Journal of Radiation Industry 15(3) : 191~198(2021) https://doi.org/10.23042/radin.2021.15.3.191

국내 유방촬영 방사선량 평가 및 국내·외 진단참고수준 조사 분석

남형우[1] · 허재빈[1] · 이민영[1] · 라현준[1] · 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Evaluation of Radiation Dose for Mammography and Analysis of National Diagnostic Reference Levels

Hyeung Woo Nam[1], Jae Bin Heo[1], Min Young Lee[1], Hyun Jun Na[1] and Kwang Pyo Kim[1,*]

[1]*Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoungdae-ro, Giheoung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Republic of Korea*

Abstract - Mammography is an important medical tool used to diagnose breast cancer. The usage of mammography is continuously increasing due to the development of the medical industry in Korea. The glandular tissue which is sensitive to radiation is exposed during mammography, so it is necessary to manage the patient dose for mammography. Therefore, the objective of this study is to evaluate the radiation dose for mammography and to investigate and analyze domestic and foreign diagnostic reference levels. In this study, radiation dose assessment methodology based on Monte-Carlo was established for the evaluation of patient radiation dose by mammography. The studies on the diagnostic reference level of countries and associations such as the United States, Australia, Spain, Ireland, Bulgaria, and Slovenia were investigated. In Korea, the studies on the mammography diagnostic reference level conducted by the Ministry of Food and Drug Safety (MFDS) and the Korea Centers for Disease Control and Prevention (KCDC) were investigated. As a result of evaluating the mean glandular dose and effective dose by mammography using the MCNP program, the mean glandular dose and effective dose for the compression breast thickness range of 4~5 cm which is largest number of patients in Korea were 1.36 mGy, 0.163 mSv and 1.34 mGy, 0.161 mSv for CC and MLO. In a study conducted by the KCDC in 2018, the mammography diagnostic reference level for phantom and patient was established. The diagnostic reference level for phantom was 1.59 mGy, which was 14% and 18% higher than Korea in 2007 and Australia, and 26%, 45%, 7% lower than US, Bulgaria, and Slovenia. The diagnostic reference level for patient was 1.97 and 1.98 mGy in the CC and MLO, similar to Spain and higher than other countries and associations. The result of patient radiation dose evaluation for mammography and domestic and foreign diagnostic reference level analysis conducted in this study can be used as basic data for reducing patient dose by mammography in Korea.

Key words : Mammography, DRL, Radiation dosimetry, Mean glandular dose, Effective dose

* Corresponding author: Kwang Pyo Kim, Tel. +82-31-201-2560, Fax. +82-31-273-3592, E-mail. kpkim@khu.ac.kr

서 론

유방촬영은 유방조직에 대한 엑스선 검사로 유방내부 조직의 양상을 확인할 수 있어 유방암의 조기진단을 목적으로 사용되는 의료수단이다. 유방촬영 검사 시 엑스선 조사범위 내에 포함되는 유선 조직은 전리방사선에 민감하기 때문에 높은 암 발생 위험도를 가지고 있다(Karlsson *et al*. 1976). 국내 유방촬영 사용량은 2019년 기준 약 1,990만 건으로 나타났으며, 이는 2016년도 1,870만 건에 비해 약 6% 증가한 수치이다. 유방촬영 사용량은 연 평균 2.0%씩 증가하고 있는 것으로 나타났다(질병관리본부 2020). 유방촬영 사용량이 증가함에 따라 유방촬영에 의한 환자의 피폭방사선량이 증가하고 있어 국민보건 관점에서 환자선량 관리의 필요성이 요구되고 있다. 유방촬영 검사는 방사선 피폭을 수반하지만, 유방암의 조기진단에 따라 사망률을 30%까지 감소시키는 이득을 가져올 수 있다(Tabar *et al*. 2011). 이와 같이 진단방사선 검사에 대한 기본 원칙은 검사로 인한 의료상 이득은 최대화하며, 환자 피폭방사선량은 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지하는 것이다(IAEA 1996; ICRP 2017).

국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)에서는 1996년 발간된 간행물 73을 통해 진단방사선 검사에 대한 품질 관리와 환자선량의 저감화 및 최적화를 위한 수단으로 진단참고수준을 도입하였다(ICRP 1996). 국제원자력기구(IAEA, International Atomic Energy Agency) 등에서도 각국의 의료 현황에 적합한 환자의 피폭방사선량 권고량인 진단참고수준을 확립하도록 권고하고 있다. 국내에서도 이를 반영하여 주기적으로 진단참고수준 설정에 관한 연구를 수행하고 있다. 유방촬영 검사의 사용량이 매년 증가하고 있는 상황에서 유방촬영에 대한 환자선량 관리 현황 및 환자의 피폭방사선량 수준을 파악하는 것이 중요하다.

본 연구의 목표는 유방촬영 시 발생하는 환자의 방사선량을 평가하고, 국내·외 유방촬영 진단참고수준을 조사 분석하는 것이다. 유방촬영 시 환자의 특성에 따라 유방의 크기, 지방 및 유선 조직 비율 등이 상이하기 때문에 압박유방두께에 차이가 발생한다. 압박유방두께가 두꺼울수록 일정한 영상 품질을 획득하기 위하여 검사 시 더 높은 검사조건이 사용되기 때문에 환자의 특성에 따라 피폭방사선량이 상이하게 나타난다. 따라서 유방촬영 시 환자 피폭방사선량 수준을 적절하게 파악하기 위해서는 환자의 특성을 반영한 환자 방사선량 평가가 필수적이다. 본 연구에서는 몬테카를로 방법론을 이용한 환자 특성별 방사선량 평가 방법론을 개발하였다. 그리고 MCNP 프로그램을 이용하여 환자의 평균 유선선량 및 유효선량을 평가하였다. 국내·외 유방촬영 진단참고수준을 분석하기 위하여 유방촬영 검사에 대한 진단참고수준 설정 방법론을 조사하였다. 그리고 해외 국가 및 연합에서 수행된 유방촬영 진단참고수준 설정 연구를 조사하였고, 이를 국내 진단참고수준과 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 몬테카를로 방법론을 이용한 유방촬영 시 환자 방사선량 평가 방법론

본 연구에서는 몬테카를로 기반의 전산코드인 MCNP 프로그램을 이용하여 유방촬영 시 환자의 방사선량을 평가하였다. 이를 위해 MCNP 프로그램 내 유방 팬텀을 모사하였으며, 환자 특성별 유방촬영 피폭선량 평가 방법론을 구축하였다. 환자 피폭선량 평가 시 검사조건의 경우 2018년 수행된 질병관리본부의 진단참고수준 설정 연구에서 조사된 검사조건을 이용하였다. Table 1에 환자 피폭선량 평가 시 고려한 유방촬영 검사종류별 검사조건을 나타내었다.

Table 1. Technical settings for evaluation of patient radiation dose

Examination	Compressed breast thickness (cm)	ESD (mGy)	kVp
Cranio-Caudal (CC)	1∼2	2.28	25
	2∼3	3.76	26
	3∼4	5.80	27
	4∼5	7.65	29
	5∼6	7.23	29
	6∼7	8.57	31
	7∼8	7.52	31
Mediolateral Oblique (MLO)	1∼2	2.91	25
	2∼3	3.99	26
	3∼4	6.21	27
	4∼5	7.24	29
	5∼6	8.00	29
	6∼7	8.84	31
	7∼8	7.95	31

1.1. 유방 팬텀 모사

유방촬영은 유방을 압박한 상태에서 유방 부위에만 엑스선을 조사하기 때문에 유방 이외의 다른 조직 및 장기의 선량은 무시할 수 있는 수준이다(Ko *et al*. 2004). 이러한 이유로 전산코드를 이용한 유방촬영 환자 피폭상황 모사 시 일반적으로 지방 및 유선 조직으로 구성된 압박 유방만을 모사하여 평균 유선선량을 평가한다. Dance의 연구에서는 지방 및 유선 조직이 균질하게 혼합되어 있는 반원기둥 형태의 유방 팬텀을 모사하였다(Dance 1990). 본 연구에서는 Dance의 연구를 참고하여 중심부분에 지방 및 유선 조직이 균질하게 혼합되어 있고, 반지름 8 cm인 반원기둥 형태의 유방 팬텀을 모사하였다. 유방 팬텀 표면에는 0.5 cm의 지방층이 둘러싸인 형태로 모사하였다. Fig. 1에 본 연구에서 MCNP 내 모사한 유방 팬텀을 나타내었다.

1.2. 환자 특성별 유방촬영 피폭선량 평가 방법론 구축

유방촬영 검사 시 피폭되는 장기는 유방에 한정되어 있기

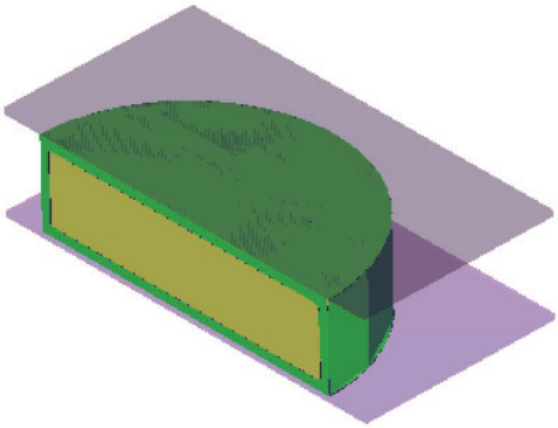

Fig. 1. Breast phantom simulated in MCNP.

때문에 유방촬영에 의한 유효선량은 평균 유선선량에 방사선 가중치를 고려한 후 유방의 조직가중치를 고려하여 계산할 수 있다. 본 연구에서는 앞서 모사한 유방 팬텀과 MCNP 프로그램의 단위질량당 축적된 에너지를 계산할 수 있는 *F6 tally를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였고, ICRP 103에서 제시하는 유방 조직가중치인 0.12를 고려하여 유효선량을 계산하였다. 유방촬영 시 일정한 영상 품질을 획득하기 위해서 압박대에 일정한 힘을 가하여 압박유방두께를 조절한다. 환자의 특성에 따라 유방의 크기, 유선 비율 등이 상이하기 때문에 압박유방두께에 차이가 발생한다. 유방촬영 검사 시 같은 방사선량이 조사된다면 일반적으로 환자의 크기가 작고, 압박유방두께가 얇을수록 높은 평균 유선선량을 나타낸다. 이와 같이 동일한 방사선발생장치, 검사조건을 사용하더라도 압박유방두께에 따라 평균 유선선량이 상이하게 나타나기 때문에 환자선량 평가를 위해서는 환자 특성을 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 유방촬영에 대한 환자선량 평가 시 지방 및 유선 조직 비율을 각각 50%로 설정하였고, 압박유방두께의 경우 기존 국내 연구를 통해 검사조건이 수집된 1.5~7.5 cm 범위의 압박유방두께를 1 cm 간격으로 구분하여 선량평가를 수행하였다.

2. 유방촬영 시 진단참고수준 설정 방법론

진단참고수준은 진단방사선 검사 과정에서 일상적인 목적으로 사용되는 환자선량이 비정상적으로 높은지를 확인하기 위해 사용되는 지표이다. 진단참고수준은 일반적으로 환자선량 분포의 3사분위수로 설정되며, 경우에 따라 3사분위수가 아닌 적절한 값을 채택하여 설정될 수도 있다. 진단참고수준 설정은 국가, 국가 내 특정지역 등 대규모 수준의 방사선량 측정과 조사를 바탕으로 이루어진다. 진단참고수준은 일회성 조사를 통해 영구적으로 고정되는 값이 아니며, 주기적인 측정과 조사를 통하여 그 값을 갱신할 필요가 있다.

진단참고수준 설정을 위하여 다양한 방사선량 단위 혹은 이와 관련된 양이 사용된다. 진단참고수준은 일반적으로 공기중의 흡수선량이나 팬텀 또는 환자 표면의 조직 등가 물질의 흡수선량으로 설정된다. 유방촬영 검사에 대한 방사선량 측정 목적으로 사용되는 방사선량 종류는 공기커마, 입사면선량(ESD, Entrance Surface Dose), 유방에 전달된 총 에너지, 유선 조직의 평균 흡수선량 등이 있다. 유선 조직은 전리방사선에 민감하고, 암 발생 위험도가 높기 때문에 유선 조직에 대한 평균 흡수선량을 평가하는 것이 가장 유용한 것으로 나타났다(Karlsson *et al*. 1976). 따라서 유방촬영 시 환자선량 관리를 위한 방사선량으로 국제방사선방호위원회, 미국방사선방호위원회(NCRP, National Council on Radiation Protection and Measurements), 유럽집행위원회(EC, European Commission), 국제원자력기구 등 많은 국가 및 기관에서 평균 유선선량(MGD, Mean Glandular Dose)을 사용하도록 권고하고 있다(NCRP 1986; ICRP 1987; EC 1996; EC 2001; EC 2006; IAEA 2007).

평균 유선선량은 유방촬영 검사 도중 직접 측정할 수 없지만, 유방촬영 검사를 수행하는 환자의 유방 특성과 엑스선 스펙트럼을 고려하여 평가할 수 있다. 다양한 범위의 엑스선 스펙트럼, 압박유방두께, 유선 비율에 대한 환산인자를 이용하여 유방촬영 검사 시 발생하는 입사면선량을 평균 유선선량으로 환산할 수 있다(Dance 1990; Wu *et al*. 1991). Dance의 연구에서는 측정된 입사공기커마를 평균 유선선량으로 환산하기 위하여 g, c, s 환산인자를 제시하고 있다. g는 유선 조직 비율 50%인 유방에 대해 입사공기커마를 평균 유선선량으로 환산하는 인자이고, c와 s는 각각 유선 조직 비율과 엑스선 스펙트럼에 따른 평균 유선선량 차이를 환산해주는 인자이다. Wu 등의 연구에서는 측정된 입사피부조사선량을 평균 유선선량으로 환산하기 위하여 유선비율 0%, 50%, 100%에 대한 환산인자를 제시하고 있다. 유방촬영 진단참고수준 설정을 위한 방사선량 측정 및 평균 유선선량 추정을 위하여 국제원자력기구, 미국방사선학회(ACR, American College of Radiology), 유럽집행위원회 등에서 제시하고 있는 유방촬영에 관련된 품질 관리 프로토콜이 사용될 수 있다(ACR 1999).

3. 국내·외 유방촬영 진단참고수준 설정 연구 조사

본 연구에서는 국내·외 유방촬영에 대한 진단참고수준 비교 분석을 위하여 미국, 호주, 스페인, 아일랜드, 불가리아, 슬로베니아 등 국가 및 연합의 진단참고수준 설정 연구를 조사하였다. 국내의 경우 식품의약품안전청, 질병관리본부에서 수행된 유방촬영 진단참고수준 설정 연구를 조사하였다.

미국의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 2007년 Spelic 등에 의해 수행되었다(Spelic *et al*. 2007). 해당 연

구에서는 유선 50%, 지방 50% 구성의 4.2 cm ACR 표준 팬텀을 이용하여 입사면공기커마(ESAK, Entrance Surface Air Kerma)를 측정하였고, Wu 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

호주의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 2011년 Thiele 등에 의해 수행되었다(Tiele *et al*. 2011). 해당 연구에서는 팬텀을 이용하여 선량 조사를 수행하였다. 팬텀의 경우 미국과 마찬가지로 유선 50%, 지방 50% 구성의 4.2 cm ACR 팬텀을 이용하였고, Wu 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

스페인의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 2005년 Moran 등에 의해 수행되었다(Moran *et al*. 2005). 해당 연구에서는 5,034명의 환자 검사 정보를 이용하여 선량 조사를 수행하였다. 방사선량 관련 정보는 환자 나이, 압박유방두께, 관전압, 관전류량, 타겟/필터 조합 등의 정보가 포함된 DICOM 파일을 기반으로 수집하였다. 방사선량 관련 정보를 이용하여 입사면공기커마를 계산하였고, Dance 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

아일랜드의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 2012년 O'Leary 등에 의해 수행되었다(O'Leary *et al*. 2012). 해당 연구에서는 1,010명의 환자 검사 정보를 이용하여 선량 조사를 수행하였다. 환자의 압박유방두께, 유방 밀도, 영상 품질 등에 대한 정보를 수집하였고, 이를 기반으로 입사면공기커마를 계산하였다. 평균 유선선량 계산 시 Dance 등의 환산인자를 이용하였다.

불가리아의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 2011년 Avramova and Vassileva에 의해 수행되었다(Avramova and Vassileva 2011). 해당 연구에서는 유선 50%, 지방 50% 구성의 4.5 cm PMMA 표준 팬텀을 이용하여 입사공기커마를 측정하였고, Dance 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

슬로베니아의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 2008년 Zdesar에 의해 수행되었다(Zdesar 2008). 해당 연구에서는 불가리아와 마찬가지로 유선 50%, 지방 50% 구성의 4.5 cm PMMA 표준 팬텀을 이용하였으며, 측정된 입사면공기커마와 Dance 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

Geeraert 등은 2012년에 전 세계 지역을 대상으로 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구를 수행하였다(Geeraert *et al*. 2012). 해당 연구에서는 유방촬영 장치의 DICOM 파일을 이용하여 전 세계의 평균 유선선량을 조사하였다. 유럽, 북아메리카, 아시아-태평양 지역으로부터 147,487건의 유방촬영 검사 정보를 수집하였으며, Dance 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

국내의 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구는 식품의약품안전청, 질병관리본부에 의해 수행되었다(식품의약품안전청 2007; 질병관리본부 2018). 2007년 수행된 식품의약품안전청의 연구에서는 유선 50%, 지방 50% 구성의 4.5 cm CIRS 팬텀을 이용하였으며, Wu 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다. 2018년 수행된 질병관리본부의 연구에서는 진단참고수준 설정 시 팬텀을 이용하여 실측한 방사선량과 환자 검사 정보를 이용하여 수집한 선량 정보를 기반으로 팬텀 및 환자 각각에 대한 진단참고수준을 설정하였다. 팬텀의 경우 유선 50%, 지방 50% 구성의 4.2 cm ACR 팬텀을 이용하였으며, 환자 검사 정보의 경우 상하위방향(CC, Cranio-Caudal), 내외사방향(MLO, Mediolateral Oblique) 유방촬영 검사에 대한 선량정보를 수집하였다. 상하위방향촬영은 유방을 상하 방향으로 압박하여 전체 유방을 엑스선 조사범위 내 포함시키는 촬영 방법이며, 내외사방향촬영은 유방을 30~60° 방향으로 회전하여 촬영하는 방법이다. 해당 연구에서는 Wu 등의 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다.

결 과

본 연구에서는 유방촬영 시 환자 방사선량을 평가하였으며, 국내·외 설정된 유방촬영 진단참고수준을 조사 및 분석하였다. 몬테카를로 방법론 기반의 MCNP 프로그램을 이용하여 유방촬영 시 환자의 방사선량을 평가하였다. 국내·외 유방촬영 진단참고수준 비교 분석을 위하여 국외의 경우 미국, 호주, 스페인, 아일랜드, 불가리아, 슬로베니아 등 국가 및 연합의 진단참고수준 설정 연구를 조사하였다. 국내의 경우 식품의약품안전청, 질병관리본부에서 수행된 유방촬영 진단참고수준 설정 연구를 조사하였다. 국내 유방촬영 진단참고수준의 현황을 파악하기 위하여 국내를 포함한 각 국가 및 연합에서 조사된 평균 유선선량의 3사분위수를 비교하였다.

1. 유방촬영 시 환자 방사선량 평가 결과

Fig. 2와 Fig. 3에 본 연구에서 MCNP 프로그램을 이용하여 도출한 유방촬영 시 압박유방두께에 따른 평균 유선선량과 유효선량 평가 결과를 나타내었다. 유효선량 계산 시 도출된 평균 유선선량과 ICRP 103에서 제시하는 유방 조직가중치인 0.12를 고려하였다. 상하위방향 및 내외사방향 유방촬영 시 평균 유선선량 및 유효선량은 압박유방두께가 두꺼워질수록 일반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 압박유방두께가 두꺼워질수록 유방의 부피는 증가하지만, 유방 전체에 흡수되는 엑스선 비율은 감소하기 때문에 평균 유선선량 및 유효선량이 감소하는 것으로 판단된다(Lida 2016). 국내 환자수가 가장 많은 4~5 cm 범위의 압박유방두께에 대한 평균 유선선량 및 유효선량은 상하위방향 촬영 시 각각 1.36 mGy, 0.163

mSv로 나타났으며, 내외사방향 촬영 시 각각 1.34 mGy, 0.161 mSv로 나타났다.

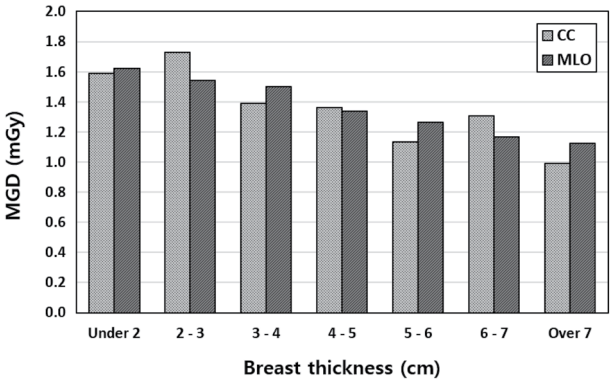

Fig. 2. Mean glandular doses by breast thickness for mammography.

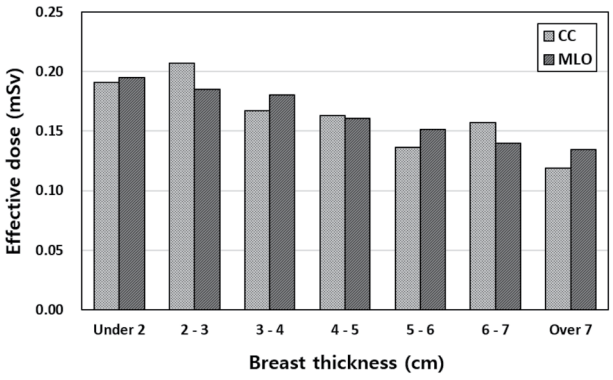

Fig. 3. Effective doses by breast thickness for mammography.

2. 국내·외 유방촬영 진단참고수준 조사 결과

국내·외 유방촬영 진단참고수준 설정 연구는 1) 팬텀을 이용한 방사선량 측정을 통해 진단참고수준을 설정한 경우, 2) 유방촬영 환자 검사 정보를 수집하여 진단참고수준을 설정한 경우로 구분된다. 국외의 국가 중 미국, 호주, 불가리아, 슬로베니아의 경우 팬텀을 이용하여 방사선량을 측정하였으며, 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다. 스페인, 아일랜드, 전 세계 지역의 경우 환자 검사 정보를 수집하여 방사선량을 추정하였고, 환산인자를 이용하여 평균 유선선량을 도출하였다. 국내의 경우 2007년 연구에서는 팬텀만을 이용하여 진단참고수준을 설정하였고, 2018년 연구에서는 팬텀과 환자 각각에 대한 진단참고수준을 설정하였다.

Table 2에 팬텀을 이용하여 설정된 국내·외 유방촬영 진단참고수준을 비교하여 나타내었다. 팬텀을 이용하여 진단참고수준을 설정한 경우 연구에서 사용한 팬텀의 종류에 따라 분류할 수 있다. 2018년 국내, 미국, 호주의 연구에서는 ACR 팬텀을 이용하였으며, 평균 유선선량에 대한 3사분위수는 각각 1.59, 2.0, 1.3 mGy로 나타났다. 호주의 평균 유선선량이 타 국가에 비해 비교적 낮은 이유는 스크린-필름 형식의 장치 사용이 적기 때문으로 판단된다. 디지털 형식의 장치는 검출 효율이 높아 스크린-필름 형식의 장치를 사용하는 것에 비해 낮은 선량이 나타난다(Gennaro and Maggio 2006). 불가리아, 슬로베니아의 연구에서는 PMMA 팬텀을 이용하였으며, 평균 유선선량에 대한 3사분위수는 각각 2.3, 1.7 mGy로 나타났다. 불가리아의 평균 유선선량이 타 국가에 비해 크게 나타났는데, Avramova and Vassileva는 유방촬영 검사에 대한 최적화되지 않은 장비 설정과 부족한 품질 검사 수준을 높은 선량

Table 2. Comparison of mammography DRLs by country based on phantom measurement

Country	Measurement methods/ Conversion factor	Phantom (thickness/mammary gland)	75th percentile of MGD (mGy)
Korea (2018)	ACR/Wu *et al*.	ACR PMMA (4.2 cm/50%)	1.59
Korea (2007)	ACR/Wu *et al*.	CIRS phantom (4.5 cm/50%)	1.36
US	ACR/Wu *et al*.	ACR PMMA (4.2 cm/50%)	Total: 2.0 DR: 1.92 SFM: 2.04
Australia	ACR/Wu *et al*.	ACR PMMA (4.2 cm/50%)	Total: 1.30 DR: 1.10 CR: 1.36
Bulgaria	IAEA/Dance *et al*.	PMMA (4.5 cm/50%)	2.3
Slovenia	EP/Dance *et al*.	PMMA (4.5 cm/50%)	1.7

ACR: American College of Radiology, CR: Computed Radiography, DR: Digital Radiography, EP: European Protocol, SFM: Screen-Film Mammography

Table 3. Comparison of mammography DRLs by country based on patient measurement

Country	Measurement methods/ Conversion factor	Patient compressed breast thickness	75th percentile of MGD (mGy)
Korea (2018)	ACR/Wu *et al*.	CC: 4.4 cm MLO: 4.7 cm	Patient (CC): 1.97 Patient (MLO): 1.98
Spain	EP/Dance *et al*.	Total: 5.2 cm CC: 4.9 cm MLO: 5.4 cm	Total: 2.1 CC: 2.0 MLO: 2.1
Ireland	EP/Dance *et al*.	DR: 5.47 cm SFM: 5.23 cm 4.5~5.5 cm 5.5~6.5 cm	DR: 1.5 SFM: 3.17 Total: 1.2 DR: 1.2 SFM: 2.55 Total: 2.47 DR: 1.5 SFM: 3.41
Worldwide	N.A/Dance *et al*.	–	Europe: 1.6 North America: 1.6 Asia-Pacific: 1.7

ACR: American College of Radiology, CC: Cranio-Caudal, DR: Digital Radiography, EP: European Protocol, MLO: Mediolateral Oblique, SFM: Screen-Film Mammography

발생원인으로 제시하였다. 2007년 국내의 연구에서는 CIRS-012 팬텀을 이용하였으며, 평균 유선선량에 대한 3사분위수는 1.36 mGy로 나타났다.

Table 3에 환자 검사 정보를 이용하여 설정된 국내·외 유방촬영 진단참고수준을 비교하여 나타내었다. 환자에 대하여 설정된 평균 유선선량 3사분위수의 범위는 1.2~2.47 mGy로 나타났다. 아일랜드의 연구에서는 유방촬영 장치의 디지털 형식과 스크린-필름 형식 각각에 대하여 평균 유선선량을 도출하였고, 환자 압박유방두께의 범위에 따라 평균 유선선량 3사분위수를 도출하였다. 스크린-필름 형식의 유방촬영 장치를 사용하였을 때 디지털 형식보다 평균 유선선량이 2배 이상 높게 나타났다. 2018년 국내와 스페인의 연구에서는 상하위방향, 내외사방향 각각에 대한 진단참고수준을 설정하였다. 상하위방향에 대한 진단참고수준은 각각 1.97, 2.0 mGy로 나타났으며, 내외사방향에 대한 진단참고수준은 각각 1.98, 2.1 mGy로 나타났다. 전 세계 지역을 대상으로 수행된 연구에서는 유럽, 북아메리카, 아시아-태평양의 선량 정보를 수집하였으며, 평균 유선선량의 3사분위수는 각각 1.6, 1.6, 1.7 mGy로 나타났다.

3. 국내·외 유방촬영 진단참고수준 비교 분석

질병관리본부에서 2018년에 수행한 연구의 팬텀을 이용하여 도출된 평균 유선선량 3사분위수는 2007년 국내와 호주보다 각각 14%, 18% 높게 나타났으며, 미국, 불가리아, 슬로베니아보다 각각 26%, 45%, 7% 낮은 것으로 나타났다. 호주의 경우 타 국가와 비교하여 평균 유선선량이 가장 낮게 나타났는데, 이는 스크린-필름 형식의 유방촬영 장치 사용이 적기 때문으로 판단된다. 불가리아의 경우 타 국가와 비교하여 평균 유선선량이 가장 높게 나타났는데, 이는 유방촬영 검사에 대한 최적화되지 않은 장비 설정과 부족한 품질 검사 수준이 원인으로 나타났다(Avramova and Vassileva 2011).

국내의 환자 검사 정보를 이용하여 도출된 상하위방향 및 내외사방향에 대한 진단참고수준은 스페인과 유사하게 나타났다. 아일랜드, 유럽, 북아메리카, 아시아-태평양의 국가 및 연합에서는 환자에 대한 평균 유선선량 3사분위수를 상하위방향과 내외사방향으로 구분하지 않기 때문에 2018년 국내의 유방촬영 종류별 설정된 진단참고수준을 평균하여 비교하였다. 아일랜드의 경우 환자의 압박유방두께를 4.5~5.5 cm, 5.5~6.5 cm의 범위로 구분하여 평균 유선선량 3사분위수를 제시하고 있다. 2018년 국내의 진단참고수준은 아일랜드의 압박유방두께 범위 4.5~5.5 cm의 평균 유선선량보다 39% 높게 나타났으며, 5.5~6.5 cm의 평균 유선선량보다 25% 낮게 나타났다. 2018년 국내의 진단참고수준과 유럽, 북아메리카, 아시아-태평양 지역의 진단참고수준과 비교하였을 때 각각 19%, 19%, 14% 높게 나타났다.

결 론

유방촬영 검사의 사용량은 매년 증가하는 추세이며, 이로 인해 유방촬영에 의한 피폭선량도 증가하고 있다. 진단방사선 검사에 의한 환자선량 관리를 위하여 여러 국가 및 연합에서는 의료현황을 반영하여 진단참고수준을 설정하고 있다. 본 연구에서는 유방촬영 시 실제 환자의 특성에 따른 피폭방사선

량 수준을 파악하기 위해 MCNP 프로그램을 이용하여 환자 특성별 방사선량을 평가하였다. 그리고 국내 유방촬영에 대한 환자선량 관리 현황을 파악하기 위해 국내·외 진단참고수준을 조사 분석하였다.

본 연구에서는 몬테카를로 기반의 전산모사 코드인 MCNP 프로그램을 이용하여 유방촬영 시 환자 방사선량을 평가하였다. 유방촬영 검사종류 및 압박유방두께별 평균 유선선량 및 유효선량은 일반적으로 압박유방두께가 두꺼워질수록 감소하는 것으로 나타났다. 국내 환자수가 가장 많은 압박유방두께 4~5 cm 범위에 대한 평균 유선선량 및 유효선량은 상하위방향 촬영 시 각각 1.36 mGy, 0.163 mSv로 나타났으며, 내외사방향 촬영 시 각각 1.34 mGy, 0.161 mSv로 나타났다.

국내·외 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구를 비교분석하기 위하여 국외의 경우 미국, 호주, 스페인, 아일랜드, 불가리아, 슬로베니아 등 국가 및 연합의 진단참고수준 설정 연구를 조사하였다. 국내의 경우 식품의약품안전청, 질병관리본부에서 수행된 유방촬영에 대한 진단참고수준 설정 연구를 조사하였다. 질병관리본부에서 2018년 수행된 연구에서는 팬텀을 이용하여 실측한 방사선량과 환자 검사 정보를 이용하여 수집한 선량 정보를 기반으로 팬텀 및 환자 각각에 대한 진단참고수준을 설정하였다. 팬텀을 이용하여 도출된 진단참고수준은 1.59 mGy로 나타났으며, 환자 검사 정보를 이용하여 도출된 진단참고수준은 상하위방향의 경우 1.97 mGy, 내외사방향의 경우 1.98 mGy로 나타났다.

질병관리본부에서 2018년에 수행된 연구의 팬텀을 이용하여 도출된 진단참고수준은 2007년 국내, 호주보다 각각 14%, 18% 높게 나타났으며, 미국, 불가리아, 슬로베니아보다 각각 26%, 45%, 7% 낮은 것으로 나타났다. 호주의 경우 스크린-필름 형식의 유방촬영 장치 사용이 적기 때문에 타 국가와 비교하여 가장 낮은 평균 유선선량이 나타났다. 불가리아의 경우 유방촬영 검사에 대한 장치 설정의 최적화와 품질 검사 수준이 부족하여 평균 유선선량이 상대적으로 높게 나타났다. 환자 검사 정보를 이용하여 도출된 국내 진단참고수준은 스페인의 평균 유선선량 3사분위수와 유사하게 나타났으며, 이외의 국가 및 연합보다 높게 나타났다.

유방촬영에 대한 환자선량 관리를 위해서는 국가적인 차원에서의 의료방사선 안전에 대한 활발한 활동과 연구가 수반되어야 한다. 따라서 향후에도 주기적인 환자의 피폭방사선량 조사 및 평가 등 국가적인 차원의 관리가 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 질병관리청 정책연구용역사업(과제번호: 2021 2201BB9)의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

식품의약품안전청. 2007. 유방촬영시 환자피폭선량 진단참고수준 확립.

질병관리본부. 2018. 환자 촬영종류별 진단참고수준 마련: 유방 및 일반촬영 12개 종류 추가.

질병관리본부. 2020. 의료방사선 이용에 따른 국민방사선량 평가 연구.

ACR. 1999. Mammography quality control manual. American College of Radiology.

Avramova-Cholakova S and Vassileva J. 2011. A survey of the state of mammography practice in Bulgaria. *Radiat. Prot. Dosim.* **147**:184.

Dance DR. 1980. The monte carlo calculation of integral radiation dose in xeromammography. *Phys. Med. Biol.* **25**:25-37.

EC. 1996. European protocol on dosimetry in mammography. Office for official publications of the European communities.

EC. 2001. European guidelines for quality assurance in mammography screening. Office for official publications of the European communities.

EC. 2006. European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis, 4th edn. Luxembourg office for official publications of the European Communities.

Geeraert N, Klausz R, Muller S, Bloch I and Bosmans H. 2012. Breast characteristics and dosimetric data in X-ray mammography a large sample worldwide survey. IAEA conference.

Gennaro G and Maggio C. 2006. Dose comparison between screen/film and full-field digital mammography. *Eur. Radiol.* **16**:2559-2566.

IAEA. 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series No. 115. Vienna.

IAEA. 2007. Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. International Atomic Energy Agency.

ICRP. 1987. Protection of the patient in nuclear medicine. ICRP Publication 52. Ann ICRP 17.

ICRP. 1996. Radiology protection and safety in medicine. ICRP Publication 73. Ann ICRP 26(2).

ICRP. 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1).

Karlsson M, Nygren K, Wickman G and Hettinger G. 1976. Absorbed dose in mammary radiography. *Acta. Radiol. Ther. Phys. Biol.* **15**(3):252-258.

Ko KO, Park SH and Lee JK. 2004. Assessment of patient close in mammography using monte carlo simulation. *J. Nuclear Sci. Technol.* **41**:215-218.

Morán P, Chevalier M, Ten JI, Fernandez JM and Vano E. 2005. A survey of patient dose and clinical factors in a full-field digital mammography system. *Radiat. Prot. Dosim.* **114**:375-

379.

NCRP. 1986. Mammography: A user's guide. NCRP Report No. 85.

O'Leary D and Rainford L. 2013. A comparison of mean glandular dose diagnostic reference levels within the all-digital Irish National Breast Screening Programme and the Irish Symptomatic Breast Services. *Radiat. Prot. Dosim.* **153**:300-308.

Spelic DC, Kaczmarek RV, Hilohi M and Belella S. 2007. United States radiological health activities: inspection result of mammography facilities. *Biomed. Imaging Interv. J.* **3**(2):e35.

Tabar L, Vitak B, Chen THH, Yen AMF, Cohen A, Tot T, Chiu SYH, Chen SLS, Fann JCY, Rosell J, Fohlin H, Smith RA and Duffy SW. 2011. Swedish two-county trial: impact of mammography screening on breast cancer mortality during 3 decades. *Radiology* **260**:658-663.

Thiele DL, Irvine M, Want D and Bernardo M. 2011. Diagnostic reference levels for mammography in BreastScreen Queensland. Australas *Phy. Eng. Sci. Med.* **34**:415-418.

Wu X, Barnes GT and Tucker DM. 1991. Spectral dependence of glandular tissue dose in screen-film mammography. *Radiology* **179**:143-148.

Zdesar U. 2008. Reference levels for image quality in mammography. *Radiat. Prot. Dosim.* **129**:170-172.

Received: 30 August 2021
Revised: 29 September 2021
Revision accepted: 30 September 2021