

<원저>

유방촬영 시 몬테칼로 전사모사를 이용한 유방 성형 환자의 장기선량 평가

김지수¹⁾·조용인²⁾·김정훈³⁾^{1,3)}부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과·²⁾동남권원자력의학원 영상의학과

Assessment of Organ Dose in Mammoplasty Patient by Monte Carlo Simulation during Mammography

Ji-Soo Kim¹⁾·Yong-In Cho²⁾·Jung-Hoon Kim³⁾^{1,3)}Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan²⁾Department of Diagnostic Radiology, Dongnam Institute of Radiological & Medical Science

Abstract Although the screening with a mammography has been shown to be economical, simple and effective in detecting breast cancer, it is accompanied by the risk from radiation. Therefore, this study analyzed the glandular dose and organ dose according to the target-filter combination and the presence and absence of implants using Monte Carlo simulation. The results indicate that at a tube voltage of 30 kV and a tube current of 50 mAs, the dose increased in the order of Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh and W/Rh in proportion to the atomic number of the target-filter. In addition, in phantom without implant a reduction in dose was seen when compared to the phantom with implant. The organ dose was highest in the lens except for the breast on the examination side regardless of the presence or absence of the implant. These results may contribute to use basic data for the diagnostic reference level of breast plastic surgery patients.

Key Words: Mammography, Breast implant, Organ dose, Monte carlo simulation, Breast dose

중심 단어: 유방촬영, 유방 성형, 장기선량, 몬테칼로 전사모사, 유방선량

I. 서 론

2019년 발표된 국가암등록통계에 따르면 유방암 발생률은 전체 암의 9.6%이며, 여성 암 중 20.3%로 가장 높은 비율을 차지하였다[1]. 유방암은 우수한 치료 성과와 완결제로 인한 전이 방지로 다른 암에 비해 비교적 생존율이 높은 편이다. 그러나 유방은 여성의 상징적 의미로서 신체뿐 아니라 심리적 고통을 동반하기 때문에 건강검진을 통해 조기에 발견해내는 것이 중요하다[2,3].

유방암을 조기 진단하기 위한 선별검사로는 자가 진단법, 유방촬영(Mammography), 유방초음파(Breast ultrasonography)가 있다. 그중 유방촬영은 관상내피암(ductal carcinoma in situ)의 특징적 소견인 미세석회화 발견에 용이하고 비용이

저렴하나 압박으로 인한 통증이 동반되며 산란선으로 인한 수정체, 갑상샘 등 주변 장기의 피폭이 우려된다는 단점이 있다[4,5].

이로 인해 국내·외에서는 유방촬영 시 피폭선량 저감화를 위한 연구가 이뤄져 왔으며, 식품의약품안전처에서는 평균 유선선량을 3 mGy 이하로 유지하도록 권고하고 있다[6]. 그러나 기존의 연구는 일반 여성에 한정적이었으며 유방암으로 인한 유방 재건 환자, 미용 목적의 유방 성형 환자의 유선선량 및 장기선량 평가는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 몬테칼로 전사모사를 통해 유방촬영 시 보형물 삽입 유·무에 따른 목적 장기와 주변 장기에 대한 선량 평가를 수행하고자 한다. 또한, 검사 조건 변화에 따른 흡수선량을 분석하여 유방 성형 환자의 적절한 검사 기준

정립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 실험 재료

본 연구는 유방촬영과 같은 저 에너지 모델링에 적합하며 방사선 수송 및 해석이 가능한 몬테칼로(MCNPX Ver 2.5.0, USA) 전사모사를 이용하였다.

선량 평가를 위한 모의 피폭체는 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 개발된 후 ICRU 46의 조직 구성을 기반으로 수정된 UF-Revised MIRD(Medical Internal Radiation Dose)를 사용하였다[7]. 유방 성형 환자의 경우 UF-Revised MIRD형 모의 피폭체에 Fatme S. et. al 등이 제시한 보형물 성분(C-32.4%, H-8.2%, O-21.6%, Si-37.8%, volume : 200 cm³)을 추가로 삽입하여 구성하였다[8]. 가로 6 cm, 세로 6 cm, 높이 6 cm의 원형 보형물을 삽입하였으며 폐와 겹치는 부분은 제외하여 모델링하였다.

유방촬영 장치의 설계는 임상에서 주로 사용되는 MAMMOMAT Inspiration (SIEMENS, Germany)과 Senographe DS Mammography System (GE Healthcare, USA)을 참고하였다.

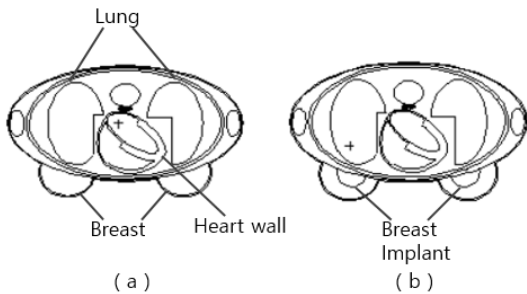


Fig. 1. UF-Revised MIRD phantom (a) without breast implant phantom (b) with breast implant phantom

2. 실험 방법

- 1) 유방촬영 시 타깃-필터 조합에 따른 X선 스펙트럼 분석
본 실험에 앞서 타깃-필터 조합에 따른 X선 스펙트럼을

획득하기 위해 선정된 유방촬영 장치를 토대로 X선관을 설계하였다. 검사 방법은 식품의약품안전처에서 제시한 평균 유선선량 측정법인 상하 방향 촬영(Cranial-Caudal view)에서 시행하였다. 검사 조건은 유방 성형 환자에게 주로 사용되는 관전압 30 kVp, 관전류 50 mAs로 설정하였다[9].

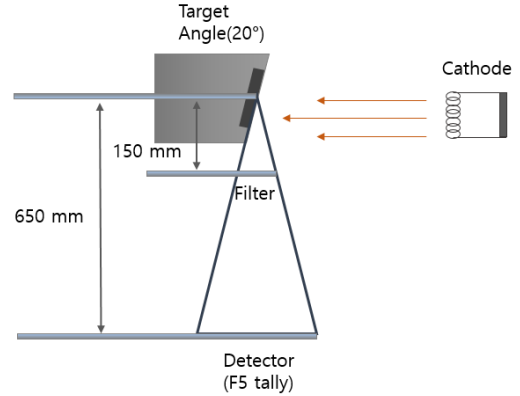


Fig. 2. Geometry of MCNPX simulation

타깃과 필터는 Table 1과 같이 몰리브데넘(molybdenum; Mo), 로듐(rhodium; Rh), 텅스텐(tungsten; W)을 조합하였다. 필터의 두께는 타깃에 따라 Mo/Mo(filter 30 μm), Mo/Rh(filter 25 μm), Rh/Rh(filter 25 μm), W/Rh(filter 50 μm)로 설정하였다[10]. X선 스펙트럼은 Tally specification card 중 검출기 내 단위 면적당 입사된 광자 플루언스를 획득하기 위해 F5 tally를 이용하였다. 획득된 에너지 스펙트럼은 IPEM에서 개발된 SRS-78 프로그램과의 비교 및 분석을 통해 신뢰성을 평가하였다.

2) 유방촬영 시 보형물 유·무에 따른 선량 평가

유방촬영 시 타깃-필터 조합별 보형물 유·무에 따른 유선선량 및 장기선량을 평가하고자 선원의 위치는 유방으로부터 높이 65 cm(SID 65 cm) 지점으로 설정하였다. 관심 장기는 좌·우측 유방(breast), 눈(eye), 갑상샘(thyroid), 좌·우측 폐(lung), 심벽(heart wall)으로 지정하였다. Tally specification card는 F6 tally로 지정하여 장기의 단위 질량당 흡수된 에너지(MeV/g)를 획득하여 흡수선량(mGy) 단

Table 1. Composition of target and filter types of mammography device

Symbol	Element	Atomic number	Density (g/cm ³)
Mo	Molybdenum	42	10.22
Rh	Rhodium	45	12.41
W	Tungsten	74	19.25

위로 환산하였다. 결과의 불확도(uncertainty)를 3% 이하로 줄이기 위해 실험의 반복 횟수(nps)는 5×10^8 번 수행하였다[11].

III. 결 과

1. 유방촬영 시 타깃-필터 조합에 따른 X선 에너지 스펙트럼 분포

몬테칼로 전산모사와 SRS 78의 정규화(Normalization)를 통해 X선 스펙트럼을 비교한 결과는 Table 2와 같다. 30 kVp 관전압에서 타깃-필터에 따른 특성 X선 에너지 영역은 두 프로그램에서 상대오차 3% 이내로 유사한 경향성을 보였다.

2. 유방촬영 시 보형물 유·무에 따른 인체 장기선량 평가

1) 유방촬영 시 타깃-필터 조합에 따른 인체 장기선량

타깃-필터 조합별 유선선량 및 장기선량을 비교한 결과, 보형물 유·무에 관계없이 모든 장기에서 W/Rh 조합이 가장 높은 흡수선량 분포를 나타내었으며, Rh/Rh, Mo/Rh, Mo/Mo 조합의 순으로 점차 낮아지는 결과를 보였다(Table 3, 4).

2) 좌측 유방촬영 시 타깃-필터 조합별 보형물 유·무에 따른 인체 장기선량

좌측 유방촬영 시 유방 내 보형물 삽입 유·무에 따른 인체 장기선량 결과는 Table 3과 같으며, 좌측(검사 측) 유선선량은 2.67~5.37 mGy로 X선 타깃-필터 조합에 따라 다른 흡수선량 분포를 보였다. 보형물이 삽입된 유방의 경우 보형물이 없는 유방 대비 18.4~18.8% 정도 낮은 선량 분포를 보였다.

우측(검사 반대 측) 유선선량의 경우, 0.77~1.69 mGy로 좌측(검사 측) 유선선량 대비 28.9~31.5%의 흡수선량 분포를 보였으며, 보형물 삽입 유방의 경우 보형물이 없는 유방에 비해 3.9~5.9% 정도 낮은 선량 분포를 나타냈다.

주변 장기에 대한 흡수선량은 눈에서 1.12~2.70 mGy로 검사 측 유선선량 대비 42.0~50.3%로 가장 높았으며 좌측 폐, 갑상샘, 심장, 우측 폐 순으로 흡수선량이 낮았다.

3) 우측 유방촬영 시 타깃-필터 조합별 보형물 유·무에 따른 인체 장기선량

우측 유방촬영 시 유방 내 보형물 삽입 유·무에 따른 인체 장기선량을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 우측(검사 측) 유선선량은 2.67~5.38 mGy로 X선 타깃-필터 조합에 따라 다른 흡수선량 분포를 보였다. 보형물이 삽입된 유방의 경우 보형물이 없는 유방 대비 9.4~12.3% 정도 낮은 선량

Table 2. Comparison of Energy spectrum of MCNPX and SRS 78 by Target-Filter combination (unit : keV)

Target - Filter	Mean energy		Characteristic X-ray	
	MCNPX	SRS-78	MCNPX	SRS-78
Mo/Mo	10.55	10.03	17.7, 19.7	17.5, 19.5
Mo/Rh	12.93	12.68	17.7, 19.7	17.5, 19.5
Rh/Rh	13.30	12.87	20.7, 23.1	20.0, 22.5
W/Rh	10.00	11.20	continuous	8.50, 9.50, 11.5

Table 3. Distribution of peripheral organ dose of screening left mammography (unit : mGy)

Organ	30 kV Mo/Mo		30 kV Mo/Rh		30 kV Rh/Rh		30 kV W/Rh	
	non	implant	non	implant	non	implant	non	implant
Lt, Breast	2.67E+00	2.17E+00	2.82E+00	2.30E+00	3.14E+00	2.55E+00	5.37E+00	4.37E+00
Rt, Breast	7.71E-01	7.41E-01	8.32E-01	7.97E-01	9.75E-01	9.23E-01	1.69E+00	1.59E+00
Lt, Lung	5.63E-02	5.59E-02	7.28E-02	7.19E-02	1.28E-01	1.28E-01	2.21E-01	2.18E-01
Rt, Lung	7.15E-04	5.93E-04	8.58E-04	6.76E-04	1.65E-03	1.29E-03	2.92E-03	2.26E-03
Heart wall	1.17E-03	2.20E-03	1.41E-03	2.97E-03	2.34E-03	4.55E-03	4.14E-03	8.09E-03
Thyroid	7.71E-03	7.62E-03	8.88E-03	8.45E-03	1.71E-02	1.70E-02	3.08E-02	2.91E-02
Eye	1.12E+00	1.14E+00	1.26E+00	1.27E+00	1.55E+00	1.55E+00	2.70E+00	2.72E+00

Table 4. Distribution of peripheral organ dose of screening right mammography

(unit : mGy)

Organ	30 kV Mo/Mo		30 kV Mo/Rh		30 kV Rh/Rh		30 kV W/Rh	
	non	implant	non	implant	non	implant	non	implant
Lt, Breast	7.71E-01	6.84E-01	8.36E-01	7.41E-01	9.84E-01	8.72E-04	1.69E-00	1.51E-00
Rt, Breast	2.67E-00	2.42E-00	2.82E-00	2.53E-00	3.14E-00	2.76E-00	5.38E-00	4.72E-00
Lt, Lung	6.71E-04	7.88E-04	8.19E-04	8.79E-04	1.46E-03	1.61E-03	2.71E-03	2.81E-03
Rt, Lung	4.94E-02	4.89E-02	6.37E-02	6.32E-02	1.13E-01	1.12E-01	1.92E-01	1.89E-01
Heart wall	9.18E-04	2.12E-03	1.22E-03	2.65E-03	1.81E-03	4.47E-03	3.14E-03	7.71E-03
Thyroid	8.66E-03	8.23E-03	1.04E-02	1.03E-02	1.88E-02	1.87E-02	2.84E-02	2.84E-02
Eye	1.10E-00	1.10E-00	1.23E-00	1.23E-00	1.55E-00	1.55E-00	2.66E-00	2.66E-00

분포를 보였다.

좌측(검사 반대 측) 유선선량의 경우, 0.77~1.69 mGy로 검사 측 유선선량 대비 28.9~31.4%의 흡수선량 분포를 보였으며, 보형물 삽입 유방의 경우 보형물이 없는 유방에 비해 10.7~11.4% 정도 낮은 선량분포를 나타냈다.

주변 장기에 대한 흡수선량은 눈에서 1.10~2.66 mGy로 우측 유선선량 대비 41.2~49.4%로 가장 높은 선량분포를 나타내었으며, 우측 폐, 갑상선, 심장, 좌측 폐 순으로 흡수선량이 낮았다.

IV. 고 찰

최근 여성의 유방암 발생 빈도가 증가함에 따라 유방암 조기 발견을 위한 선별 검사인 유방촬영 또한 증가되고 있다[12]. 유방촬영은 저선량이지만 방사선에 민감한 유선 조직 및 주변 장기의 피폭으로 인한 확률적 장해를 동반할 수 있으므로 검사 시 환자의 방사선량 최적화의 중요성이 대두된다.[13].

이에 본 연구는 몬테칼로 전사모사를 통해 유방촬영 시 보형물 삽입 유·무에 따른 유선선량과 주변 장기에 대한 선량 평가를 수행하였다.

동일한 관전압(30 kVp) 조건에서 타깃-필터 조합에 따른 선량을 비교한 결과 Mo/Mo 조합에서 가장 낮은 선량을 보였으며, Mo/Rh, Rh/Rh, W/Rh 순으로 높아졌다. 이는 이진수 등[10], 김도형 등[11]의 연구 결과와 상응하며 타깃과 필터의 원자번호 증가에 비례하여 평균 에너지와 실효 에너지가 상승한 것으로 추론된다.

또한, 식품의약품안전처에서[6] 권고하는 평균 유선선량인 3 mGy와 비교하면 Rh/Rh, W/Rh 조합의 경우 초과된 선량 분포를 나타내었다. 보형물 유·무에 따른 선량은 보형물 삽입 유방이 더 낮은 선량 분포를 보였으나 유방 성형 환

자의 경우, 보형물 분리 검사의 추가 촬영으로 인해 더 높은 선량에 노출될 수 있으므로 의료기관별로 기준 선량 이하로 유지하기 위한 검사 조건 마련이 필요할 것으로 사료된다.

주변 장기선량은 보형물 유·무에 관계없이 검사 측 유방을 제외하고, 눈에서 검사 측 유방의 최대 50.3%로 가장 높았으며, 검사 반대 측 유방, 검사 측 폐, 갑상샘, 심장, 검사 반대 측 폐 순으로 낮아졌다. 이는 유방촬영장치에서 발생된 1차선과 2차 산란선에 의한 영향으로 분석되며, 검사 시 유방과 눈의 수정체는 인체 중 방사선에 민감하므로 추가적인 방호 수단이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 모의 피폭체 내 유방 압박 두께에 대한 선량 평가는 고려되지 않았으나 보수적인 선량 자료로서 활용될 수 있을 것이라 생각된다. 향후 본 연구를 토대로 유방 압박에 대한 선량 평가를 추가한다면, 보다 더 정량적인 자료를 산출할 것으로 판단된다.

V. 결 론

유방촬영 시 유선선량을 감소시키기 위해서는 유방촬영 장치 내 Mo/Mo, Mo/Rh 조합이 유리한 것으로 나타났다. 하지만, 선량 측면만 고려하면 영상의 화질 저하가 우려되므로 각 의료기관별로 선량 모니터링을 통해 적절한 타깃-필터 조합의 사용이 권고되어야 할 것이다. 또한, 유방 성형 수술을 시행한 환자의 유방과 주변 장기선량은 일반 환자보다 낮게 평가되었으나, 유방 성형 환자의 경우 추가 촬영으로 인해 결론적으로 더 높은 피폭선량에 노출될 수 있다. 추후 유방촬영 시 유선선량 감소를 위한 적극적인 방호 수단이 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] National Cancer Center. National Cancer Registry Statistics; 2015.
- [2] Lee JW. Body image, sexual life and sexual women after mastectomy [master's thesis]. Perth: University of HanYang; 2012.
- [3] Hong GH. Study on average glandular dose measured using mammo phantom(CIRS model 15) on mammography equipment [master's thesis]. Perth: University of Korea; 2011.
- [4] Lee DY, Lee JS. Evaluation of the space scattered dose according to the position of the radiation workers in mammography room. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(3):297-303.
- [5] Hong DH. Evaluation of usefulness of image by using new compression paddle for mamoplasty patient during mammography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2015;38(3):229-35.
- [6] Ministry of Food and Drug Safety. Guidelines for patient dose recommendation, in mammography. *Radiation Safety Management Series*. 16:1-26.
- [7] Salehi Z, Balvasi E, Aziz M. A review of the recent Monte Carlo (MC) simulation for dosimetry in mammographic applications. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*. 2018;14:76-81.
- [8] Sari F, Mahdavi SR, Anbiaee R, Shirazi A. The effect of breast reconstruction prosthesis on photon dose distribution in breast cancer radiotherapy. *Iranian Journal of Medical Physics*. 2017;14(4):251-6.
- [9] Cho JH, Lee HY, Im IC. Monitoring on dose index analyzed in the mammography. *Journal of the Korean Society of Radiology*. 2016;10(7):477-82.
- [10] Lee JS, Ko SJ. Image quality and dose evaluation using monte carlo simulation digital mammography system. *The Korean Contents Association*. 2013;14(6):1-8.
- [11] Kim DH. Analysis of the image quality by tube voltage of digital mammography [master's thesis]. Perth: University of Busan Catholic; 2014.
- [12] Sin GS. Patient dose in mammography. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2005;28(4):293-9.
- [13] Yang HJ. The study of aluminum face block fabrication for reducing exposure dose of thyroid glands and crystalline lens in mammography and its usefulness [master's thesis]. Perth: University of Korea; 2011.
- [14] Carton AK, Bakic P, Ullberg C, Derand H, Andrew DA. Development of physical 3D anthropomorphic breast phantom. *Medical Physics*. 2011;38(2):891-6.
- [15] Massound E, Nassef MH. Dose reduction during breast screening using monte carlo calculation. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*. 2017;50(1):232-8.
- [16] Jung HR, Hong DH, Han BH. Testing and analysis of tube voltage and tube current in the radiation generator for mammography. *Journal of Radiological Science and Technology*; 2014;37(1):1-6.

구분	성명	소속	직위
제1저자	김지수	부산가톨릭대학교	대학원생(석사)
공동저자	조용인	동남권원자력의학원	방사선사
교신저자	김정훈	부산가톨릭대학교	교수