Journal of Radiological Science and Technology, 45(2), 103-109 ISSN 2384-1168(On-line) ISSN 2288-3509(Print)

<원저>

유방엑스선검사에서의 변형된 ACR 팬텀 제작을 통한 모조병소의 위치와 두께 변화에 따른 영상의 품질 평가

엄현자[1)]·박찬록[1,2)]

[1)]전주대학교 보건복지대학원 방사선학과·[2)]전주대학교 방사선학과

Evaluation of Image Quality according to Insert Position and Thickness Change by Fabricating Modified ACR Phantom in Mammography

Hyon-Ja Uhm[1)]·Chanrok Park[1,2)]

[1)]*Department of Radiological Science, Graduate School of Public Health and Social Welfare, Jeonju University*

[2)]*Department of Radiological Science, Jeonju University*

Abstract To maintain improved image quality in mammography, the quality control process is performed using the ACR (American college of radiology) phantom. In addition, many studied were performed by fabricating the customized breast phantom to provide more information in mammography. Thus, the purpose of this study was to evaluate the image quality by designing the modified ACR phantoms. The five modified acrlylic ACR phantoms were designed by considering insert position and phantom thickness. The phantoms were consisted of 4.5, 3.0, and 1.5 cm in terms of phantom thickness, and 3.0, 2.0, and 0.5 cm in terms of insert position, respectively. The acquired images were evaluated by PSNR (peak signal to noise ratio), RMSE (root mean square error), CC (correlation coefficient), CNR (contrast to noise ratio), and COV (coefficient of variation). Based on the similarity analysis, the result is suitable between conventional and new designed phantoms. In addition, the CNR and COV results in terms of insert position showed that image quality for 0.5 cm was 2.3 and 27.4% improved compared with 2 and 3 cm, respectively. According to phantom thickness results, the CNR result for 1.5 cm and COV result for 4.5 cm were 50.1 and 62.7% improved compared with that those conditions. In conclusion, we confirmed that the image quality depends on the breast size and thickness through modified ACR phantom study.

Key Words: ACR (american college of radiology) phantom, Breast cancer, Mammography, Quality control, Quantitative analysis

중심 단어: ACR 팬텀, 유방암, 유방엑스선검사, 정도관리, 정량적분석

Ⅰ. 서 론

2021년 12월 발표한 통계청 자료에 의하면 2019년 유방암은 우리나라 여성암 중 가장 많은 분포를 차지하고 있다. 유방암 건강검진은 무증상 여성에서의 조기 진단을 통해 유방암으로 인한 사망률 감소를 목적으로 우리나라에서는 1996년부터 국민복지를 위한 건강검진 사업으로 만 40세 이상의 여성을 대상으로 2년 주기로 엑스선 기반 유방엑스선검사 장치를 이용한 유방엑스선검사를 시행하고 있다[1,2]. 우리나라 여성의 약 64% 이상이 유방 건강검진에 참여하고 있고, 참여 성장세와 조기 진단율도 꾸준히 상승하고 있다[3,4].

또한, 꾸준히 증가하는 유방암의 진단에 있어 다양한 의료장치가 사용되고 있다. 초음파, 자기공명영상, 핵의학 검사 등 여러 비침습적인 의료기술을 통하여 유방암을 진단하고 있고, 그 중 유방엑스선검사는 유방암 진단에 있어 가장

Corresponding author: Chanrok Park, Department of Radiological Science, Jeonju University, 303, Cheonjam-ro, Wansan-gu, Jeonju, 55069, Republic of Korea / Tel: +82-64-220-2220 / E-mail: tigeaglepcr@jj.ac.kr
Received 22 February 2022; Revised 5 March 2022; Accepted 20 March 2022
Copyright ⓒ2022 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

기본적인 검사이며, 다양한 면에서 효과적인 진단이 가능한 검사 방법이다[5,6]. 이 등이 수행한 연구결과에 따르면 유방엑스선검사는 우리나라의 대부분의 여성이 가지고 있는 치밀유방에 있어서는 유방암 진단의 어려움이 있으나 유방초음파와 함께 시행할 경우 유방초음파만을 시행했을 때보다 진단의 위음성도를 18%에서 3%로 줄일 수 있어 유용한 검사라고 보고 하였다[7,8]. 이러한 시점에서 엑스선 기반 유방엑스선검사 영상의 우수한 품질 유지는 유방암의 조기 진단에 있어 매우 중요하다.

우리나라는 2009년 기준으로 경제협력개발기구 주요국가 중 가장 많은 유방엑스선검사 장치를 보유하고 있으나, 대부분 중·소병원, 의원급에서 점유하고 있다[9,10]. 유방엑스선검사 장치는 필름 스크린 방식에서 전산화방사선영상(Computed Radiography; CR), 디지털방사선영상 (Digital Radiography; DR)을 거쳐 영상 품질의 최적화가 가능한 최신의 Full DR 방식으로 지속적인 발전을 하고 있다. 하지만, 중·소·의원급 병원에서 Full DR 장비의 도입은 경제적, 효율적 측면에서 현실적인 한계점으로 작용하고 있기 때문에 노후화된 필름 스크린 방식의 장치를 기반으로 CR 및 DR 시스템 업그레이드 방식을 적용하고 있다. 따라서, 유방엑스선검사 영상의 우수한 품질을 유지하기 위하여 시행하는 시스템 정도관리의 중요성이 더욱 강조되고 있다[4]. 유방엑스선검사 장치의 정도관리는 ACR (American college of radiology) 팬텀을 대표적으로 이용하고 있다. PMMA (poly methl methacrylate) 물질을 기반으로 6개의 다른 크기의 섬유소 물질, 5개 그룹의 미세 석회화와 5개의 각각 지름이 다른 종양의 모조병소가 팬텀내에 삽입되어 있는 구조이며 적절한 관전압, 관전류를 설정함으로써 정도관리 영상의 질을 평가한다[11]. ACR 팬텀을 이용하여 유방엑스선검사 영상의 질을 평가한 연구가 활발히 진행되고 있다. Ślusarczyk-Kacprzyk 등에 연구에 따르면 DR 검출기 시스템 기반 유방 영상 품질이 CR 과 필름 스크린 기반 영상 화질 보다 우수함을 증명하기 위하여 정도관리 평가에 이용되는 ACR 팬텀내의 삽입된 모조병소 획득 영상을 분석한 연구결과를 발표하였다[12]. 송등은 full field 디지털 유방엑스선검사에서의 ACR 팬텀과 다른 형태의 유방 정도관리 팬텀의 유용성을 모조병소 획득영상의 질을 비교함으로 ACR 팬텀의 유용성을 증명하는 연구결과를 발표하였다[13]. 그러므로, ACR 팬텀은 유방엑스선검사 영상의 질과 유방 엑스선검사 시스템 평가에 유용하게 사용되고 있고, 특히 팬텀내에 삽입되어 있는 모조병소 획득 영상을 이용하여 다양한 영상 평가 및 분석을 수행하고 있다. 또한, 최근 유방엑스선검사 영상의 질 향상 및 평가를 위하여 유방 모형 및 팬텀을 직접 제작하여 분석하는 연구가 수행되고 있다. Rossman 등은 ACR 팬텀의 제한적인 구조를 개선하고자 3D 유방 팬텀을 직접 제작 후 영상 획득 및 평가를 수행함으로써 영상의 질적인 측면에서 다양한 연구자료를 제공하였다[14]. He 등은 다양한 의료기기에서 적용 및 영상 평가가 가능한 3D 프린팅 기술 기반 유방 팬텀을 제작하고, 팬텀 내의 변형된 모조병소를 삽입함으로써 기존의 평가방법보다 개선된 영상의 질을 평가하는 연구결과를 발표하였다[15].

최근 유방 엑스선검사 영상의 질 개선을 위하여 다양한 직접 제작한 팬텀을 기반으로 한 연구가 많이 수행되고 있는 시점에서, 김 등의 연구결과에 따르면 유방의 크기는 유방 밀도 분포에 영향이 있기 때문에 유방엑스선검사에 있어 영향이 있다고 보고하였다[16,17].

그러므로 본 연구에서는 유방엑스선검사에 있어서 병소의 위치와 유방크기에 따른 영상의 질을 팬텀을 직접 제작하여 평가해 보고자 한다. 제작된 팬텀은 ACR 팬텀 규격을 기반으로 모조병소가 다양한 위치에 삽입할 수 있도록 제작하였고, 팬텀크기 또한 다양하게 제작하였다.

II. 대상 및 방법

1. ACR 팬텀 모델링

ACR 팬텀의 규격을 기반으로 아크릴 소재를 이용하여 팬텀의 외부를 다양한 높이에 따라 제작하였다. 팬텀의 외부는 Fig. 1과 같이 모든 규격의 설정은 동일하며, 4.5, 3.0, 1.5 cm 높이를 변화하여 제작하였고, 4.5 cm의 팬텀은 표면으로부터의 위치 0.5, 2.0, 3.0 cm, 3 cm 팬텀은 표면으로부터의 위치 0.5 cm, 1.5 cm의 팬텀은 표면으로부터 0.3 cm 위치에 ACR 팬텀의 모조병소가 삽입가능하도록 다양하게 설계 및 제작하였다.

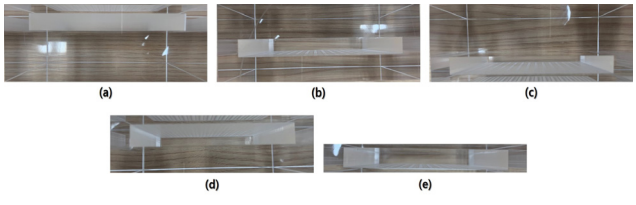

Fig. 1. The designed ACR breast phantoms with (a) 4.5 cm thickness form the 0.5 cm upper surface, (b) 4.5 cm thickness form the 2.0 cm upper surface, (c) 4.5 cm thickness form the 3.0 cm upper surface, (d) 3.0 cm thickness form the 0.5 cm upper surface, and (e) 1.5 cm thickness form the 0.3 cm upper surface.

2. 연구 재료 및 방법

본 연구를 위한 유방엑스선검사 장치는 타깃과 부가 필터 모두 몰리브덴 물질이 장착된 Alpha ST(GE, USA)를 사용하였다. 모든 엑스선검사 조건은 관전압 27 kVp와 관전류 80 mAs로 설정하였고, 기존 ACR 팬텀과 새롭게 제작된 ACR 팬텀을 사용하여 Fig. 2와 같이 영상을 획득하였다. 4.5 cm 두께의 팬텀을 이용하여 표면으로부터 높이 0.5, 2.0, 3.0 cm에 따른 영상을 각각 획득 하였고, 팬텀의 두께에 따른 영상평가를 위하여 4.5 cm 두께의 표면으로부터 위치 0.5 cm, 3 cm 두께의 표면으로부터 0.5 cm 위치, 1.5 cm 두께의 표면으로부터 위치 0.3 cm에 따른 영상을 각각 획득하였다. 또한, 2304 × 3072의 매트릭스 크기와, 76 μm 화소 크기를 유지하여 획득하였다.

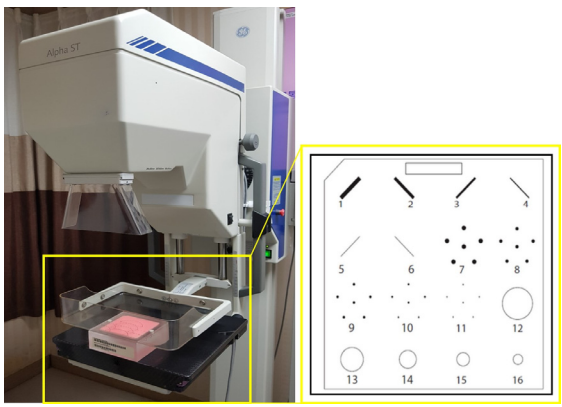

Fig. 2. Schematic diagram of structures in the mammography device and ACR phantom

3. 평가 방법

1) ACR phantom과 Acrylic phantom의 유사도 평가

기존 유방엑스선검사에 사용하고 있는 ACR 팬텀과 새롭게 설계한 ACR 팬텀의 유사도 평가를 위하여 RMSE (root mean square error), PSNR (peak signal to nosie ratio), CC (coefficient correlation)의 정량적 인자를 사용하여 평가하였고, 식은 아래와 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{M}(f_n - g_n)^2}{M}} \quad (1)$$

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{(S_{max-peak})^2}{(T)^2}\right) \quad (2)$$

$$CC = \frac{\sum_{n=1}^{M}(f_n - \hat{f})(g_n - \hat{g})}{\sqrt{(f_n - \hat{f})^2}\sqrt{(g_n - \hat{g})^2}} \quad (3)$$

f_n과 g_n은 각각 기존 ACR 팬텀과 아크릴 팬텀을 나타내고, M은 영상의 픽셀의 수를 의미한다. T는 RMSE, $S_{max-peak}$는 관심영역내 신호의 최대값이고, $\hat{f}$과 $\hat{g}$은 각각 기존 ACR 팬텀과 아크릴 팬텀의 평균 픽셀값을 의미한다. 결과적으로 RMSE는 0에 가까울수록, CC는 1에 가까울수록 유사도가 높다고 평가한다.

2) 정량적 분석

획득한 영상을 정량적으로 평가하기 위해 Fig.3과 같이 관심영역을 설정하여 아래의 식을 적용하여 CNR (contrast to noise ratio), COV (coefficient of variation)의 평가인자를 통해 비교 분석하였다[18].

$$CNR = \frac{|S_A - S_B|}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}} \quad (4)$$

$$COV = \frac{\sigma_A}{S_A} \quad (5)$$

S_A와 σ_A 관심영역 내의 평균값과 표준편차 값을 각각 의미하고, S_B 와 σ_B는 관심영역 내의 평균값과 표준편차 값을 각각 의미한다. CNR은 모조 병소의 가장 큰 크기의 종양을 기준으로 평가하였으며, COV는 4개의 관심영역을 설정하고 평균하여 비교 분석 하였다. 관심영역에 설정된 화소 크기는 50 × 50다.

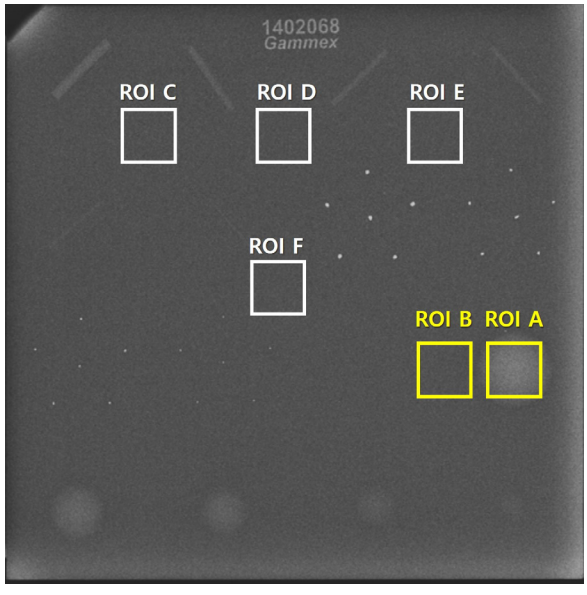

Fig. 3. The image drawn by region of interests to calculate contrast to noise ratio (ROI A and ROI B) and coefficient of variation (ROI C, D, E, and F)

3) 정성적 분석

정량적 분석과 함께 섬유소는 6개중 4개이상, 미세석회화 그룹은 5그룹중 3그룹 이상, 종괴판별을 위한 구조물 5개중 3개 이상 평가를 위하여 유방엑스선검사 전문 연구원 10명이 참여하여 정성적 평가를 수행하였다[19].

Ⅲ. 결 과

획득된 영상을 Fig. 4에 나타내었다. 기존 ACR 팬텀과 새롭게 제작된 팬텀의 유사도 평가를 Table 1에 나타냈다. 유사도 평가에서 RMSE는 0.04, PSNR은 75.8, CC 평가인자는 0.79의 결과를 나타내었다.

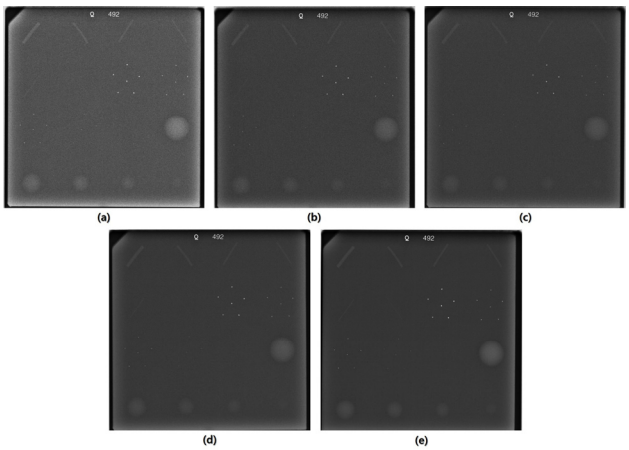

Fig. 4. The acquired images with a) 4.5 cm thickness form the 0.5 cm upper surface, (b) 4.5 cm thickness form the 2.0 cm upper surface, (c) 4.5 cm thickness form the 3.0 cm upper surface, (d) 3.0 cm thickness form the 0.5 cm upper surface, and (e) 1.5 cm thickness form the 0.3 cm upper surface.

Table 1. Similarity between ACR and acrylic phantoms, respectively

Projection condition	RMSE	PSNR	CC
27 kVp 80 mAs	0.04	75.8	0.79

Fig. 5는 4.5 cm 아크릴 팬텀을 이용하여 모조 병소의 위치에 따른 CNR 결과 값이다. 모조 병소의 위치가 윗면으로부터 0.5 cm일 때 3.11, 2 cm일 때 3.08, 3 cm일 때 3.00으로 나타났으며, 모조병소가 유방엑스선검사 타깃으로부터 거리가 증가할수록 CNR이 감소하는 것을 확인하였다.

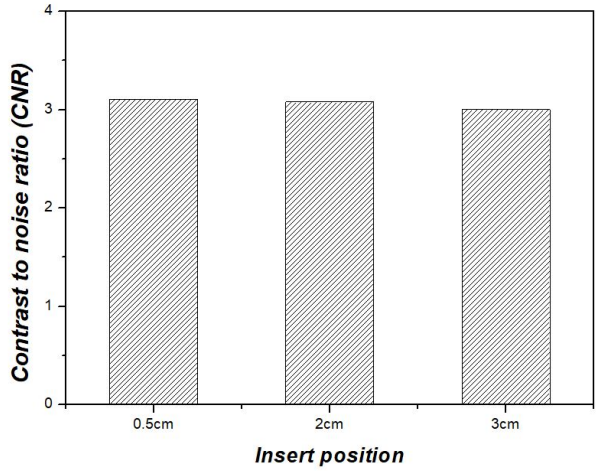

Fig. 5. Result of contrast to noise ratio (CNR) according to the location of the lesion structure in the 4.5 cm acrylic phantom

Fig. 6는 4.5 cm 아크릴팬텀을 이용한 모조 병소의 위치에 따른 COV 결과값이다. 모조 병소의 위치가 윗면으로부터 0.5 cm일 때 0.088, 2 cm일 때 0.068, 3 cm일 때 0.060으로 병변 구조물의 위치가 모조병소가 유방엑스선검사 타깃으로부터 거리가 증가할수록 COV가 감소하였다.

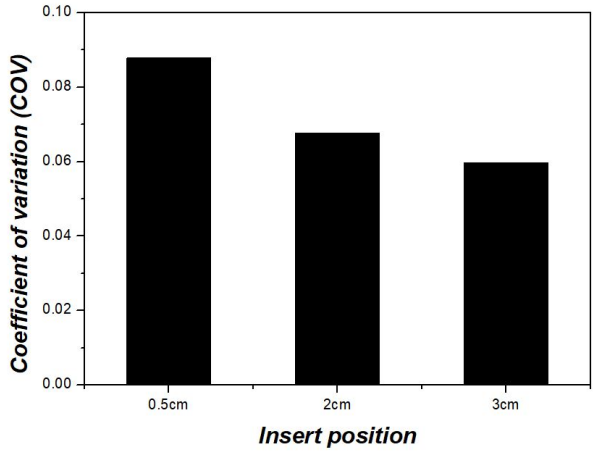

Fig. 6. Result of coefficient of variation (COV) according to the location of the lesion structure in the 4.5 cm acrylic phantom

Fig. 7은 아크릴 팬텀의 두께 차이에 따른 CNR 결과 값이다. 아크릴팬텀이 4.5 cm일 때 3.11, 3 cm일 때 5.75, 1.5 cm일 때 8.98로 팬텀의 두께가 얇아질수록 CNR이 증가하는 것을 확인하였다.

Fig. 8은 아크릴 팬텀의 두께 차이에 따른 COV 결과 값이다. 아크릴팬텀이 4.5 cm일 때 0.088, 3 cm일 때 0.037, 1.5 cm일 때 0.028로 팬텀의 두께가 얇아질수록 COV가 감소하는 것을 확인하였다.

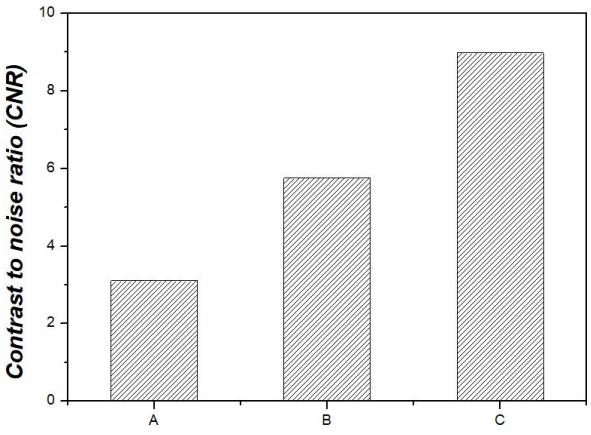

Fig. 7. Result of contrast to noise ratio (CNR) according to the thickness of the acrylic phantom (A: 4.5 cm thickness, B: 3 cm thickness, C: 1.5 cm thickness)

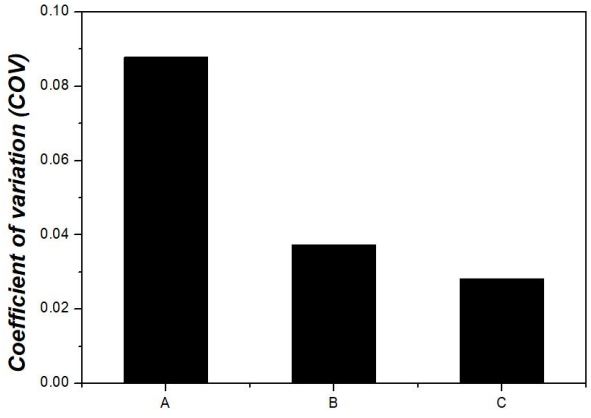

Fig. 8. Result of coefficient of variation (COV) according to the thickness of the acrylic phantom (A: 4.5 cm thickness, B: 3 cm thickness, C: 1.5 cm thickness)

또한, 연구원 10명이 참여한 모조병소 구별에 대한 정성적 평가에서는 4.5 cm 아크릴 팬텀 내에서 모조 병소의 위치 변화 시의 영상과 3.0 cm, 1.5 cm 팬텀 엑스선검사 영상 모두에서 섬유소, 미세석회화 그룹, 종괴가 기준 이상 영상 구분이 가능하였다. 특히, 평균적으로 섬유소에 대한 구별 결과는 4.5 cm 거리에서는 5.6, 3.0 cm 과 1.5 cm 거리에서는 5.5의 정성적 평가 결과를 나타냈다. 또한, 미세석회화에 대한 결과는 4.5 cm에서는 3.9, 3.0 cm 과 1.5 cm 에서는 3.8의 결과를 나타냈으며, 종괴는 4.5 cm 에서는 4.5, 3.0 cm 과 1.5 cm 은 4.6 과 4.5 개 구별의 정성적 평가 결과를 나타냈다. 구체적인 정성평가 결과는 Table 2에 나타내었다.

Ⅳ. 고 찰

유방엑스선검사는 현재도 꾸준히 증가하고 있는 유방암 진단에 있어 가장 기본적인 검사 방법이다. 본 연구에서는 유방엑스선검사에 있어 영상의 질을 유지하는 정도관리 과정에서 사용하는 ACR 팬텀에 한계점을 파악하고 우리나라 현실에 적용한 맞춤형 ACR 팬텀을 아크릴 재질을 기반으로 다양하게 제작하고 그에 따른 영상 획득 및 평가를 수행하였다. 추가적으로, 제작된 팬텀과 기존 ACR 팬텀과의 유사성 확인함으로써 팬텀 제작의 신뢰도를 향상시키고자 RMSE, PSNR, CC의 정량적 평가인자를 적용하여 평가하였다. Ju 등은 CT (computed tomography) 영상의 질 향상을 위한 노이즈 감소 필터의 유용성을 확인하고자 하는 연구에서 RMSE, PSNR, CC의 유사도 인자를 적용함으로써 연구결과의 유용성을 증명하였다[20]. 기존 정도관리에

Table 2. The results of qualitative analysis for phantom inserts

	Fiber			Calcification			Mass		
	4.5 cm	3.0 cm	1.5 cm	4.5 cm	3.0 cm	1.5 cm	4.5 cm	3.0 cm	1.5 cm
Researcher 1	5	5	6	4	4	4	4	4	4
Researcher 2	6	5	6	4	3	4	4	4	5
Researcher 3	6	5	6	4	3	4	5	4	5
Researcher 4	6	5	5	4	4	4	5	4	5
Researcher 5	6	6	5	4	4	4	5	5	4
Researcher 6	5	6	5	3	4	4	4	5	4
Researcher 7	6	6	5	4	4	4	4	5	4
Researcher 8	5	5	6	4	4	4	5	5	4
Researcher 9	6	6	6	4	4	3	5	5	5
Researcher 10	5	6	5	4	4	3	4	5	5
Average	5.6	5.5	5.5	3.9	3.8	3.8	4.5	4.6	4.5

사용하는 ACR 팬텀과의 유사도 분석 평가를 통해 새롭게 제작된 팬텀의 유사도가 우수함을 확인하였고, 이를 기반으로 다양한 위치에서의 모조병소 삽입이 가능한 형태의 팬텀과 우리나라 유방 크기를 모사한 다양한 두께의 ACR 팬텀의 엑스선검사 영상을 비교분석하였다.

4.5 cm 두께를 고정하고 모조병소의 위치를 변화시켜 획득한 영상의 CNR 결과는 모조병소의 위치가 4.5 cm의 팬텀 윗 표면으로부터 멀어질수록 감소하는 결과를 나타냈고, 윗 표면으로부터 0.5 cm 거리에 모조병소를 위치시켜 엑스선검사한 영상의 CNR 결과값이 가장 우수했다. 0.5 cm 거리의 모조병소 위치 기준 2 cm 에서의 CNR 은 약 0.9% 차이가 발생했고, 3 cm 은 약 3.5% 의 CNR 차이가 발생했다. 또한, 노이즈 분포는 3 cm 위치에서 가장 감소하였으며, 0.5 와 2 cm 와 비교했을 때 약 32.0%와 약 11.7% 차이가 발생했다. CNR 및 COV의 정량적 분석 결과를 바탕으로, 동일한 유방 크기에서 병변의 위치에 따라 영상 품질의 차이가 발생함을 팬텀실험을 통하여 확인하였다. 또한, 팬텀 두께 변화에 따른 CNR 결과는 1.5 cm 일 때 가장 우수했으며, 3 cm 과 4.5 cm 두께와는 약 35.9% 와 약 65.4% 차이가 발생했다. 또한, COV 결과는 1.5 cm 의 두께에서 가장 노이즈의 분포가 감소함을 확인하였고, 3 cm 과 4.5 cm 두께와의 차이는 약 24.3%와 약 68.1% 다. 신등의 연구에서는 유방의 두께가 줄어들수록 유방의 흡수선량이 감소하는 것을 확인하는 연구결과를 발표하였다[21]. 그러므로 팬텀 두께에 따른 결과를 바탕으로 두께가 감소할수록 영상의 품질이 우수함을 확인하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 팬텀의 모조병소의 위치에 따라 영상의 품질이 변화함을 확인하였으며, 병변의 위치에 따라 적절한 관전압, 관전류의 조건 설정을 고려해야 한다. 또한, 팬텀 두께가 감소할수록 영상의 품질이 우수함을 확인하였으며, 유방엑스선검사시 필수적으로 동반되는 압박 과정은 영상의 품질을 향상과 동시에 환자의 피폭선량 감소가 가능할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구를 통하여 새로운 유방 팬텀을 소개 하였고, 기존의 정도관리에 사용하고 있는 ACR 팬텀과 새롭게 제작된 팬텀의 우수한 유사성을 확인하였다. 본 연구는 다양한 임상증례 기준의 유방엑스선검사 관련 연구에서 기존 정확성이 입증된 ACR 팬텀을 기반으로 다양한 모조병소 삽입 위치와 두께에 따른 다양한 팬텀을 제작하였다. 또한, 제작된 팬텀을 이용하여 모조병소의 위치, 팬텀의 두께에 따라 영상의 품질이 변화됨을 CNR과 COV의 정량적 평가 인자를 통하여 확인하였다.

REFERENCES

[1] Lauby-Secretan B, Scoccianti C, Loomis D, Tallaa LB, Bouvard V, Bianchini F, et al. Breast-Cancer Screening-Viewpoint of the IARC Working Group. The New England Journal of Medicine. 2015;372:2353-8.

[2] Suh MN, Song SH, Cho HN, Park BY, Jun JK, Choi EJ, et al. Trends in participation rates for the national cancer screening program in Korea, 2002-2012. Cancer Research and Treat. 2017;49(3):798-806.

[3] Cho BL, Lee MC. Current situation of national health screening systems in Korea. Journal of the Korean Medical Association. 2011;54(7):666-9.

[4] Song SY, Hong SR, Jun JW. Digital Mammography as a Screening Tool in Korea. Journal of Korean Society of Radiology. 2021;82(1):2-11.

[5] Cha ES. Breast-Specific Gamma Imaging in Breast Cancer Screening. Journal of Korean Society of Radiology. 2019;80(1):59-68.

[6] Oh KK. Breast imaging of breast cancer. Medical Postgraduates. 2000;28(1):37-47.

[7] Lee SM, Choi HY, Baek SY, Seo JS, Lee JS. Diagnostic Accuracy of Mammography and Ultrasonography in Detection of Early Breast Cancer. Journal of Korean Society of Radiology. 2002;47:321-8.

[8] Woo WH. Proper Use of Automatic Exposure Control (AEC) in Mammography. Journal of Radiological Science and Technology. 2004:23-7.

[9] Hong EA, Lee IJ. Suggestion of The Manual Exposure Condition Guideline for Reducing Patient Dose in Digital Breast Tomosynthesis. Journal of Radiological Science and Technology. 2016;39(4):483-91.

[10] Shin HH, Lee YG, Choi SJ. Special medical equipment operation status and efficiency improvement plan. Korean Institute of Hospital Management; 2012. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02211640

[11] Zheng HOY, Cho PK, Kim TW, Kim JS, Jang HC, Lee MH. Quality Management for Mammography Equipment and Mammography. Journal of Korean Society of Radiology. 2018;12(5):683-92.

[12] Ślusarczyk-Kacprzyk W, Skrzyński W, Fabiszewska E. Evaluation of Doses and Image Quality in Mammography with Screen-Film, CR, and DR Detectors-Application of the ACR Phantom. Polish Journal of Radiology. 2016;81:386-91.

[13] Song SE, Seo BK, Yie A, Ku BK, Kim HY, Cho KR, Chung HH, Lee SH, Hwang KW. Which phantom is better for assessing the image quality in full-field digital mammography?: American college of radiology accreditation phantom versus digital mammography accreditation phantom. Korean Journal of Radiology. 2012;13(6):776-83.

[14] Rossman AH, Catenacci M, Zhao C, Sikaria D, Knudsen JE, Dawes D, Gehm ME, Samei E, Wiley BJ, Lo JY. Three-dimensionally-printed anthropomorphic physical phantom for mammography and digital breast tomosynthesis with custom materials, lesions, and uniform quality control region. Journal of Medical Imaging. 2019;6(2):021604.

[15] He Y, Liu Y, Dyer BA, Boone JM, Liu S, Chen T, Zheng F, Zhu Y, Sun Y, Rong Y, Qiu J. 3D-printed breast phantom for multi-purpose and multi-modality imaging. Qunatitative Imaging in Medicine and Surgery. 2019;9(1):63-74.

[16] Kim SH, Kim MH, Oh KK. Analysis and Comparison of Breast Density according to Age on Mammogram between Korean and Western Women. Journal of Korean Society of Radiology. 2000;42:1009-14.

[17] Kim SJ, Kim EK, Kim MJ, Kwak JY, Park SH, Son EJ, Oh KK. Analysis of Breast Density according to Age, Body Mass Index and Breast Size on Mammogram in Korean Women. The Korean Society For Breast Screening. 2008;5(1):9-13.

[18] Yu WJ, Kang SH, Lee YG, Lee Y. Evaluation of image quality performance with various regularization parameters using total variation (TV) noise reduction algorithm: A simulation study. Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers. 2018;55(3):146-150.

[19] Zheng HY, Cho PK, Kim TW, Kim JS, Jang HC, Lee MH. Quality management for mammography equipment and mammography. Journal of the Korean Society of Radiology. 2018;12(5):683-692.

[20] Ju S, Kang SH, Lee Y. optimization of mask size for median-modified Wiener filter according to matrix size of computed tomography images. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2021;1010:165508.

[21] Shin GS, Kim YH, Kim JM, Kim CK, Yang JH, Choi JH. Patient Dose in Mammography. Journal of Radiological Science and Technology. 2005;28(4):293-9.

구분	성명	소속	직위
제1저자	엄현자	전주대학교 보건복지대학원 방사선학과	석사 대학원생
교신저자	박찬록	전주대학교 방사선학과	조교수