

<원저>

자동유방초음파 장비의 액와부 평가를 위한 초음파 패드 물질의 타당성

서은희^{1,2)}·성열훈²⁾¹⁾분당서울대학교병원 영상의학과·²⁾청주대학교 보건의료과학대학 방사선학과Feasibility for Ultrasound Pad Material for the Evaluation
Axillary Region of Automated Breast Ultrasound EquipmentSeo Eun-Hee^{1,2)}·Seoung Youl-Hun²⁾¹⁾Department of Radiology, Seoul National University Bundang Hospital²⁾Department of Radiological Science, College of Health Medical Science, Cheongju University

Abstract Automated breast ultrasound (ABUS) equipment is a new innovative technique for 3D automatic breast scanning, but limited for the examination in the concave axillary region. The purpose of this study was to determine feasible candidate materials for the ultrasonic wave propagation media in ABUS, enabling the evaluation of the axillary region. Ultrasonography was performed using an ABUS system (Invenia™ABUS, GE, USA) on the ultrasound-specific phantom (UC-551M-0.5, ATS Laboratories, USA) covered by different candidate materials. The validity of feasible candidate materials was evaluated by image quality. Three independent radiological technologists, with more than 10 years of experience, visually assessed on the images. The inter-observer agreements according to the candidate materials were tested using Cronbach's alpha. Unenveloped solidified carrageenan can be a feasible material for the use of ABUS with excellent test reliability. Therefore, the coverage of the axillary region with carrageenan may be effective for ABUS which was originally developed for the convex anatomic structure as female breast.

Key Words: Automated breast ultrasound, Axillary region, Propagation media, Candidate materials, Carageenan

중심 단어: 자동유방초음파, 액와부위, 전파매질, 후보물질, 카라기난

I. 서 론

우리나라가 1999년부터 국가 암 발생 통계를 산출하기 시작한 이후로 2012년까지 모든 암의 발생률은 3.6%씩 증가하고 있지만 2012년 이후부터는 6.1% 씩 감소하는 추세이다[1]. 그러나 서구화된 음식문화의 변화와 현대 여성의 사회적 진출에 따른 늦은 결혼과 출산을 저하로 인해 여성의 유방암은 2010년 이후 유일하게 증가하고 있다[2]. 따라서 2005년부터 유방암을 줄이고 예방하기 위해 암 검진사업을 만 40세 이상 국민을 대상으로 2년 주기로 시행하고 있다[3]. 특히 우리나라는 고소득국가들(미국, 서유럽, 일본, 호

주, 뉴질랜드 등)과 함께 분류되어 암 발생률이 높은 국가로 분류되고, 같은 아시아 국가인 일본에 비해서도 높은 발생률을 보이고 있다[4]. 유방암의 명확한 발생원인은 밝혀진 바는 없지만 서구화되어가는 환경과 더불어 이른 초경, 늦은 폐경, 늦은 출산, 비만 등 유방암 위험요소를 포함하고 있다[5]. 서양과는 달리 우리나라 여성들은 유선조직이 치밀하여 유방암 검진의 유방 X선 검사(mammography)에서 위 음성(false negative)으로 판정되기도 하며 치밀 유방인 경우에 민감도가 50%로 떨어진다는 보고도 있다[6,7]. 또한 치밀 유방은 방사선 민감도가 높아 조직 내 흡수하는 흡수선량에 따른 방사선 피폭을 간과할 수는 없다고 보고하고

Corresponding author: Youl-Hun Seoung, Department of Radiological Science, College of Health Medical Science, Cheongju University, Daesung-ro 298, Cheongwon-gu, Cheongju, Chungcheongbuk-do, 363-764, Korea / Tel: 82-43-229-7993 / E-mail: radimage@cju.ac.kr

Received 29 May 2018; Revised 20 June 2018; Accepted 23 June 2018

Copyright ©2018 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

있다[8]. 따라서 치밀 유방은 방사선 피폭이 없으면서 고정밀의 유방 초음파검사(breast ultrasonography)나 자기공명유방영상(magnetic resonance breast imaging)검사를 병행하는 것이 필요하다[9]. 특히, 유방암의 조기진단의 중요성과 검사의 용이성 등으로 유방 초음파검사가 보편화되면서 수요 또한 증가하고 있다[10]. 그러나 유방 초음파검사의 정확도는 검사기기와 검사자의 능력에 좌우되어 낮은 재현성과 객관성이 떨어지며 검사인력과 판독인력의 부족으로 많은 시간이 소요되는 단점이 있다[11].

2012년 11월 미국 식품의약국(food and drug administration; FDA)의 승인을 받은 자동 유방 초음파(automated breast ultrasound; ABUS) 장비는 검사자의 검사능력에 대한 재현성을 높일 수 있는 장비이다. 또한 2015년 G사의 ABUS가 3차원으로 영상을 제공하면서 검사와 진단의 두 항목에 있어 FDA승인을 받음으로써 ABUS 장비 개발의 폭을 넓혀왔다[12]. 최근 유방암 환자의 지속적인 증가추세로 인하여 ABUS의 필요성이 증가하고 있기 때문에 국가별, 연령층별에 따라 다양성을 내포하는 유방조직의 정확한 진단을 위한 영상품질 관리를 위한 연구가 절실히 요구된다. 우리나라에서도 ABUS 장비의 도입으로 보건복지부는 2015년 12월, 23차 건강보험 정책 심의 위원회를 통해 제2016-190호 고시에 따라 ‘신 의료기술 등재관련 상대가치 점수개정’ 등을 의결하였으며 유방 및 액와부 초음파검사에 대해 급여를 인정하였다[13].

하지만 현재 ABUS는 유방을 검사하는데 유용하지만 Fig. 1(a)와 같이 액와 부위 등은 유방과 같이 불룩한 구조도 아니면서 평편하지 못한 해부구조학적 특성으로 ABUS의 탐촉자가 밀착하여 검사할 수 없는 한계점이 있다. 특히 액와 부위는 유방암의 림프절 전이여부를 확인하는 곳으로 매우 중요한 검사 부위이기 때문에 현재는 Fig. 1(b)와 같이 액와 부위 검사가 필요 시 수동식 초음파(hand held ultrasound; HHUS) 검사를 추가로 진행하고 있다. 이로 인하여 환자의 검사 장소 이동 및 준비시간

의 확대로 환자의 총 검사 시간이 지연되고 환자의 검사 만족도는 저하되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 ABUS 검사 시 액와 부위 림프절 확인을 위한 유방전용 패드를 제작하기 위해 초음파 전파 매질 후보들을 탐색하고 패드로서의 타당성을 평가하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 대 상

초음파는 음파를 전달해야 하는 매질이 필요하다. 매질은 특성에 따라 초음파 전달속도가 달라지고 그 중 물은 초음파 에너지 손실 없이 잘 투과시켜 원거리까지 잘 도달할 수 있도록 한다. 이러한 목적으로 초음파 젤을 사용하여 인체와 탐촉자간의 공기저항을 최소화시킨다[14]. 따라서 본 실험에 사용된 재료는 물의 물리적 성질과 유사한 매질 후보물질 7가지를 대상으로 하였다. 물 성분이 높은 알로에 젤(93% Aloe vera, Skinfood, Korea), 초음파 젤(Progel, DAYO, Korea), 카라기난(k-carageenan, ESfood, Korea), 물(Distilled water, JW pharmaceutical, Korea)과 ABUS 검사 시 사용하는 전용로션(Polysonic[®], PARKER, USA)을 선정하였다. 이중 카라기난은 한천의 일종으로 한천에 비해 함수량이 높고 겔 형태로 고형화 시킬 때 탄력성이 높고 투명하여 보수력이 좋다고 알려져 있어 본 연구에서 카파타입(kappa type)의 카라기난을 선정하였다[15]. 그리고 현재 상용화된 젤 패드 중 크기가 가장 크고 넓은 범위에 적용할 수 있는 근골격계용 젤 패드(acoustic standoff gel pad, ATS laboratories, USA)를 선정하였다. 사용된 초음파 장비는 Fig. 2(a)와 같이 ABUS (InveniaTMABUS, GE, USA) 장비를 사용하였으며 팬텀은 Fig. 2(b)와 같이 ABUS 전용 팬텀(UC-551M-0.5, ATS

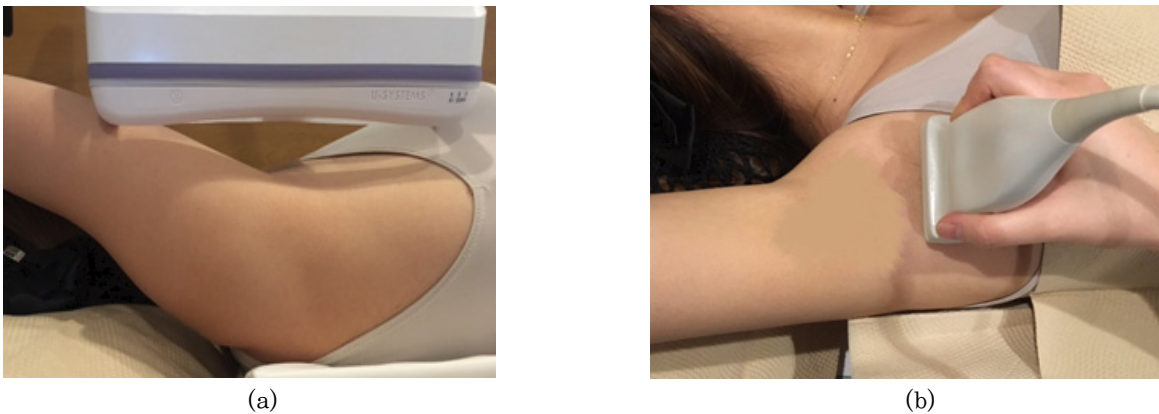


Fig. 1 Ultrasound examine for axillary lesion (a) scanning by automated breast ultrasound (b) scanning by hand held ultrasound

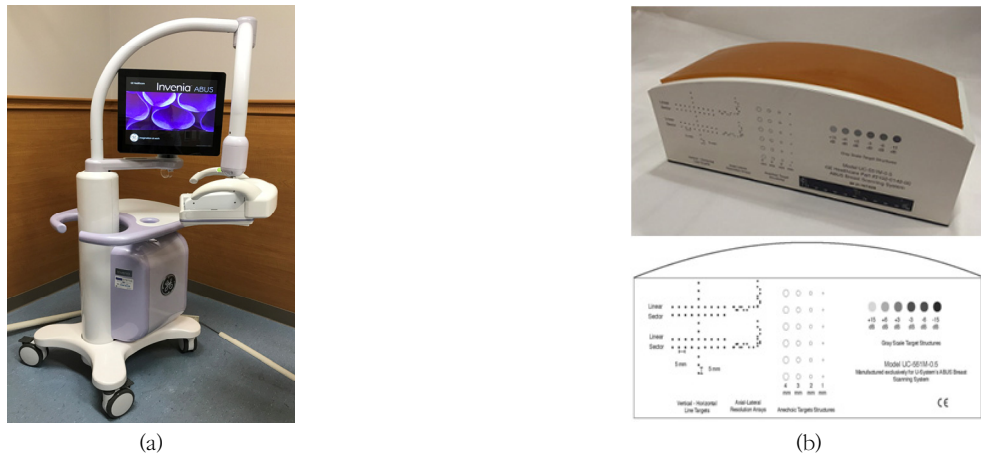


Fig. 2 (a) automated breast ultrasound device (b) phantom of automated breast ultrasound

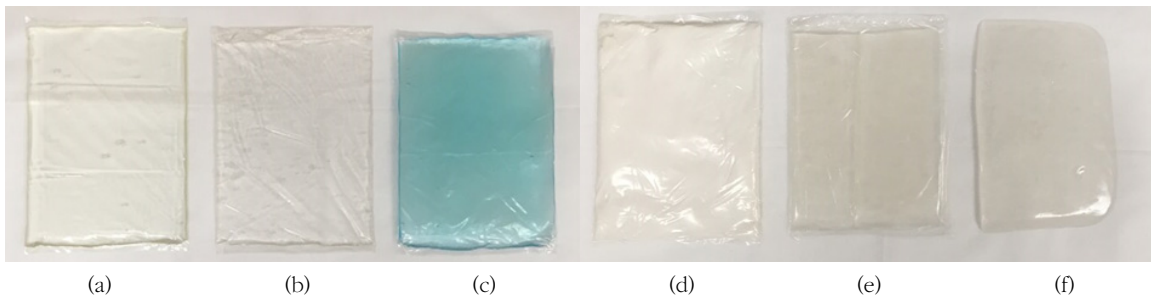


Fig. 3 Manufactured pads (a) distilled water (b) aloe gel (c) ultrasonic gel (d) ABUS lotion (e) enveloped carrageenan (f) unenveloped solidified carrageenan

Laboratories, USA)을 이용하였다.

2. 패드 제작

카라기난을 제외한 초음파 전파 후보 매질들은 액상형태이기 때문에 이들을 담을 수 있는 커버가 필요하다. 패드 커버는 검사실 환경에서 쉽게 찾을 수 있는 프로브 커버 (transducer probe cover, ireh-medical, Korea)와 의료용 초음파 콘돔(vaginal probe cover, unidus, Korea)을 사용하였다. 패드 제작은 프로브 커버를 15×20 cm로 제작한 후 커버 안을 선정된 초음파 전파 매질 후보로 채우고 공기를 최대한 제거한 후 비닐 접착기를 이용하여 밀봉하였다. 이때 카라기난은 커버없이 젤 형태만으로도 패드역할이 가능하여 커버가 있는 것과 없는 것으로 구분하여 제작하였다. 패드의 두께는 ABUS의 주사 깊이(scan depth)가 최대 5 cm인 것을 고려하여 두께를 1 cm 미만으로 할 수 있도록 내용물의 양은 200 cc로 하여 Fig. 3과 같이 제작하였다.

3. 팬텀영상에서의 초음파 전파 매질에 대한 타당성 평가

초음파 전파 매질로서의 타당성은 수직거리, 수평거리,

축·축 방향 분해능, 민감도, 기능적 분해능, 회색조 등 총 6가지의 영상품질을 평가하였다. 평가방법은 제작된 각각의 패드를 ABUS 전용팬텀 위에 올리고 영상을 획득한 후 임상경력 10년 이상의 방사선사 3명이 수직적 측정, 수평적 측정, 축·축 방향 분해능, 민감도, 기능적 분해능, 회색조와 역학범위 측정을 육안적으로 평가하였다. 평가자 상호간의 평가 결과는 크론바흐 알파(Cronbach alpha, α)계수를 통해 일치도를 검증하였고, α 가 0.7 이상일 때 신뢰도가 높다고 평가하였다. 그 결과, 알파계수는 평가자간의 평균 신뢰도가 0.999로 매우 신뢰도가 높게 평가되어 측정 결과 값으로 사용하였다. 영상품질 평가방법과 기준은 아래와 같다.

첫째, 수직거리측정은 Fig. 4(a)와 같이 빔 축을 따라 점과 점사이 중 가장 먼 거리를 측정하는 것으로 적합기준은 5.0 ± 1.0 mm 이하이다.

둘째, 수평거리측정은 Fig. 4(b)와 같이 빔 축과 수직되는 표적거리의 점과 점사이 중 가장 먼 거리를 측정하는 것으로 적합기준은 5.0 ± 2.0 mm 이하이다.

셋째, 축·축 방향 분해능은 Fig. 4(c)와 같이 위, 아래 점사이의 거리가 가장 가까운 0.25 mm인 두 점이 명확히 구분하는 것으로 “예”, “아니오”의 이분방식으로 평가하였다.

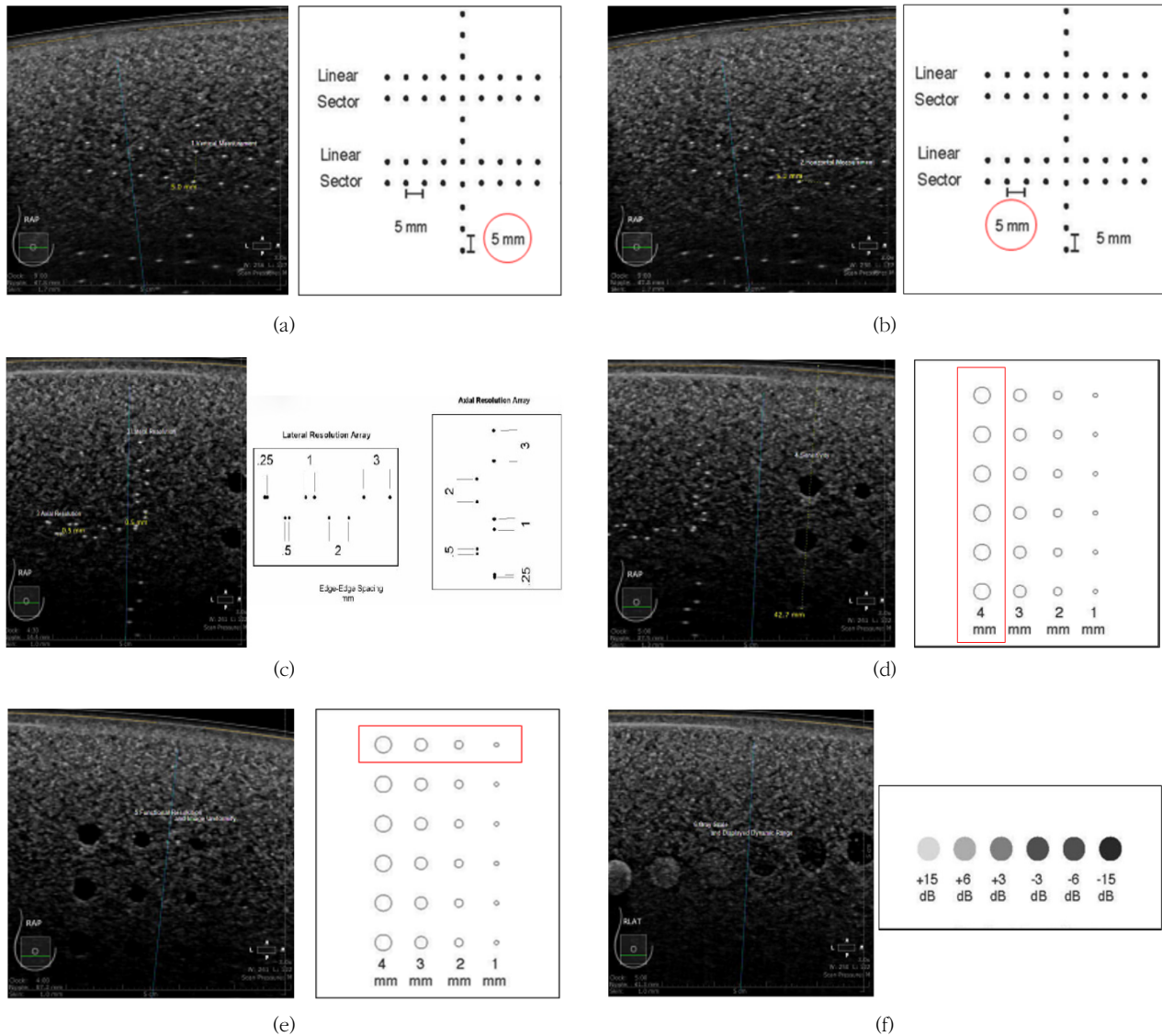


Fig. 4 Items of image quality in ABUS phantom (a) vertical measurement (b) horizontal measurement (c) axial & lateral resolution measurement (d) sensitivity measurement (e) functional resolution and image uniformity measurement (f) gray scale and displayed dynamic range measurement

넷째, 민감도는 Fig. 4(d)와 같이 최대깊이를 측정하는 평균로 4.0 mm 무에코 타겟(anechoic target)까지의 거리를 측정하여 5.0 ± 1.0 cm 이하일 경우 적합하다고 하였다.

다섯째, 기능적 분해능은 Fig. 4(e)와 같이 직경이 4.0 mm, 3.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm 낭성구조물의 모양(형태), 크기(내부직경), 내부에코 등을 측정하였다. 이때 낭성구조물의 형태학적 측정은 4사분면으로 등분하여 모든 등분에서 잘 보이면 4점, 모든 등분이 안보이면 0점으로 5단계 척도로 구분하여 평가하였고, 내부직경은 가장 잘 보이는 테두리를 중심으로 직경을 측정하였다. 내부 에코는 크기별 첫 번째 낭성구조물의 관심영역(region of interest; ROI)에서 픽셀

의 표준편차 값을 측정하여 민감도의 균일도를 구하였다.

여섯째, 회색조는 Fig. 4(f)와 같이 동일한 크기의 6개 dB에 따른 원형구조물의 ROI를 평가하여 픽셀의 평균값을 구한 후 직선성을 평가하였다. 모양(형태) 측정은 기능적 분해능의 측정과 동일하게 원형 구조물을 4등분하여 형태 평가 단계를 4, 3, 2, 1, 0점으로 구분하였다.

4. 패드의 임상 초음파 영상 평가

최종 제작된 패드들의 임상 초음파 영상 평가는 정상 인체조직의 액와 부위 위에 올려놓고 ABUS로 검사하였다. 획

득된 임상 초음파 영상은 3년 이상의 영상의학과 전문의의 판독을 기반으로 각각의 해부학적으로 분석하여 가장 우수하게 관찰되는데 도움을 준 패드를 선정하였다.

III. 결 과

1. 팬텀영상에서의 초음파 전파 매질

1) 알로에 젤

Table 1과 같이 측정된 수직거리는 5.5 ± 0.06 mm로 적합기준 5.0 ± 1.00 mm안에 포함되어 적합하였고, 수평거리측정은 5.23 ± 0.12 mm로 적합기준에 만족하였다. 축·축 방향 분해능은 0.25 mm 공간이 명확히 구분되었다. 4.0 mm 크기의 낭성구조물 깊이를 측정하는 민감도는 5.30 cm로 5.0 ± 1.00 cm 이하의 적합기준안에 포함되었다. 그러나 다중반사현상과 패드 제작 중 발생하는 미세기포로 인해 초음파 영상에서 혜성꼬리(comet-tail) 허상이 발생하였다. 기능적 분해

능은 Table 2와 같이 낭성구조 크기별 모양은 명확한 형태를 갖추진 못하였고, 낭성크기는 다소 크게 측정되었다. 내부에코는 크기가 작은 1.0 mm에서 균일도는 크게 떨어졌다. 또한 회색조 측정의 형태적 평가는 완전한 모양으로 측정되지 않았고 내부에코의 dB에 따른 평균값의 직선성 평가결과는 Fig. 5와 같이 상관계수(R^2)가 0.850이었다.

2) 초음파 젤

Table 1과 같이 수직거리 측정은 5.4 ± 0.06 mm으로 오차범위 내에 포함되어 적합하였고, 수평거리측정은 5.03 ± 0.06 mm로 적합기준에 만족하였다. 축·축 방향 분해능은 0.25 mm 공간이 명확히 구분되었다. 민감도는 5.33 cm로 오차범위 내 포함되어 적합하다고 판단하였다. 그러나 다중반사현상과 패드 제작 중 발생하는 미세기포로 인해 초음파 영상에서 혜성꼬리 허상이 발생하였다. 기능적 분해능은 Table 2와 같이 낭성구조 크기별 모양은 모두 완전한 형태를 갖추진 못하였고, 크기는 다소 크게 측정되었다. 내부에코는 2.0 mm를 제외한 나머지는 균일도가 큰 차이로 떨어졌

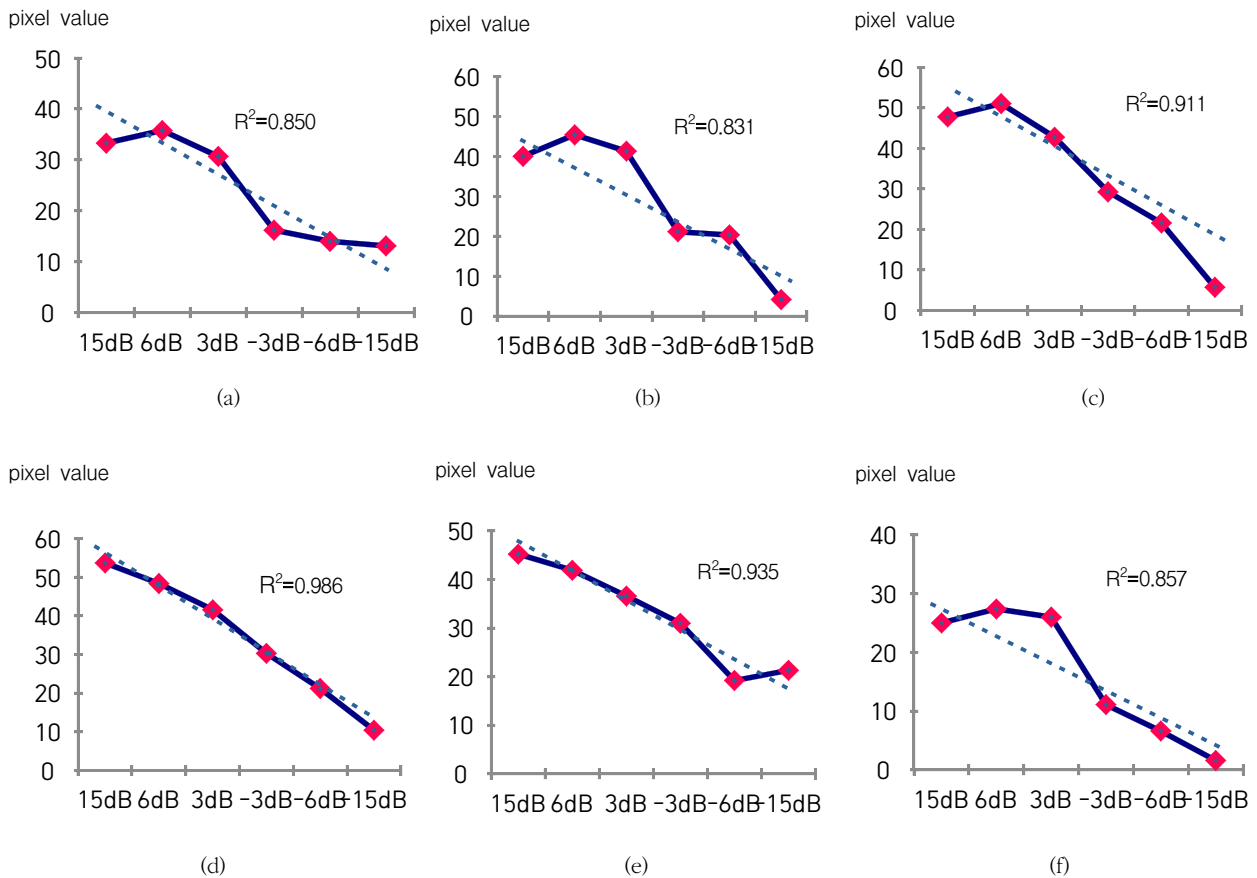


Fig. 5 Results graph of the echo inside the gray scale and displayed dynamic range anechoic structure (a) aloe gel (b) ultrasonic gel (c) enveloped carageenan (d) unenveloped solidified carrageenan (e) distilled water (f) ABUS lotion

Table 1 Phantom measurement results of candidate materials

Candidate materials	Vertical measurement		Horizontal measurement		Axial · lateral resolution	Sensitivity		Artifact
	mm	Decision	mm	Decision		mm	Decision	
Aloe gel	5.50±0.06	Pass	5.23±0.12	Pass	Y	5.30	Pass	Y
US gel	5.40±0.06	Pass	5.03±0.06	Pass	Y	5.33	Pass	Y
Enveloped carageenan	5.00±0.26	Pass	4.90±0.10	Pass	N	5.30	Pass	Y
Unenveloped solidified carageenan	5.50±0.20	Pass	5.27±0.06	Pass	Y	5.33	Pass	N
Distilled water	5.17±0.12	Pass	5.03±0.06	Pass	Y	4.40	Non Pass	Y
ABUS lotion	5.23±0.12	Pass	5.33±0.15	Pass	Y	4.40	Non Pass	Y
Standoff gel pad	0.00±0.00	Non Pass	0.00±0.00	Non Pass	N/A	0.00	Non Pass	N/A

Table 2 Phantom measurement results of candidate materials

Candidate materials		Functional resolution					Gray scale					
		4 mm	3 mm	2 mm	1 mm	mean ±SD	15dB	6dB	3dB	-3dB	-6dB	-15dB
Aloe gel	shape (point)	3.0	2.3	2.0	0.3	1.9±1.1	3.0	3.3	1.0	1.0	2.3	3.7
	size (mm)	4.6	3.2	2.1	1.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo (pixel value)	0.4**	0.4**	0.3**	5.5**	1.7±2.6	33.3°	35.8°	30.7°	16.2°	14.0°	13.1°
US gel	shape (point)	3.0	2.3	1.7	0.3	1.8±1.1	3.3	3.0	3.3	2.7	3.0	4.0
	size (mm)	4.2	3.3	2.4	0.9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo (pixel value)	2.0**	2.1**	0.3**	4.9**	2.3±1.9	40.0°	45.4°	41.3°	21.1°	20.3°	4.1°
Enveloped carageenan	shape (point)	1.0	2.3	1.0	1.7	1.5±0.6	4.0	4.0	2.7	2.0	3.3	4.0
	size (mm)	5.0	3.4	2.3	1.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo	0.2**	0.8**	0.6**	2.3**	1.0±0.9	47.8°	51.1°	42.8°	29.3°	21.6°	5.7°
Unenveloped solidified carageenan	shape (point)	3.7	3.0	2.0	2.3	2.8±0.8	4.0	4.0	2.3	1.0	3.3	4.0
	size (mm)	4.8	3.3	2.2	1.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo (pixel value)	1.9**	1.9**	0.1**	4.9**	2.1±1.9	53.7°	48.4°	41.6°	30.3°	21.2°	10.4°
Distilled water	shape (point)	3.7	3.0	2.0	2.3	1.1±0.9	3.0	2.3	0.0	0.7	2.3	2.3
	size (mm)	4.8	3.3	2.2	1.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo (pixel value)	0**	0.9**	0.3**	1.5**	0.7±0.7	45.2°	41.9°	36.6°	31.0°	19.2°	21.3°
ABUS lotion	shape (point)	3.3	2.3	4.0	3.7	3.3±0.7	2.0	2.0	0.7	3.0	2.7	3.7
	size (mm)	4.2	3.1	2.0	1.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo (pixel value)	1.8**	2.3**	0.6**	5.0**	2.4±1.9	25.0°	27.4°	26.0°	11.1°	6.6°	1.6°
standoff gel pad	shape (point)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	size (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	inside echo (pixel value)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

* mean

** SD

다. 회색조 측정의 형태적 평가는 -3 dB의 경우만이 원형구조물의 완벽한 모양으로 측정되었다. 내부에코의 직선성 평가결과는 Fig. 5와 같이 상관계수(R²)는 0.831이었다.

3) 카라기난(carageenan)

(1) 커버 있는 카라기난

Table 1과 같이 측정된 수직거리는 5.0±0.26 mm, 수평거리측정은 4.90±0.10 mm로 적합기준에 만족하였다. 그러나

축·축 방향 분해능은 0.25 mm 공간이 구분되지 않아 부적합하였다. 민감도는 5.30 cm로 5.0±1.0 cm 이하의 적합기준에 포함되었다. 그리고 다중반사현상과 패드 제작 중 발생하는 미세기포로 인해 초음파 영상에서 헤성꼬리 허상이 발생하였다. 기능적 분해능은 Table 2와 같이 낭성구조 크기별 모양은 모두 불완전한 형태로 측정되었고 크기는 다소 크게 측정되었다. 내부에코는 특히 1.0 mm에서 균일도가 큰 차이로 떨어졌다. 회색조 측정의 형태적 평가는 15 dB, 6 dB, -15 dB만이 명확한 원형구조물로 평가되었다. 내부에코의 직선성 평가결과는 Fig. 5와 같이 상관계수(R^2)는 0.911로 우수하였다.

(2) 커버 없는 카라기난

커버 없는 패드 형태 카라기난은 Table 1과 같이 측정된 수직거리 5.50±0.20 mm, 수평거리측정은 5.27±0.06 mm로 적합기준에 충족되었다. 축·축 방향 분해능은 0.25 mm 공간이 명확히 구분되어 적합하였고, 5.0±1.0 cm 이하의 적합기준인 민감도는 5.33 cm로 만족하였다. 특히, 다중반사 및 헤성꼬리현상에 의한 허상 없이 내부구조물이 잘 관찰되었다. 기능적 분해능은 Table 2와 같이 낭성구조 크기별 모양은 모두 불완전한 형태로 측정되었고 크기는 다소 크게 측정되었다. 내부에코는 특히 1.0 mm에서 균일도가 큰 차이로 저하되었다. 회색조 측정의 형태적 평가는 커버를 씌운 카라기난과 같이 15 dB, 6 dB, -15 dB에서 명확한 원형구조물을 갖추었다. 내부에코의 직선성 평가결과는 [Fig. 5]와 같이 상관계수(R^2)는 0.986로 실험대상 패드 중 가장 우수하였다.

4) 멸균증류수

측정된 수직거리는 Table 1과 같이 5.17±0.12 mm, 수평거리측정은 5.03±0.06 mm로 적합기준에 만족하였다. 축·축 방향 분해능은 0.25 mm 공간이 명확히 구분되었다. 그러나 민감도는 4.40 cm로 오차범위 기준인 5.0±1.0 cm 이하로 포함되지 않아 부적합하였다. 또한 다중반사현상과 패드 제작 중 발생하는 미세기포로 인해 초음파 영상에서 헤성꼬리 허상이 발생하였다. 기능적 분해능은 Table 2와 같이 낭성구조 크기별 모양은 2.0 mm가 가장 명확히 측정되었고 그 외 모두 불완전한 형태로 측정되었으며 1.0 mm 크기는 측정이 불가하였다. 낭성구조의 크기는 1.0 mm를 제외한 다소 크게 측정되었다. 내부에코는 4.0 mm에서 평가자들의 편차 없이 균일도가 가장 높았다. 회색조 측정의 3 dB은 원형구조물의 모양을 전혀 확인할 수 없었고 -3 dB 역시 형태적으로 파악이 어려웠으며 나머지 원형구조물도 불완전한 형태였다. 내

부에코의 직선성 평가결과는 Fig. 5와 같이 상관계수(R^2)는 0.935로 우수하였다.

5) ABUS 전용로션

수직거리 측정 결과는 Table 1과 같이 5.23±0.12 mm, 수평거리측정은 5.33±0.15 mm로 적합기준에 만족하였다. 축·축 방향 분해능은 0.25 mm 공간이 명확히 구분되어 적합하였다. 그러나 민감도는 4.40 cm로 5.0±1.0 cm 이하의 적합기준에 포함되지 않아 부적합하였다. 기능적 분해능은 Table 2와 같이 낭성구조 크기별 모양은 2.0 mm가 가장 명확한 원형구조물로 평가되었고, 나머지는 불완전한 형태로 측정되었다. 원형구조의 크기는 2.0 mm, 1.0 mm 측정이 명확하였고, 그 외는 다소 크게 평가되었다. 내부에코는 1.0 mm에서 균일도가 크게 떨어졌다. 회색조 측정의 형태적 평가는 -15 dB 원형구조물에서 다소 명확한 형태를 갖추었고, 나머지는 불완전한 형태로 평가되었다. 내부에코의 직선성 평가결과는 Fig. 5와 같이 상관계수(R^2)는 0.857이었다.

6) Acoustic standoff gel pad

근골격계 초음파검사서 주로 사용되는 standoff gel pad는 팬텀영상 평가 결과 Table 1, Table 2와 같이 수직, 수평, 축·축 방향 분해능 등 영상의 밝기가 어두워 낭성구조물 및 원형구조물 점과 점사이의 구분이 전혀 되지 않았다. 따라서 다른 패드와의 비교는 불가능하였다.

2. 패드의 임상 초음파 영상

Fig. 6(a)는 동일한 환자의 동일한 액와부 가장자리 부위에 제작된 패드를 위치하여 검사하는 모습이다. 각각의 패드로 획득한 임상 초음파 영상 결과, Fig. 6(b), (c), (d), (g)에서는 스캔 시 패드의 주름에 의해 후방음향음영(acoustic shadow artifact) 발생으로 영상의 질을 저하시켰다. 특히, Fig. 6(c)에서는 패드 커버에 의한 다중반사 허상(reverberation artifact, asterisk)과 스캔 시 주름에 의한 허상(화살표)이 관찰되었다. 반면 Fig. 6(h)는 기존의 standoff gel pad로 영상이 전체적으로 어둡게 모호되어 피부이하의 조직들을 명확히 구분하기는 어려웠다. Fig. 6(f)는 패드 내 물성이 단일화 되어있어 멸균증류수와 커버 사이의 음향저항 및 투과, 흡수, 반사 등의 물리적 저항이 커서 다중반사 및 헤성꼬리현상에 의한 허상이 발생하였다. 또한 스캔 시 패드의 주름에 의해 음향음영이 발생하였다. 그러나 인체에서는 유사한 물성조직이 계층을 이루고 있어 초음파 전달이 상대적으로 용이하여 유방의 해부학적 구조를 파악하는 데는 큰 어려움은 없었다. Fig. 6(e)는 무 커버 카라기

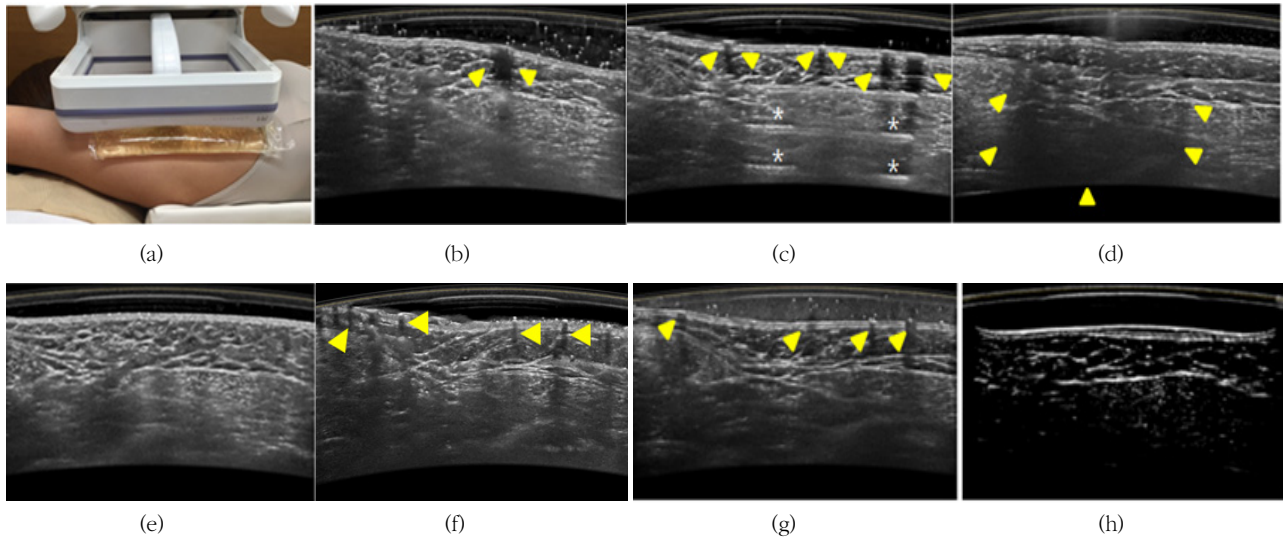


Fig. 6 Clinical application of ABUS (a) gel pad applied to axilla for automated breast ultrasound (b) aloe gel (c) ultrasonic gel (d) enveloped carageenan (e) unenveloped solidified carageenan (f) distilled water (g) ABUS lotion (h) standoff gel pad

난의 패드로서 스캔 시 패드의 형태를 잘 유지하여 주름이 발생하지 않아 영상의 질 저하가 없어 피부와 피하 지방층(subcutaneous fat layer), 유선조직(mammary gland)과 표면근막의 표면층(superficial layer of superficial fascia) 및 깊은 층(deep layer of superficial fascia) 등 모든 해부학적 구조물이 잘 구분됨을 확인할 수 있었다. 또한 다중반사 및 헤스퍼리현상 없이 적절한 밝기를 제공함으로써 우수한 품질의 영상을 제공하였다.

IV. 고 찰

수동식 초음파에 비해 표준화되고 재현성 높은 3차원 영상재구성을 통해 종양의 특성을 파악할 수 있는 ABUS는 광범위하게 유방 초음파 검사를 제공하기 위한 잠재적 대안으로 제시되고 있다[16]. 또한 ABUS는 3D 영상 재구성을 통해 횡단면, 관상면, 시상면에 대해 영상을 표시할 수 있어 더욱 수술에 정확도를 높일 수 있고 ABUS는 유방암 환자의 수술 전 HHUS로 2차 확인(second-look)을 위해 초음파 시행하는 것을 대체 할 수 있다고 보고하고 있다[17]. 특히, 유방암 환자의 예후인자인 액와 부위의 림프절 전이 여부를 확인하는 것은 매우 중요하다. 그러나 ABUS는 유방의 형태학적 특성을 고려하여 탐촉자가 오목하게 설계되어 있어 액와 부위 검사에는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서는 액와 부위 검사를 위한 ABUS 전용 패드의 초음파 전파 매질을 찾고 타당성을 평가하고자 하였다.

그 결과, 상용화된 기존의 standoff gel pad는 어두운 저 에코(hypoechoic) 영상 모출로 인해 특히 유방의 실질이 지방과 근막의 동일한 에코(isoechoic)인 저에코로 나타나 유방 실질 내 병변유무와 명확한 해부학적 구조를 구분하기 어려워 검사에 부적합한 패드로 평가되었다. 이는 부적절한 gain 조절의 실패 등으로 판단된다. 초음파 장비에 있어 영상의 밝기를 조절하는 gain은 과하게 올리면 영상이 너무 밝은 고 에코로 모출되고, 반대로 너무 내리면 어두운 영상인 저 에코로 모출되어 진단적 가치를 잃게 된다. 따라서 부적절한 gain의 조절은 유방 초음파 화질평가에 악영향을 미친다[18]. 그럼에도 불구하고 현재 제작된 ABUS는 화질개선을 위한 조절장치가 없기 때문에 기존 젤 패드인 standoff gel pad에는 적합하지 않았다.

그밖에 본 연구에서 실험한 패드 성분에서 액상인 경우에는 커버가 필요하기 때문에 적합한 커버를 선정하는 데 있어 초음파검사 시 자주 사용되는 멸균 프로브와 의료용 콘돔을 우선 선택하였다. 그 결과, 의료용 콘돔은 커버 구조상 매질이 균일한 두께를 유지하지 못하였고, 커버에 의한 다중반사현상은 동일하게 발생되었다. 또한 콘돔 재질의 특성상 스캔 시 팬텀 면을 완전히 포함하지 못하고 특유의 탄력성으로 인해 패드가 말리는 현상이 반복되었으며 커버 자체의 실리콘오일과 매질과의 분리로 인해 기포가 상대적으로 많이 발생하여 본 연구 결과에서는 제외하였다. 반면에 멸균 프로브 커버는 콘돔과는 달리 정형화된 형태를 유지할 수 있어 상대적으로 스캔하는데 어려움은 없었으나 의료용 콘돔과 같이 모든 매질에서 커버 표면에 의한 음향저항의 차이에 의해 초음파 반사율이 탐촉자 사이를 여러 번 반사

하여 발생하는 다중반사 허상이 발생하였다. 탐촉자 커버 재질에 따른 영상손실평가 연구 결과를 보면, 커버 재질에 따른 팬텀의 near field target wire 평가에서 재질에 상관 없이 모든 wire가 확인되었고, 커버의 음향저항은 인체연부 조직과 비교해봤을 때 초음파 영상에 영향을 미치지 않았다고 하였다[19]. 본 연구의 임상 초음파 영상 평가에서도 커버에 의한 다중반사는 유방의 해부학적 구조를 확인 하는데 있어 장애를 발생하지는 않았고, 패드 내 미세기포로 인한 해상도저하현상이 관찰되었으나 인체 내 구조물에는 영향을 미치지 않았다. 다만, 스캔 시 패드 주름에 의해 음향음영의 영상 결손이 발생하여 영상의 질 저하를 초래하였다.

또한 고형화된 카라기난 패드는 압박이 주어질 경우 패드 균열(crack)이 발생할 수 있어 탐촉자와 패드간의 밀착을 위해 적절한 압박이 요구된다. 본 연구에서는 패드의 내구성을 확보하기 위해 방부제를 첨가하여 제작하였지만 장기간 지속성을 확보하는 것에는 한계가 있어 향후 내구성에 대한 지속적인 연구가 요구되어 진다. 그러나 본 실험에서는 커버 없이 고형화된 카라기난 패드가 ABUS 전용 팬텀 영상 평가와 임상 초음파 영상 평가에서 가장 우수한 초음파 전파 매질로 나타났다. 특히, 카라기난은 한천의 일종으로서 생활 주변에서 손쉽게 구입할 수 있어 그 활용성이 기대된다. ABUS는 자동스캐너로 영상을 확보할 수 있어 검사 의사와 판독인력부족을 해결한 대안으로 제시되지만 임상 경력에 따른 전문자격증을 취득한 임상초음파사가 검사를 진행할 필요가 있다. 왜냐하면 유방 초음파검사는 고도의 검사법으로서 ABUS 장비가 대체하더라도 검사의 질적 수준은 유지해야 하며 고정밀 검사를 위한 업무능력개발이 필요하고 전문 자격제도의 정착이 필요하다[20]. 따라서 ABUS 검사를 진행하는 초음파사의 자격과 교육체계 확립이 필요하다.

본 연구는 유방암 환자에 있어 림프절 전이 여부를 확인 하는 것이 매우 중요함을 인식하고 ABUS의 액와 부위 검사 한계를 해결하기 위한 방향성을 제시했다는 점에서 진보성 있는 의미가 있다. 그러나 유방암 수술로 인한 피부의 요철로 생긴 부위에는 본 연구에서 제안한 고정형 패드로 스캔 하더라도 요철의 공동화 부위를 채울 수 없었고, 공동화현상이 발생하는 되는 부위에는 초음파가 투과되지 못하여 후방음향음영이 발생되어 영상의 질 저하를 유발한 한계점이 있었다. 따라서 유방 수술이후 조직이 소실된 환자에게도 적용할 수 있는 부정형 패드를 개발된다면 향후 ABUS의 임상적 유용성을 높이는데 기여할 수 있으리라 기대한다.

V. 결 론

우리나라에 도입된 ABUS 장비는 오목한 탐촉자로 인해 액와 부위를 탐촉할 수 없었던 한계에 맞서 효율적으로 탐촉할 수 있는 초음파 전파 매질로 커버 없이 제작한 카라기난이 ABUS 전용 팬텀 평가와 임상 초음파 영상 결과를 종합하면, 정도관리 적합기준 안에서 모두 만족하였고, 임상 영상의 해부학적 구조를 구분함에 있어 허상에 의한 영상의 손실 없이 적절한 영상의 밝기로 가장 우수한 영상품질을 제공한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 유방암 검진 및 진단에 필요한 액와 부위를 ABUS 장비가 추가로 실시한다면 매우 효율적인 검사장비로서 널리 사용될 수 있으리라 판단 된다.

REFERENCES

- [1] Cancer Incidence in Korea, 2015, Ministry of Health and Welfare, Korea Central Cancer Registry, 2017.
- [2] Hankyoreh, (2015) The incidence of breast cancer increased four times in 15 years, why?. <http://www.hani.co.kr/arti/society/health/691660>
- [3] Lee SM, Choi HY, Baek SY, Suh JS, Lee JS, Moon BI. Diagnostic Accuracy of Mammography and Ultrasonography in Detection of Early Breast Cancer. Korean Journal of Radiological Medicine, 2002 ;47(3):321-8.
- [4] Park SH. Breast Cancer Facts & Figures, Korean Breast Cancer Society, 2017.
- [5] Park SK, Kang D, Kim Y, Yoo KY. Epidemiologic characteristics of the breast cancer in Korea. Journal of Korean Medical Association, 2009;52(10): 937-45.
- [6] Kolb TM, Lichy J, Newhouse JH. Comparison of the performance of screening mammography, physical examination, and breast US and evaluation of factors that influence them: an analysis of 27,825 patient evaluations. Radiology, 2002;225(1):165-75.
- [7] Carney PA, Miglioretti DL, Yankaskas BC, Kerlikowske K, Rosenberg R, Rutter CM, Geller BM, et al. Individual and combined effects of age, breast density, and hormone replacement therapy use on the accuracy of screening mammography. Annals of

- Internal Medicine. 2003;138(3):168-75.
- [8] Lee SH, Lee JS, Han SH, A Study on Absorbed Dose in the Breast Tissue using Geant4 simulation for Mammography. Journal of Radiological Science and Technology. 2012;35(4):345-52.
- [9] Hooley RJ, Greenberg KL, Stackhouse RM, Geisel JL, Butler RS, Philpotts LE. Screening US in patients with mammographically dense breasts: initial experience with Connecticut Public Act 09-41. Radiology. 2012;265(1):59-69.
- [10] Youk JH, Kim EK, Current Trends in Breast Ultrasonography. Journal of Korean Society Ultrasound in Medicine. 2012;31(1):1-10.
- [11] Drukteinis JS, Mooney BP, Flowers CI, Gatenby RA. Beyond mammography new frontiers in breast cancer screening. American Journal of Medicine. 2013;126(6):472-9.
- [12] Giger ML, Inciardi MF, Edwards A, Papaioannou J, Drukker K, Jiang Y, Bream R, et al. Automated breast ultrasound in breast cancer screening of women with dense breasts: reader study of mammography-negative and mammography-positive cancers. American Journal of Roentgenology. 2016;206:1341-50.
- [13] Monitoring of epileptic drugs, new breast cancer technology including automated breast ultrasound, http://www.mohw.go.kr/react/al/sal0301vw.jsp?PAR_MENU_ID=04&MENU_ID=0403&CONT_SEQ=329085&page=1
- [14] Kim HS, Dong KR, Choi SH, Seong KJ. Evaluation in Production and Usability according to Change of Ultrasound Gel Composition. Journal of Advanced Engineering and Technology. 2013;6(3):209-21.
- [15] Kim JM, Jeon YJ, Park HS. Effect of Agar, Sodium Alginate and Carrageenan on Quality of Yugwa (Busuge) Base. Journal of the Korean Society of food Culture. 2005;20(1):96-102.
- [16] Kaplan SS. Automated whole breast ultrasound, Radiologic Clinics of North America. 2014;52(3):539-46.
- [17] Shin HJ, Kim HH, Cha JH. Current status of automated breast ultrasonography. Ultrasonography. 2015;34(3):165-72.
- [18] Go KH, Kim EK, Kim YA, Son EJ, Chung SY. Technical Quality Assessment of Breast Ultrasound According to American College of Radiology (ACR) Standards. Journal of the Korean Society of Medicine Ultrasound. 2003;22(2):67-72.
- [19] Park YH. Ultrasound probe cover material of image loss assessment. Korean Society of Medical Sonographers. 2010;1(1):62-5.
- [20] Yang SH, Choi JM, Lee JS, The Effect of Sonographers' Professional Self-Concept on Job Satisfaction, Journal of Radiological Science and Technology. 2017;40(3):485-91