을 통해 선량 변화를 분석

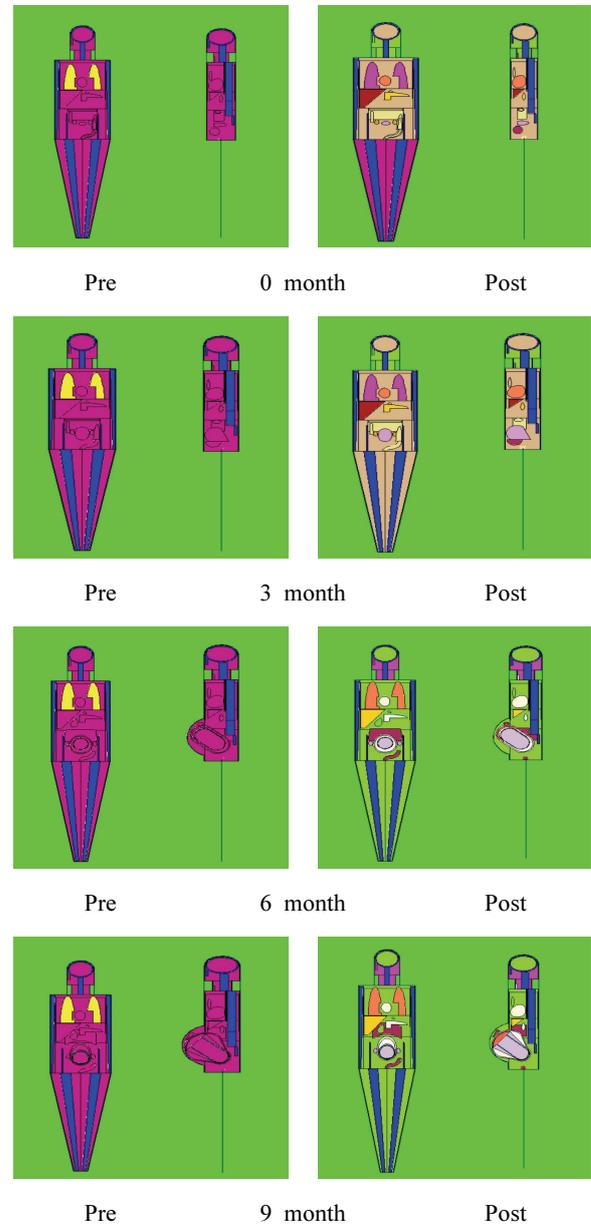


Fig. 2. Created by MIRD Phantom(Pre) & ICRP 89 Revised Phantom(Post).

Table 2. Elemental composition of MIRD phantom model (Pre phantom).

Organ	Density (g/cm ³)	H	C	N	O	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca
Lung	0.296	10.1	10.2	2.9	75.8	0.2	-	0.1	0.2	0.3	0.2	-
Bone	1.4	7.3	25.5	3.1	47.9	0.3	0.1	5.1	0.2	0.1	0.2	10.2
Soft tissue	1.04	10.5	22.7	2.5	63.5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	-
Fetal Skeleton	1.22	8.0	9.7	2.7	66.8	0.3	0.1	3.7	0.3	0.1	0.1	8.0

Table 3. Elemental composition of revised phantom model (Post phantom).

Organ	Density (g/cm ³)	H	C	N	O	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca	I
Lung	0.26	10.3	10.5	3.1	74.9	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	-	-
Bone	1.4	7.3	25.5	3.1	47.9	0.3	0.1	5.1	0.2	0.1	0.2	10.2	-
Soft tissue	1.03	10.5	25.6	2.7	60.2	0.1	-	0.2	0.3	0.2	0.2	-	-
Muscle	1.05	10.2	14.3	3.4	71.0	0.1	-	0.2	0.3	0.1	0.4	-	-
Skin	1.09	10.0	20.4	4.2	64.5	0.2	-	0.1	0.2	0.3	0.1	-	-
Brain	1.04	10.7	14.5	2.2	71.2	0.2	-	0.4	0.2	0.3	0.3	-	-
Eyes	1.07	9.6	19.5	5.7	64.6	0.1	-	0.1	0.3	0.1	-	-	-
Thyroid	1.05	10.4	11.9	2.4	74.5	0.2	-	0.1	0.1	0.2	0.1	-	0.1
Upper face	1.22	8.9	24.1	2.8	55.7	0.2	-	2.6	0.2	0.1	0.2	5.1	-
Larynx	1.10	9.6	9.9	2.2	74.4	0.5	-	2.2	0.9	0.3	-	-	-
Trachea	1.03	10.5	25.6	2.7	60.2	0.1	-	0.2	0.3	0.2	0.2	-	-
GI Tract	1.03	10.6	11.5	2.2	75.1	0.1	-	0.1	0.1	0.2	0.1	-	-
Ovaries	1.05	10.5	9.3	2.4	76.8	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-
Uterus	1.02	10.6	31.5	2.4	54.7	0.1	-	0.2	0.2	0.1	0.2	-	-
Urinary bladder	1.04	10.5	9.6	2.6	76.1	0.2	-	0.2	0.2	0.3	0.3	-	-
Spleen	1.06	10.3	11.3	3.2	74.1	0.1	-	0.3	0.2	0.2	0.3	-	-
Heart	1.05	10.4	13.9	2.9	71.8	0.1	-	0.2	0.2	0.2	0.3	-	-
Pancreas	1.04	10.6	16.9	2.2	69.4	0.2	-	0.3	0.1	0.2	0.2	-	-
Liver	1.05	10.3	18.6	2.8	67.1	0.2	-	0.2	0.3	0.2	0.3	-	-
Kidneys	1.05	10.3	13.2	3.0	72.4	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	-
Breast	0.94	11.6	51.9	-	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-
Placenta	0.995	10.3	6.5	2.0	78.2	-	-	0.2	0.1	-	-	0.4	-
Fetus 6 m	0.97	10.5	6.9	1.6	79.5	-	-	0.4	0.1	-	-	1.0	-
Fetus 9 m	1.02	10.5	6.9	1.6	79.4	-	-	0.5	0.1	-	-	1.0	-
Fetal Skeleton	1.22	8.0	9.7	2.7	66.8	0.3	0.1	3.7	0.3	0.1	0.1	8.0	-

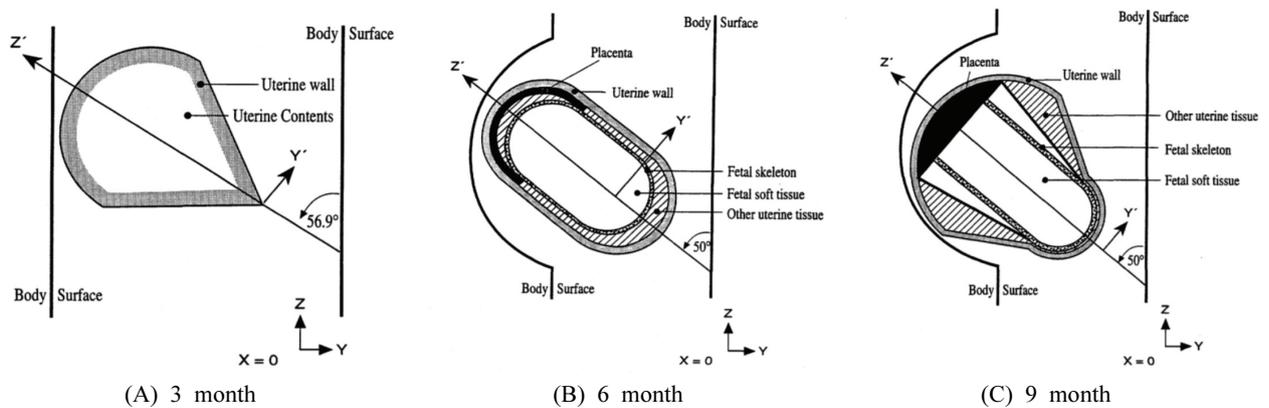


Fig. 3. Cross-section of uterine model

III. RESULT

1. X선 스펙트럼 분석

동일한 실험 조건을 통해 MCNPX와 SRS-78 프로그램을 통해 X선 스펙트럼을 획득했다. MCNPX의 결과값은 입자 1개당 발생하는 X선 에너지를 의미하므로, 정규화(Normalization) 과정을 수행한 후 평균 에너지와 특성에너지 발생 구간을 비교하였다. 그 결과, Fig. 4와 같이 특성 X선 에너지는 58, 59.5, 67.5 keV에서 동일한 피크를 나타내었으며, MCNPX의 평균에너지는 36.6 keV, SRS-78의 평균 에너지는 38.3 keV로, 약 4.7%의 상대오차를 나타내었다.

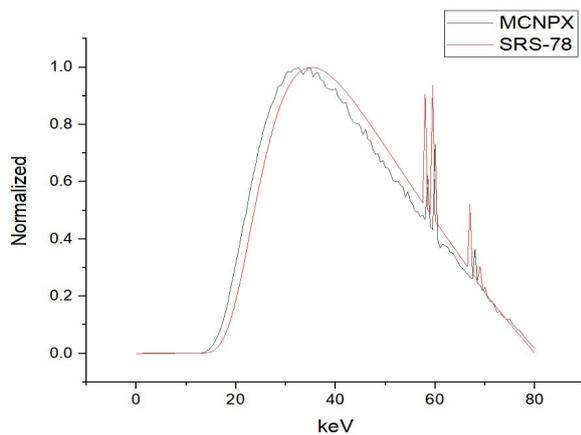


Fig. 4. MCNP & SRS 78 Spectrum normalization.

2. 임신부 선량 평가

2.1 복부 전후방향 촬영

Pre 팬텀의 경우 Table 4와 같이 임신 주 수에 관계없이 유방과 갑상선에서 약 3.8 mGy로 가장 높은 선량이 측정 되었다. 임신 주 수에 따라 대장을 제외한 소화기 장기는 선량이 대체적으로 감소하였으며, 대장, 유방, 폐의 경우 임신 경과에 따라 선량이 증가하였다. 갑상선, 뇌, 흉선의 경우 임신 주 수에 관계없이 일정한 선량을 보였다.

태아(Fetus)의 경우 3개월 자궁(Uterus) 선량은 2.23 mGy로 가장 높게 측정 되었으며, 6개월 0.93 mGy, 9개월 0.85 mGy로 임신 후반기로 갈수록 태

아 선량이 감소하였다. 태아 뼈(Fetal Skeleton)는 6개월에 3.19 mGy로 높은 선량을 나타내었으며, 9개월에 1.96 mGy로 약 39% 감소되었다. 태반(Placenta) 또한 2.73 mGy 이상의 높은 선량을 나타내었으며, 임신 주수에 따라 선량이 증가하는 경향을 보였다.

Post 팬텀의 경우 Table 5와 같이 갑상선에서 4.26 mGy로 가장 높은 선량을 나타내었으며, Pre 팬텀과 비교 하였을 때, 장기선량이 대체로 비슷한 양상을 보였으나 유방에서는 선량이 약 21% 감소하였고, 갑상선에서 약 12% 증가하였다. 태아의 경우 3개월 자궁선량은 3% 감소한 반면, 6개월에서 2%, 9개월에서 3% 선량이 증가하였다. 태반의 경우 6개월에서 11%, 9개월에서 9% 선량이 증가하였다.

Table 4. Organ Dose According to Gestation Period (Abdomen AP, Pre Phantom) (unit: mGy)

	0 m	3 m	6 m	9 m
BREAST*	3.80	3.80	3.86	3.88
LUNG*	1.35	1.35	1.41	1.40
STOMACH	2.30	2.30	1.70	1.14
LIVER	1.73	1.73	1.47	1.02
THYROID	3.83	3.83	3.81	3.81
BRAIN	0.40	0.40	0.40	0.40
KIDNEY*	0.34	0.34	0.18	0.11
PANCREAS	1.03	1.03	0.78	0.41
ESOPHAGUS	0.71	0.71	0.65	0.61
SPLEEN	0.64	0.64	0.53	0.34
THYMUS	3.01	3.01	2.98	2.99
TRUNK SKIN	2.40	2.40	2.40	1.57
SMALL INTESTINE	1.42	1.62	0.44	0.45
ADRENALS	0.41	0.41	0.34	0.20
COLON	1.56	1.55	1.64	1.89
URINARY BLADDER	2.41	2.43		
OVARIES	1.05	1.06	0.32	0.23
UTERUS	1.44	2.23	1.31	1.78
FETAL SKELETON			3.19	1.96
FETUS			0.93	0.85
PLACENTA			2.73	2.86
PREGNANT WALL			1.54	2.02
UTERINE TISSUE			1.07	1.67

* UTERUS = Pregnant wall + Uterine tissue
*Left and Right organ included

태아 뼈의 경우 Pre 팬텀과 Post 팬텀의 물성 조건이 변하지 않아 비슷한 선량결과가 나타났다.

2.2 복부 후전방향 촬영

Pre 팬텀의 경우 Table 6와 같이 콩팥(Kidney)에서 약 3.1 mGy 으로 가장 높은 선량을 보였고, 그 외 대부분의 장기에서는 임신 주 수에 따라 선량 차이가 크게 나타나지 않았다. 소장(Small Intestine)의 경우 임신 6개월에서 선량이 증가하고, 9개월에서 다시 감소되는 경향을 보였다.

태아의 경우 3개월 자궁선량이 0.54 mGy로 측정되었으며, 6개월에 0.32 mGy, 9개월에 0.23 mGy로 임신 후반기로 갈수록 태아선량이 감소하였다. 태아 뼈는 6개월에 0.97 mGy, 9개월에 1.13 mGy로 임신 후기로 갈수록 선량이 증가 하는 것으로 평가되었다. 태반은 6개월에 0.12 mGy, 9개월에 0.06 mGy로 임신 후기로 갈수록 선량이 감소하였다.

Post 팬텀의 경우 Table 7과 같이 콩팥에서 3.29 mGy로 가장 높은 선량을 보였고, Pre 팬텀과 비교하여 선량이 약 6% 증가하였다. 유방은 약 19% 감

Table 5. Organ Dose According to Gestation Period (Abdomen AP, Post Phantom) (unit: mGy)

	0 m	3 m	6 m	9 m
BREAST*	3.02	3.02	3.06	3.07
LUNG*	1.41	1.41	1.49	1.48
STOMACH	2.38	2.37	1.74	1.18
LIVER	1.78	1.78	1.51	1.05
THYROID	4.26	4.26	4.26	4.26
BRAIN	0.39	0.39	0.39	0.39
KIDNEY*	0.37	0.37	0.20	0.12
PANCREAS	1.06	1.06	0.83	0.45
ESOPHAGUS	0.69	0.69	0.64	0.59
SPLEEN	0.69	0.69	0.58	0.38
THYMUS	2.97	2.97	2.95	2.95
TRUNK SKIN	2.39	2.39	2.39	1.56
SMALL INTESTINE	1.47	1.68	0.46	0.47
ADRENALS	0.40	0.40	0.33	0.19
COLON	1.62	1.61	1.70	1.97
URINARY BLADDER	2.59	2.64		
OVARIES	1.15	1.19	0.36	0.27
UTERUS	1.38	2.16	1.24	1.72
FETAL SKELETON			3.15	2.00
FETUS			1.11	1.07
PLACENTA			3.04	3.13
PREGNANT WALL			1.45	1.92
UTERINE TISSUE			1.00	1.62

* UTERUS = Pregnant wall + Uterine tissue
*Left and Right organ included

Table 6. Organ Dose According to Gestation Period (Abdomen PA, Pre Phantom) (unit: mGy)

	0 m	3 m	6 m	9 m
BREAST*	0.31	0.31	0.32	0.32
LUNG*	1.63	1.63	1.74	1.74
STOMACH	0.53	0.53	0.52	0.53
LIVER	0.98	0.98	0.99	0.98
THYROID	0.33	0.33	0.40	0.40
BRAIN	0.45	0.45	0.45	0.45
KIDNEY*	3.09	3.09	3.10	3.10
PANCREAS	0.90	0.90	0.86	0.85
ESOPHAGUS	0.76	0.76	0.73	0.75
SPLEEN	1.92	1.92	1.93	1.93
THYMUS	0.22	0.22	0.19	0.19
TRUNK SKIN	2.48	2.48	2.47	2.46
SMALL INTESTINE	0.77	0.75	1.28	0.78
ADRENALS	2.13	2.13	2.04	2.04
COLON	0.68	0.67	0.32	0.30
URINARY BLADDER	0.45	0.46		
OVARIES	0.83	0.84	0.77	0.83
UTERUS	0.73	0.54	0.57	0.33
FETAL SKELETON			0.97	1.13
FETUS			0.32	0.23
PLACENTA			0.12	0.06
PREGNANT WALL			0.49	0.37
UTERINE TISSUE			0.67	0.31

* UTERUS = Pregnant wall + Uterine tissue
*Left and Right organ included

소하였고, 갑상선은 약 9% 증가하였다. 그 외 대부분의 장기에서 Pre 팬텀과 동일한 경향을 보였다.

태아의 경우 3개월에서 자궁선량은 0.53 mGy로 Pre 팬텀에 비해 0.01 mGy 감소하였고, 6개월에서 0.07 mGy, 9개월에서 0.06 mGy 증가하였다. 태반의 경우 6개월에서 0.46 mGy로 Pre 팬텀에 비해 약 3.8배 증가하였으며, 9개월에서 0.35 mGy로 약 5.8배 증가하였다. 태아 뼈의 경우 전후방향 촬영과 마찬가지로 Pre & Post 팬텀에서 유사한 결과를 나타냈다.

Table 7. Organ Dose According to Gestation Period (Abdomen PA, Post Phantom) (unit: mGy)

	0 m	3 m	6 m	9 m
BREAST*	0.26	0.26	0.27	0.27
LUNG*	1.67	1.67	1.78	1.78
STOMACH	0.53	0.53	0.53	0.54
LIVER	1.01	1.01	1.02	1.02
THYROID	0.38	0.38	0.42	0.42
BRAIN	0.45	0.45	0.45	0.45
KIDNEY*	3.29	3.29	3.30	3.29
PANCREAS	0.91	0.91	0.88	0.88
ESOPHAGUS	0.75	0.75	0.74	0.75
SPLEEN	2.05	2.05	2.05	2.06
THYMUS	0.22	0.22	0.20	0.20
TRUNK SKIN	2.47	2.47	2.47	2.45
SMALL INTESTINE	0.81	0.78	1.32	0.80
ADRENALS	2.10	2.10	2.03	2.02
COLON	0.71	0.70	0.33	0.32
URINARY BLADDER	0.49	0.52		
OVARIES	0.89	0.93	0.84	0.91
UTERUS	0.70	0.53	0.55	0.32
FETAL SKELETON			0.96	1.14
FETUS			0.39	0.29
PLACENTA			0.13	0.08
PREGNANT WALL			0.46	0.35
UTERINE TISSUE			0.63	0.30

* UTERUS = Pregnant wall + Uterine tissue
*Left and Right organ included

2.3 촬영 방향에 따른 선량 분석

촬영 방향에 따른 선량 평가 결과, Post 팬텀에서 복부 전후방향 촬영은 임신 전 기간 장기선량 평균이 유방, 위, 간, 갑상선, 흉선, 소장, 대장, 방광, 자궁 등에서 후전방향 촬영 보다 높은 선량을 보였으며, 후전방향 촬영은 전후방향 촬영보다 콩팥에서 약 11배, 지라에서 약 3배, 부신에서 약 5배 이상 높은 선량을 받는 것으로 평가되었다. 태아선량은 전후방향 촬영보다 후전방향 촬영 검사를 수행하였을 때, 3개월 자궁선량에서 75%, 6개월 태아선량에서 65%, 9개월 태아선량에서 73% 감소하는 것으로 평가되었다. 또한 태반에서는 후전방향 검사 시, 95% 이상의 선량 감소효과가 나타났다. 태아 뼈의 경우 6개월에서 70%, 9개월에서 43% 선량이 감소하는 것으로 나타났다. Pre 팬텀의 경우 Post 팬텀과 유사한 경향성을 나타내었다.

IV. DISCUSSION

의료 방사선 검사는 그 행위가 정당화 될 때 이뤄지며, 이익을 수반하는 행위를 부당하게 제한하지 않는 측면에서 선량 한도를 규정하고 있지 않다. 하지만 임신부의 경우 일반적으로 의료 방사선 검사를 하지 않는 것이 원칙이지만, 예외적으로 불가피하게 피폭을 수반하는 일이 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 복부 X선 검사 시 임신부와 태아에 대한 선량을 정량적으로 평가하고자 몬테카를로 기법을 기반으로 한 모의실험을 수행하였다.

본 연구 결과에 따르면, 복부 전후방향 촬영에서의 임신부 장기 선량은 Pre 팬텀에서 유방과 갑상선, Post 팬텀에서는 갑상선이 가장 높은 선량을 나타내었다. Pre 팬텀에서 유방과 갑상선의 경우 선원과 가까운 위치적인 요인으로 인해 높은 선량이 나타난 것으로 분석되며, Post 팬텀에서 갑상선 선량이 더 높게 측정된 이유는 장기의 작은 크기와 질량, 그리고 팬텀의 물성 변화에 따라 요오드(I) 성분으로 인해 산란선의 선량 증가효과가 나타나는 것으로 사료된다.

복부 후전방향 촬영에서 임신부 장기 선량은 콩팥에서 가장 높은 선량이 측정되었고, 이는 선원과 가장 가까운 후 복막장기이며, 2개의 장기를 합한

값이므로, 흡수선량이 높아진 것으로 분석된다. 또한 소화기 장기 중에 소장이 선량 차이가 많이 난 이유로는 소장이 임신주수에 따라 가장 위치 이동이 많은 장기이며, 임신 후기로 갈수록 복부 차폐 효과도 커지기 때문에 다음과 같은 선량이 나타난 것으로 분석된다.

검사 방향과 팬텀의 차이에 상관없이 태아선량의 경우 3개월 자궁의 선량이 가장 높게 측정되었으며, 임신 주 수가 지날수록 선량이 감소하였다. 이는 임신부 복부가 팽창하고, 태아가 자라면서 흡수선량이 감소하는 것으로 분석된다. 하지만, 3개월 자궁의 선량은 태아의 정확한 기하학적 위치를 반영하지 못하고, 태아의 크기와 질량이 과대평가되어 있기 때문에 이는 본 연구의 제한점으로 생각하며, 실제적으로 태아가 3개월에 받는 선량은 본 연구의 결과보다 더 클 것으로 사료된다.

검사 방향에 따라 전후방향 촬영에서는 임신 후기로 갈수록 태아 뼈 선량은 감소하고, 후전방향 촬영에서는 임신 후기로 갈수록 태아 뼈 선량이 증가하였다. 이는 임신부 복부가 팽창하면서 차폐 및 산란효과를 일으킨 것으로 사료된다.

팬텀 물성 변경 전, 후의 선량을 비교 하였을 때, 태아와 태반에서 선량이 Pre 팬텀보다 Post 팬텀에서 더 높은 선량이 측정되었다. 이는 Pre 팬텀보다 Post 팬텀에서 탄소(C) 함유량이 감소하고, 산소(O) 함유량이 증가하여 평균원자량 상승으로 인한 결과로 사료된다. 즉, 기존의 팬텀과 변형된 팬텀 사이 물성변화에 따른 선량차이가 발생하는 것을 확인 하였으며, 장기 및 조직 구성비를 고려한 팬텀을 사용한다면 좀 더 정확한 선량 평가를 위한 도구로 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 방사선 방호의 측면에서도 임신부와 태아선량에 대해 보수적으로 평가하고 관리할 필요가 있을 것으로 사료된다.

W. R. Kim의 연구^[14]와 비교 했을 때, Pre 팬텀의 9개월 태아선량이 0.53 mGy에서 0.85 mGy로 약 1.6배 증가와 같이 모든 장기에서 약 1.4 ~ 1.8배 선량이 증가하였다. 이는 이전 연구와 비교하여 X선 촬영 조건의 증가로 인한 영향이 존재하며, 선량 차이는 있었지만 경향성에서는 기존 연구와 상응

하는 결과가 나타났다.

A. Chaparian et al.의 연구^[15]는 몬테카를로 기반의 프로그램 중 PCXMC를 사용하여 3개월의 자궁 선량을 확인하였고, 복부 전후방향 촬영에서 1.217 mGy로 나타났다. 이는 김우란 외 의 연구와 유사한 수치(1.18 mGy)이며, 본 연구와 선량 값에 차이가 나는 이유로 위의 연구도 마찬가지로 조건의 차이로 인한 것으로 사료된다.

H. Lee의 연구^[16]에서 복부 전후방향 촬영의 중심 근처에 위치한 콩팥의 장기선량을 비교해 보면, PCXMC 프로그램을 사용한 경우 0.39 mGy로, 본 연구에서 Post 팬텀의 콩팥 선량인 0.37 mGy와 유사한 선량 값을 나타내었으나, 간의 경우 1.21 mGy와 1.78 mGy로 차이가 나타났다. 이학 외 의 연구는 방사선 발생 조건이 본 연구와 일치하지만, 사용된 팬텀 모델의 체형 차이로 인한 결과로 분석된다.

복부 전후방향 촬영에서 Post 팬텀으로 선량평가했을 때, 태아선량은 임신 전 기간에서 1 mGy 이상, 태아 뼈는 임신 전 기간 3 mGy 이상의 선량을 나타내었다. 이는 태아에게 유의미한 결정적 영향을 일으키는 100 mGy^[2] 수준에는 크게 못 미치는 값이나, 확률적 영향을 고려한다면, 무시할 수 없을 수준의 선량이라 사료된다. 이를 통해 임신부에 대한 복부 X선 촬영을 부득이하게 시행하여야 할 경우, 후전방향 촬영을 통해 장기 중 방사선에 민감한 장기와 태아선량을 최소화하여 검사를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

이처럼 임신부에 대한 선량 평가는 실제 측정을 통해서 평가하기는 현실적으로 어려우므로, 몬테카를로 기법을 이용한 모의실험은 임신부의 주수별 장기선량과 태아선량을 추정하기 위한 보조적인 도구로서 활용 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 복부 진단 방사선검사에만 국한하여 태아 선량을 평가하였으나, 추후 다른 검사 부위에 대한 임신부와 태아 선량을 평가하고, 이를 저감할 수 있는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

본 연구는 모의실험을 통해 복부 X선 검사 시 임

산부 장기선량 및 태아선량을 평가 하였다. 복부 전후방향 촬영 시 태아는 약 1 mGy 이상의 선량에 노출되며, 확률적 영향에 대한 측면을 간과할 수 없으므로 가능한 복부 후진방향 촬영을 통해 태아 선량을 줄이는 노력이 필요할 것으로 판단된다. 또한 Pre & Post 팬텀에 대한 선량 분석을 통해, 인체 장기의 조직 구성 및 밀도를 반영한 변형 팬텀은 방사선 피폭환경에서 보다 더 정량적인 선량분석에 용이할 것으로 판단된다. 임신부 복부 검사를 진행해야 할 경우, 전후방향 촬영보다 후진방향 촬영이 태아선량을 65% 이상 감소시킬 수 있을 것으로 판단되며, 향후 관련 연구가 진행된다면 임신부의 의료 방사선 검사 시, 참고치로 활용할 수 있는 진단참고수준(Diagnostic Reference Level, DRL) 설정을 위한 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

Reference

- [1] J. I. Choi, "Prospects on the increase of radiological examinations in Korea", *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 63, No. 3, pp. 136-139, 2020. <http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2020.63.3.136>
- [2] J. Valentin, "Pregnancy and Medical Radiation", ICRP(International Commission on Radiological Protection) Publication 84, *Annals of the ICRP*, Vol. 30, No. 1, 2000.
- [3] S. Menees, G. Elta, "Endoscopic retrograde cholangiopancreatography during pregnancy", *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, Vol. 16, No. 1, pp. 41-57, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.giec.2006.01.004>
- [4] M. Cristy, K. F. Eckerman, "Mathematical Phantoms for Use in Reassessment of Radiation Dose to Japanese Atomic-Bomb Survivors", Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-9487, 1985.
- [5] M. G. Stabin, E. E. Watson, M. Cristy, J. C. Ryman, K. F. Eckerman, J. L. Davis, D. Marshall, M. K. Gehlen, "Mathematical Models and Specific Absorbed Fractions of Photon Energy in Nonpregnant Adult Female and at the End of Each Trimester of Pregnancy", Office of Scientific and Technical Information(OSTI), 1995. <http://dx.doi.org/10.2172/91944>
- [6] J. Valentin, "Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values", ICRP(International Commission on Radiological Protection) Publication 89, *Annals of the ICRP*, Vol. 32, No. 3-4, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0146-6453\(03\)00002-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0146-6453(03)00002-2)
- [7] Philips Healthcare, "Create a premium DR room like no other, Digital radiography solutions specifications (Release 4.1)", Philips, 2014.
- [8] National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, "Standard imaging techniques for imaging medical examinations", Radiation Safety Management Series No. 38, 2014.
- [9] T. W. Sadler, *Largmans Medical Embryology*, 12th Ed., Lippincott Williams & Wilins, 2012.
- [10] F. A. Duck, *Physical Properties of Tissues: A comprehensive Reference Book*, Academic Press, 2013.
- [11] E. E. Ziegler, A. M. O'Donnell, S. E. Nelson, S. J. Fomon, "Body Composition of the reference fetus", *Growth*, Vol. 40, No. 4, pp. 329-41, 1976.
- [12] D. R. White, R. V. Griffith, and I. J. Wilson, "ICRU Report 46: Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues", *Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements*, Vol. 24, No. 1, 1992.
- [13] K. Cranley, B. J. Gilmore, G. W. A. Fogarty, "Catalogue of Diagnostic X-ray Spectra and Other Data", IPEM Report 78, The Institute of Physics and Engineering in Medicine, 1997.
- [14] W. R. Kim, "Construction of Pregnant Female Phantoms and Assessment of Radiation Doses to Fetus and Mother Due to Diagnostic X-ray Examinations", Master's thesis, Department of nuclear engineering, Han Yang University, 2001.
- [15] A. Chaparian, M. Aghabagheri, "Fetal Radiation Doses and Subsequent Risks From X-ray Examinations: Should We Be Concerned?", *Iranian Journal of Reproductive Medicine*, Vol. 11, No. 11, pp. 899-904, 2013.
- [16] H. Lee, "A Study on the Usefulness for Measure of Effective dose and Exposure Dose of Radiography for Examination Purpose and Surrounding Organs during Radiography", Master's thesis, Department of medical physics, Korea University, 2018.

복부 진단 X선 검사 시 태아 및 임신부의 선량 평가

우리원,¹ 조용인,¹ 김정훈^{2,*}

¹동남권원자력의학원 영상의학과

²부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

요 약

진단 방사선 검사에서 임신부와 태아에 대한 선량 평가는 현실적으로 어려우며, 관련된 연구 자료 또한 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 모의실험을 통해 복부 X선 검사 시 임신부에 대한 선량과 태아선량을 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 ICRP 89에서 제시하는 자료를 토대로 기존의 임신부 팬텀을 재구성한 팬텀을 제작 하였으며, 이를 이용하여 임신 주 수에 따른 임신부의 장기선량 및 태아선량에 대한 평가와 기존 팬텀과 재구성된 팬텀의 선량 차이를 분석하였다. 그 결과 복부 X선 검사 시, 입사되는 선원방향에 가까운 장기일수록 높은 선량을 나타내는 경향을 보였다. 또한 후전방향 촬영 시, 전후방향 촬영보다 태아 선량이 약 65%이상 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

중심단어: 복부 X선, 태아선량, 임신부, Mcnpx

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	우리원	동남권원자력의학원 영상의학과	방사선사
(공동저자)	조용인	동남권원자력의학원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김정훈	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수