

Reproducibility Evaluation of Shear Wave Elastography According to the Depth of the Simulated Lesion in Breast Ultrasonography

Jin-Hee Kim^{1,2}, In-Soo Kim², Cheol-Min Jeon², Jae-Bok Han^{2*}

¹Cheomdan Medicare Clinic

²Department of Radiology, Dongshin University

Received: October 12, 2023. Revised: November 20, 2023. Accepted: November 30, 2023.

ABSTRACT

Elastography utilizes the fact that the tissue of a malignant tumor is harder than that of a benign tumor and increases the specificity of diagnosis according to the elastic modulus of the tumor, helping to reduce unnecessary biopsies. However, the reliability of elastography can be influenced by the equipment used and the examiner's skills. In this study, the researchers analyzed the reproducibility of elastography by evaluating phantom images when measuring the elasticity values repeatedly. Phantoms were created using silicone and gelatin with different levels of stiffness, and they were inserted at varying depths from the surface. The elasticity values were measured using shear wave elastography. The study aimed to determine whether the reproducibility of elasticity values remains consistent depending on the stiffness and depth of the lesions. The experimental results showed that there was no statistically significant correlation between the elasticity values obtained through shear wave elastography and the depth or stiffness of the lesions. However, in the lesions with the lowest stiffness, the elasticity values were statistically significant ($p < 0.001$) and showed a high correlation with the depth of the lesions. Although there were variations in the measured elasticity values based on the differences in lesion stiffness and depth, these differences did not significantly impact the diagnosis. Therefore, shear wave elastography remains a reliable diagnostic method, and it is suggested that it can be helpful in the diagnosis of breast lesions.

Keywords: Shear Wave Elastography, Breast Ultrasound, Elastography Phantom

I. INTRODUCTION

유방암은 국내에서도 꾸준히 증가하고 있으며 전 세계에서 가장 많이 발생하는 여성암이다. 건강보험 심사평가원의 통계 자료에 따르면 2021년 유방암 환자는 29만 7,860명으로 2010년 9만 7,008명보다 약 3배 가량 늘어났다^[1].

유방암 선별을 위한 검사 중 가장 기본적이고 우선적인 검사는 유방 촬영술이다. X선 촬영으로 유방과 흉근 일부를 압박시켜 유방 내부 구조를 확인하는 유방 촬영술은 유방 초음파검사에서는 잘 보이지 않는 미세석회화를 효과적으로 판별할 수 있

기 때문에 증상 없는 유방암 검진에 매우 유용하다. 하지만 한국 여성 중 70% 이상이 해당하는 치밀 유방에서는 유방 촬영술은 유선과 일반 조직의 구분이 어려워 정확도(50 ~ 70%)가 떨어지고, 성장속도가 빠르거나 유방암의 가족력이 있는 여성의 유방암 등에는 정확도가 더 낮아 유방암 검진에 문제점으로 지적되고 있다^[2,3].

유방 밀도는 유방암 발병 위험인자 중 하나로 치밀형 유방의 여성은 지방형 유방의 여성에 비해 2~4배 유방암 발생 위험이 증가한다. 치밀 유방 검진에서 유방 촬영의 약점을 보완할 수 있는 추가 영상 방법 중 유방 초음파는 우리나라에서 가장 접

* Corresponding Author: Jae-Bok Han

E-mail: way2call@naver.com

Tel: +82-61-330-3574

근성이 높고 선호하는 검사 방법으로 조기 유방암 발견에 기여하고 있다^{3,4)}. 유방 초음파는 유방 촬영술의 문제점인 치밀 유방에서 보이지 않는 유방암을 발견할 수 있지만⁵⁾, 초음파 검사의 영상학적 소견만으로는 양성과 악성을 정확하게 진단하기에는 한계가 있다.

미국 방사선 의학회(ACR; American College of Radiology)는 병소에 대한 특이성과 다양한 특성들을 정의할 수 있는 유방 영상 보고 데이터 체계(BI-RADS; Breast Imaging Reporting and Data System)을 제시하고 있다⁶⁾. 유방 초음파 검사상 종괴가 보이고 BI-RADS 카테고리 4 이상으로 판정되면 유방 조직 검사를 통하여 양성과 악성을 구분하게 되는데, 카테고리 4의 병변의 조직 검사 결과 양성 종양의 확률은 3% ~ 94%로 광범위하여 문제가 된다⁷⁾.

불필요한 조직 검사를 줄이기 위해 기존 초음파 검사에 추가적으로 유방 조직의 탄성초음파 검사를 시행한다. 탄성초음파 검사의 측정 방식은 변형 탄성초음파(Strain elastography)와 전단파 탄성초음파(SWE; Shear wave elastography)의 두 가지 방식이 있다. 양성 종괴에 비해 악성 종괴의 경우 조직이 더 단단하며, 주변 조직의 탄성에 영향을 주므로 탄성초음파는 진단에 도움이 된다. 특히 유방 종괴에 기존의 초음파검사와 SWE를 추가적으로 시행하는 것은 진단 특이도를 높이며 불필요한 조직 검사를 줄일 수 있다⁸⁾.

그러나 탄성초음파의 한계점으로 탄성초음파 영상의 품질이 진단 능력에 영향을 줄 수 있으며, 이는 병변의 크기와 깊이, 유방의 두께, 환자의 비만도 등의 영향을 받는다. SWE에서 병변의 크기가 클수록 유방 두께가 두꺼울수록 위양성률이 높았고, 병변의 크기가 작고 깊을수록 위음성률이 높았다⁹⁾. 또한 탄성초음파 검사는 검사 장비 또는 검사자에 따라 다른 결과를 보일 수 있어 재현성 문제 등의 한계점이 있다^{3,10)}.

본 연구에서는 병소의 강성과 깊이에 따라 전단파 탄성초음파 검사의 반복 측정 시 탄성값의 재현성이 유지되는지 실험해 보기 위해 젤라틴과 한천을 이용하여 유방 조직과 유방 결절의 음향 특성을

고려하여 팬텀을 제작하였다. SWE는 변형 탄성초음파에 비하여 재현성이 높은 검사 방법으로 알려졌으나¹¹⁾ 실제 임상에서 SWE를 동일한 병변에 반복 측정 시 결핍의 차이가 나는 경우가 있다. SWE 영상의 질은 병변의 크기, 병변의 깊이, 유방의 두께 등의 영향을 받는다. 본 연구에서는 SWE의 반복 측정을 통하여 병변의 강성과 깊이와 SWE 검사의 재현성의 상관관계를 알아보려고 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 사용 장비 및 대상

초음파 장비는 삼성 메디슨사의 RS85 prestige (Samsung Medison Company, Limitid, Korea)를 사용하였으며, 2 ~ 14 MHz 선형 탐촉자(Linear probe, LA2-14A, Samsung Medison Company, Limitid, Korea)를 사용하였다. 각 매질의 무게 측정과 용해를 위해 전자저울 LS400 (리브라, China)과 중탕 용기, 직사각형의 플라스틱 용기(115 × 165 × 90 mm)를 사용하였다. 한천과 젤라틴을 이용하여 균일한 농도의 유방실질 층과 각각 다른 농도의 모조 병소를 가진 팬텀을 직접 제작하여 사용하였다.

2. 모조 병소 팬텀 제작

본 연구에서는 한천과 젤라틴을 이용하여 강성이 다른 모조 병소를 포함한 팬텀을 제작하였다. PET와 유방초음파 결합 영상을 위한 팬텀 개발 연구 논문에 따르면, 1% ~ 15%의 젤라틴과 0.5% ~ 5%까지의 한천을 샘플로 평가하여 각각 샘플에 대하여 음파의 전파 속도, 감쇠 계수, 탄성도를 측정하여 유방의 지방조직, 정상 유선 조직, 섬유성 조직, 암 조직의 음향 신호와 탄성 신호를 가진 성분의 비율을 찾았다¹²⁾.

젤라틴의 비율은 주로 음향 속도에 영향을 미치고, 한천의 비율은 초음파의 감쇠 계수에 더 큰 영향을 미친다. 젤라틴과 한천의 농도를 다르게 첨가하여 유방의 지방조직과 유사한 탄성을 가진 배경층을 만들어 주고, 각각 다른 3가지의 강성을 가진 모조 병소를 제작하였다.

먼저 지방조직과 유사한 탄성을 가진 배경층을

만들기 위해서 1%의 젤라틴과 0.5%의 한천을 37°C 정도의 미지근한 물에 용해시킨 후 증탕기를 이용하여 80°C까지 약한 불로 가열한다. 직사각형 플라스틱 용기(115 × 165 × 90 mm)에 바닥층의 높이만큼 용해된 용액을 채워준 후 모조 병소가 들어갈 공간을 확보하기 위하여 원통형의 플라스틱관을 나무 지지대를 이용하여 플라스틱 용기 위에 고정시켜 용액이 굳기 전에 지름 1.5 cm 깊이 1 cm의 공간 3곳을 만들었다.

3가지 모조 병소는 15%의 젤라틴과 5% 한천을 넣어 가장 높은 탄성을 가진 모조 병소 1과, 12%의 젤라틴과 4%의 한천을 넣어 높은 탄성을 가진 모조 병소 2, 5%의 젤라틴과 2%의 한천을 넣어 낮은 탄성을 가진 모조 병소 3을 제작하였다. 냉장고에 2시간 굳힌 바닥층에 각각 다른 농도로 만든 모조 병소 용액을 부어 다시 2시간가량 냉장 보관하여 겔화시켰다. 모조 병소층이 겔화된 후에는 다시 배경층과 같이 1% 젤라틴과 0.5% 한천을 용해시킨 용액을 위에 부어 상단층을 완성시켰다. 팬텀의 바닥층과 상단층의 높이를 다르게 하여 모조 병소가 표면으로부터 0.2 cm, 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm의 깊이에 위치하는 5개의 팬텀(115 × 165 × 90 mm)을 제작하였고 Fig. 1과 같다.

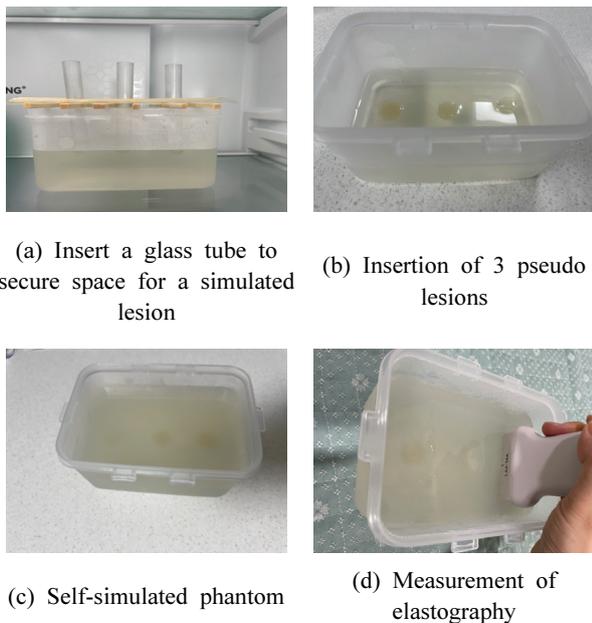


Fig. 1. Picture of how Phantom are made.

3. 탄성 초음파 측정

진단과 탄성 초음파 영상은 조직 내에 진단과를 발생시켜 진단과가 전파되는 속도를 측정하는 방식이다. 조직이 단단할수록 전파속도가 빠르다는 것을 이용하여 전파 속도를 측정하여 조직의 탄성 계수를 알 수 있다. 진단과 탄성초음파의 측정은 모조 병소가 모두 포함되도록 관심 영역(ROI; Region of Interest)을 설정한 후, 진단과 탄성초음파 이미지를 얻었다. 선형 탐촉자를 팬텀 위에 가볍게 위치시킨 후 초음파 장비의 S-Shear wave elastorphy 기능을 켜면 회색조 영상 위에 SWE 이미지가 중첩되어 나타난다. SWE 이미지가 안정화되도록 몇 초간 기다린 후 이미지를 저장한다. SWE 이미지는 낮은 강성을 갖는 조직은 파란색으로, 높은 강성을 갖는 조직은 빨간색으로 0 ~ 180 kPa의 범위로 나타난다. 모조 병소에서 가장 단단한 부분을 나타내는 범위에 2 x 2 mm ROI를 사용하여 SWE의 탄성도를 측정하였고 Fig. 2와 같다.

각각 표면층으로부터 0.2 cm, 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm의 깊이에 위치한 3가지 강성의 모조 병소에 대해 SWE를 20번씩 측정하여, 평균 탄성(E_{mean}), 최대 탄성(E_{max}), 최소 탄성(E_{min}), 표준편차(SD) 값을 얻었다.

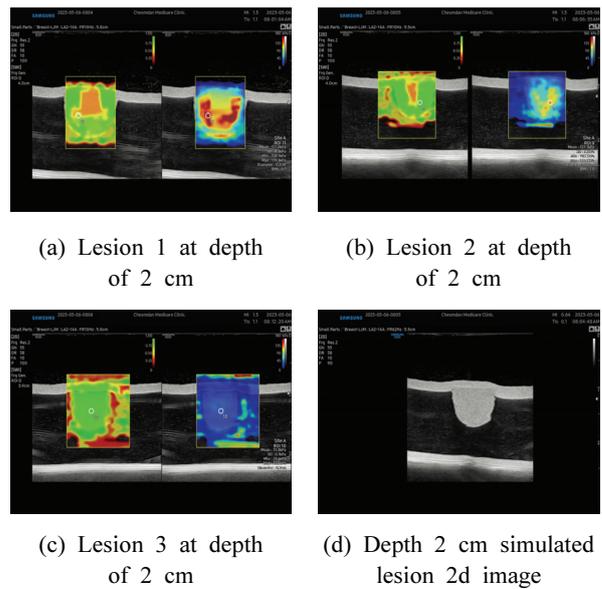


Fig. 2. Simulated Phantom SWE.

4. 통계 분석 방법

자료 분석은 SPSS Window Version 27 (SPSS INC, Chicago, IL, USA)을 이용하였고 연속형 변수는 평균값 ± 표준편차로 기술하였다. 정규성 검정을 시행하여 정규성을 만족하지 않아 비모수적 방법의 통계 방법을 이용하였다. 변수 간의 상관관계를 확인하기 위해 Kendall's Tau_b. test와 Spearman test의 상관관계 분석을 이용하였다.

III. RESULT

1. 모조 병소들 간의 깊이별 SWE 값 측정 결과

모조 병소들 간의 깊이별 SWE 값의 평균값과 표준편차를 비교한 결과 병소들의 강성의 차이에 따라 병소 1 병소 2 병소 3 순으로 값이 작게 나타났다. 깊이 0.2 cm ~ 3 cm의 병소 1과 병소 2는 통계적으로 유의한 차이를 보였고 병소 1과 병소 3에서도 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 병소 2와 병소 3에서도 통계적으로 유의한 차이를 보여 모든 병소들이 통계적으로 유의했으며 Table 1과 같다.(p<0.001)

결과적으로 SWE 값은 병소의 강성이 클수록 크게 나타나고 강성의 차이가 클수록 탄성값도 큰 차이를 보인다는 것을 알 수 있었다.

Table 1. SWE value by depth of each lesion.

Depth (cm)	Lesion 1 (n=20)	Lesion 2 (n=20)	Lesion 3 (n=20)	p
0.2	160.7 ± 11.8 ^{*,#}	106.2 ± 7.6 ^{*,†}	23.1 ± 1.9 ^{#,†}	< 0.001
0.5	170.2 ± 12.1 ^{*,#}	129.3 ± 14 ^{*,†}	32.5 ± 3.4 ^{#,†}	< 0.001
1	175.6 ± 6 ^{*,#}	126 ± 12.5 ^{*,†}	29.5 ± 2.7 ^{#,†}	< 0.001
2	170.2 ± 9.6 ^{*,#}	126.8 ± 10.4 ^{*,†}	36 ± 2.5 ^{#,†}	< 0.001
3	139 ± 10.6 ^{*,#}	98.8 ± 10.6 ^{*,†}	41.5 ± 3.7 ^{#,†}	< 0.001

Asterisk (*): Difference in SWE values between Lesion 1 and Lesion 2
 Hash (#): Difference in SWE values between Lesion 1 and Lesion 3
 Dagger (†): Difference in SWE values between Lesion 2 and Lesion 3

2. 깊이와 변수들 간의 상관관계 분석 결과

2.1. 모조 병소 1에서 깊이와 SWE 값의 상관관계

모조 병소 1에서 깊이와 SWE 값 간에 Kendall's Tau_b. test와 Spearman test에서 모두 통계적으로

유의성이 없는 상관관계를 나타냈고 Table 2와 Fig. 3과 같다.

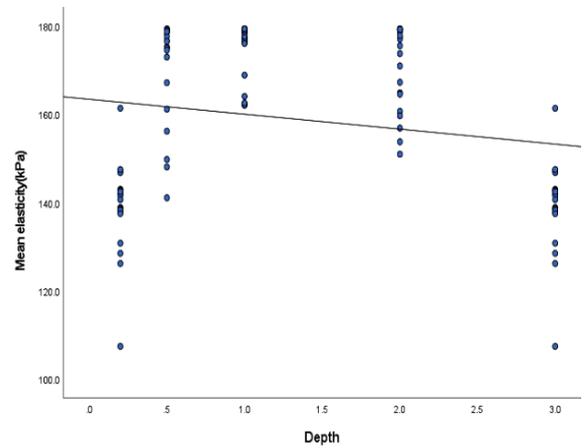


Fig. 3. Linear curve graph of Depth and SWE Value.

Table 2. Correlation between depth and SWE value in simulated lesion 1

SWE Value (kPa)	Kendall's Tau_b. test		Spearman test	
	p	r	p	r
Mean Elasticity	0.99	-0.001	0.973	0.003

2.2. 모조 병소 2에서 깊이와 SWE 값의 상관관계

모조 병소 2에서 깊이와 SWE 값 간에 Kendall's Tau_b. test와 Spearman test에서 모두 통계적으로 유의성이 없는 상관관계를 나타냈고 Table 3과 Fig. 4와 같다.

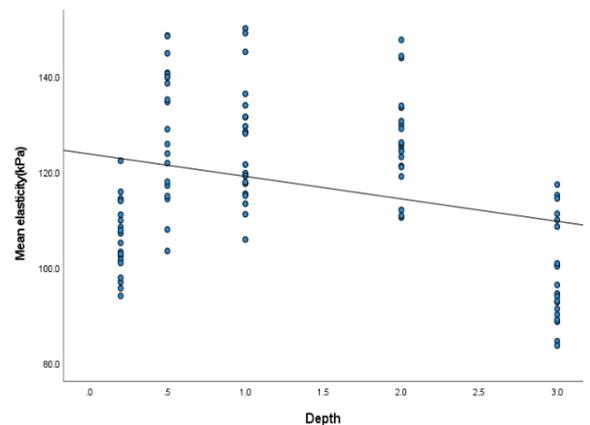


Fig. 4. Linear curve graph of Depth and SWE Value.

Table 3. Correlation between depth and SWE value in simulated lesion 2

SWE Value (kPa)	Kendall's Tau_b. test		Spearman test	
	p	r	p	r
Mean Elasticity	0.311	-0.075	0.25	-0.116

2.3. 모조 병소 3에서 깊이와 SWE 값의 상관관계

모조 병소 3에서 깊이와 SWE 값 간에 Kendall's Tau_b. test와 Spearman test에서 Mean Elasticity 값은 깊이가 깊어질수록 SWE 값이 증가하는 높은 상관관계를 나타냈으며 p<0.001로 통계적으로 유의했고 Table 4와 Fig. 5와 같다.

Table 4. Correlation between depth and SWE value in simulated lesion 3

SWE Value (kPa)	Kendall's Tau_b. test		Spearman test	
	p	r	p	r
Mean Elasticity	<0.001	0.678	<0.001	0.828

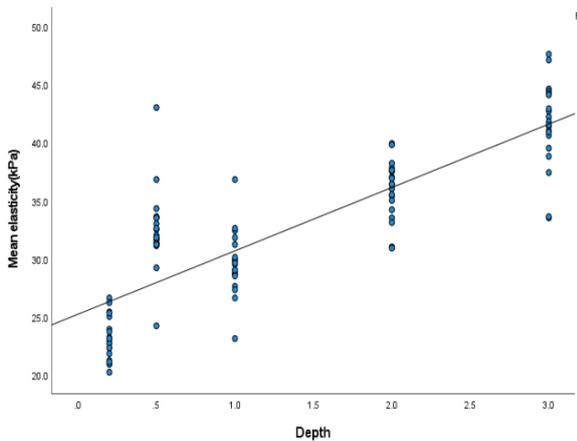


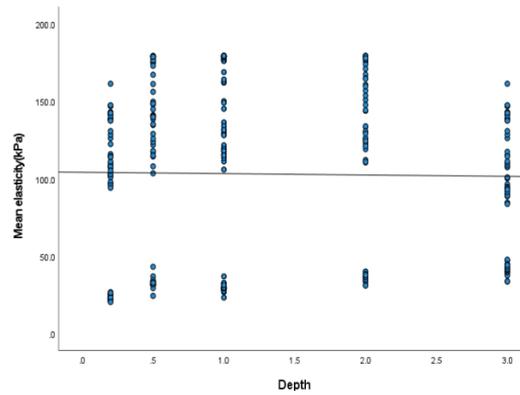
Fig. 5. Linear curve graph of Depth and SWE Value.

3. 전체 변수 간의 상관관계 분석 결과

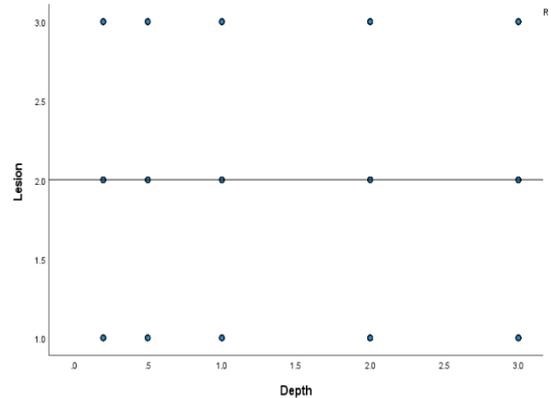
모조 병소의 강성, 깊이, SWE 값 간에 상관관계를 분석한 결과 Fig. 6과 같다.

깊이와 SWE 값, 깊이와 모조 병소 간에는 통계적으로 유의할 만큼 상관관계를 나타내지 않았다. 모조 병소와 SWE 값 간에 상관관계는 모조 병소의

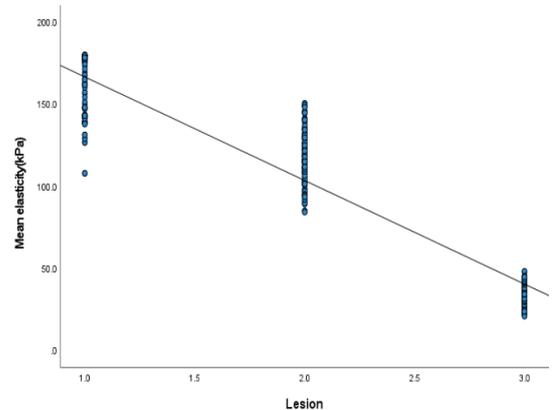
강성의 차이에 따라 SWE 값은 Kendall's Tau_b. test (p<0.001) 와 Spearman test (p<0.001)에서 모두 통계적으로 유의할 만큼 상관관계를 나타냈다.



(a) Depth and SWE Value



(b) Depth and Lesion



(c) Lesion and SWE Value

Fig. 6. Linear Curve of between all variables.

IV. DISCUSSION

탄성초음파 검사는 양성 종괴를 확실하게 양성으로 진단하는 특이도를 높여 불필요한 조직 검사의 횟수를 줄이는 유용한 검사이다. An *et. al.*^[8]는 유방 종괴 조직 검사 대상자의 초음파와 탄성초음파의 진단 정확도를 비교하였고, B-Mode 초음파 검사와 탄성초음파 검사의 분석 결과 탄성 계수와 탄성 지수가 높을수록 유방암으로 진단될 확률이 높았다. B-Mode 초음파와 탄성계수의 결합 변수의 경우에서 특이도가 가장 높아 불필요한 조직 검사를 줄이는데 도움이 되는 것으로 나타났다. Au *et. al.*^[13]의 연구에 따르면 BI-RADS 카테고리 4a로 보이는 병소의 평가에 진단과 탄성계수 평가를 추가하면 약 90%가 BI-RADS 카테고리 3으로 다운그레이드 되어 조직 검사를 피할 수 있다.

진단과 탄성초음파 검사는 재현성이 높고 검사자에 대한 의존성이 낮은 것으로 알려져 있다^[8]. Cosgrove *et. al.*^[14]은 진단과 탄성초음파의 관찰자 내, 관찰자 간 재현성 평가를 위해 758건의 진단과 탄성초음파를 분석 하였고 그중 391건(51.6%)은 진단과 탄성초음파에서 매우 일관된 탄성을 보였으며, 212건(28.0%)은 다소 일관된 탄성을 보였고, 155건(20.4%)은 일관되지 않은 탄성을 보였다. 평균 탄성 및 최대 탄성은 각각 거의 완벽한 관찰자 간 신뢰성을 보였다 (ICC=0.87 및 0.84). 결론적으로 관찰자 내 및 관찰자 간 비교 모두에서 유방 진단과 탄성 초음파검사는 재현성이 매우 높은 것으로 나타났다. Kim *et. al.*^[15]은 진단과탄성초음파 검사의 재현성 및 정확도를 평가하기 위하여 4종류의 다른 탄성을 가진 모조 병소 팬텀인 Elasticity QA phantom model(Customized 049A Elasticity QA Phantom, CIRS, Norfolk, VA)을 이용하여, 표면에서 2 cm 깊이에 위치한 크기가 다른(1.8 cm, 1.1 cm, 0.7 cm, 0.4 cm, 0.25 cm) 모조 병소에서의 탄성도의 재현성을 연구하였다. 연구 결과에 따르면 진단과 탄성 초음파검사는 관찰자 간 및 관찰자 내 ICC 측정에서 0.9 이상의 높은 재현성을 보였고, 모조 병소의 강성과 크기는 진단과 탄성 초음파의 재현성에 영향을 미치지 않았다.

이와 같은 시판되는 phantom을 이용한 진단과 탄성초음파 검사의 재현성을 알아보기 위한 연구는 모조 병소의 깊이가 제한적이었다. 본 연구에서는 모조 병소의 깊이와 강성에 따른 SWE 측정값의 재현성을 알아보기 위해 유방조직의 음향 속도와 감쇠 계수가 유사한 비율의 한천과 젤라틴 혼합물을 이용하여 직접 제작한 팬텀으로 실험하였다. 강성이 다른 3종류의 모조 병소가 표면에서 0.2 cm, 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm의 깊이에 위치하는 5개의 팬텀을 제작하여 이용하였고, 모조 병소의 강성과 깊이는 진단과 탄성초음파 검사의 재현성에 영향을 미치지 않았다.

초음파 검사에서 인체 모의 매질팬텀을 이용한 선행연구들은 카파 카라기난을 이용한 경우가 많았다^[16,17]. 카파 카라기난을 이용하여 모조 병소를 넣은 팬텀을 제작해 본 결과 용해시킨 용액이 단시간에 굳어 모조 병소를 삽입하기 어려움이 있었고 진단과 탄성초음파의 탄성도가 정확하게 측정되지 않아서 Dang *et. al.*^[9]의 연구에 이용한 한천과 젤라틴의 비율을 참고하여 팬텀을 제작하였다. 한천과 젤라틴 혼합물은 농도에 따라 겔화 속도의 차이가 있었고, 유방의 지방 배경층으로 사용한 1%의 젤라틴과 0.5%의 한천 혼합물의 경우 실온에서 겔화가 잘 진행되지 않아 냉장 보관으로 겔화시켰다. 모조 병소의 삽입 방법은 Manickam *et. al.*^[18]의 엘라스토그래피 트레이닝 팬텀 개발에 대한 논문을 참고하여 배경층에 모조 병소를 넣을 공간을 확보한 후 겔화시킨 후 다시 배경층 용액을 부어 겔화시키는 방법을 사용하였다. 제작한 팬텀은 실온에서 10시간 이상 경과 하였을 경우 다시 액체화되어, 실험을 진행하지 않을 때는 냉장 보관하여 사용하였고, 냉장보관 시 30일 동안은 변화 없이 재사용이 가능하여 반복 측정이 가능하였다.

Gu *et. al.*^[9]은 659명의 환자의 SWE를 환자의 연령, 유방촬영술 유방 밀도, 병변 크기 및 깊이와 같은 매개 변수를 이용하여 분석하였다. 병변의 깊이가 깊어질수록 음향 전파 신호가 감쇠함에 따라 더 깊은 곳에 위치한 병변에서의 진단과 탄성초음파 측정에서는 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 따라서 진단과 탄성초음파검

사는 깊은 병변에서도 신뢰할 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 병소의 깊이와 강성에 따라 SWE의 반복 측정 시에 측정된 탄성값의 재현성이 유지되는지 알아보기 위해 병소의 깊이를 진단과 탄성초음파 측정 가능한 3 ~ 4 cm 깊이까지 설정하여 실험하였다. 그 결과 강성이 큰 병소에서는 깊이에 따른 진단과 탄성초음파의 탄성값의 차이는 존재하였으나 재현성을 유지하여 신뢰할 수 있는 검사였다. 강성이 가장 작은 모조 병소에서는 병소의 깊이가 깊어질수록 SWE 값도 증가하여 강성이 작은 병소에서 SWE 측정시에 좀 더 주의해야 한다는 것을 알 수 있었다. 하지만 같은 깊이에서 반복 측정에는 유의할 만큼 상관관계를 나타내지 않았고 병소의 깊이보다는 강성이 SWE 값을 결정하는데 밀접한 관련이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 진단과 탄성초음파는 병변의 깊이와 상관없이 신뢰할 수 있는 검사 방법이기 때문에 유방 결절의 진단에 있어서 진단과 탄성초음파 검사가 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구에서 제한점은 실험을 위해 제작한 팬텀은 유방의 배경층이 균질한 경우를 가정하여 제작되었으나 실제 유방은 지방층과 유방 실질층이 혼재되어 있다. 따라서 실제 유방에서의 SWE 측정과 팬텀에서의 SWE 측정의 차이가 발생할 것이라 생각되며 이에 따른 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 강성이 다른 모조 병소를 삽입한 팬텀을 제작하여 병소의 강성과 깊이에 따른 SWE의 반복 측정 시 재현성 분석을 진행하였다. 그 결과로 강성이 큰 모조 병소에서 탄성값의 표준편차가 강성이 작은 모조 병소에서 보다 더 크게 나타났다. 탄성 값은 모조 병소의 강성에 따라 강성이 클수록 크게 나타났고, 모조 병소 간의 강성의 차이가 클수록 탄성값도 큰 차이를 보였다. 강성이 큰 모조 병소 1과 2에서 모조 병소와 깊이와의 관계는 통계적으로 유의성 없는 상관관계를 보였다. 강성이 작은 모조 병소 3에서는 병소의 깊이와 탄성 값이 $p < 0.001$ 로 높은 상관관계를 나타냈다. 강

성이 작은 병소일수록 SWE값이 병소의 깊이에 따라 변화하는 것이 확인되어 탄성 값이 낮은 병소에서는 결괏값이 위양성이 나올 가능성이 있으므로 측정에 더 주의해야 한다.

모조 병소의 강성과 깊이와 탄성 값의 상관관계를 분석한 결과 깊이와 탄성 값, 깊이와 강성 간에 통계적으로 유의할 만큼의 상관관계를 보이지 않았다. 모조 병소의 탄성 값은 병소의 깊이보다는 강성에 따른 차이를 보여주었다. SWE의 반복 측정에 따라 측정값의 차이는 발생하지만 통계적으로 유의할 만큼 상관관계가 나타나지 않았기에 신뢰할 수 있는 검사법임을 확인할 수 있었고, SWE를 이용한 유방 초음파 검사가 진단에 매우 유용할 것으로 사료된다.

Reference

- [1] National Health Insurance Service, *National Health Insurance Statistical Yearbook*, pp. 1738-8945, 2021.
- [2] K. Kerlikowske, D. Grady, J. Barclay, "Effect of Age, Breast Density, and Family History on the Sensitivity of First Screening Mammography", *The Journal of the American Medical Association*, Vol. 276, No. 1, pp. 33-38, 1996.
<http://dx.doi.org/10.1001/jama.276.1.33>
- [3] W. K. Moon, *Breast Ultrasound*, 2nd ED., Lichokak., Seoul, pp. 112-126, 2019.
- [4] H. J. Youn, H. R. Ahn, S. Y. Kang, S. H. Jung, "Efficacy of Ultrasonography in Breast Cancer Screening", *Journal of Surgical Ultrasound*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-7, 2019.
<https://doi.org/10.46268/jsu.2019.6.1.1>
- [5] W. A. Berg, Z. Zhang, D. Lehrer, R. A. Jong, E. D. Pisano, R. G. Barr, M. Bhm-Velez, M. C. Mahoney, W. Phil Evans III, L. H. Larsen, M. J. Morton, E. B. Mendelson, D. M. Farria, J. B. Cormack, H. S. Marques, A. Adams, N. M. Yeh, G. Gabrielli, "Detection of breast cancer with addition of annual screening ultrasound or a single screening MRI to mammography in women with elevated breast cancer risk", *Journal of the American Medical Association*, Vol. 307, No. 13, pp. 1394-1404, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1001/jama.2012.388>

- [6] C. J. D'Orisi, *ACR BI-RADS Atlas: Breast Ultrasound Breast Imaging Reporting and Data System*, American College of Radiology, Reston, Virginia, pp. 121-132, 2013.
- [7] J. H. Youk, E. K. Kim, M. J. Kim, K. H. Ko, J. Y. K, E. J. Son, J. J. C, H. Y. Kang, "Concordant or Discordant Imaging-pathology Correlation in a Sonography Guided Core Needle Biopsy of a Breast Lesion", *Journal of Korea Radiology*, Vol. 12, No. 2, pp. 232-240, 2011.
<http://dx.doi.org/10.3348/kjr.2011.12.2.232>
- [8] H. An, I. C. Im, "Comparison of Shear Wave Elastography and Pathologic Results Using BI-RADS Category for Breast Mass", *Journal of Korean Society of Radiology*, Vol. 12, No. 2, 2018.
<https://doi.org/10.7742/jksr.2018.12.2.217>
- [9] J. H. Yoon, H. K. Jung, J. T. Lee, K. H. Ko, "Shear-wave elastography in the diagnosis of solid breast masses: what leads to false-negative or false-positive results?", *European Radiology*, Vol. 23, No. 9, pp. 2432-2440, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00330-013-2854-6>
- [10] W. K. Moon, J. M. Chang, N. Cho, "Elastography of the Breast: Imaging Techniques and Pitfalls in Interpretation", *Journal of Korean Society of Medical Ultrasound*, Vol. 30, No. 4, pp. 245-249, 2011.
- [11] J. M. Chang, J. K. Won, K. B. Lee, I. A. Park, A. Yi, W. K. Moon, "Comparison of Shear-Wave and Strain Ultrasound Elastography in the Differentiation of Benign and Malignant Breast Lesions", Vol. 201, No. 2, pp. 235-462, 2013.
<https://doi.org/10.2214/AJR.12.10416>
- [12] J. Dang, P. Lasaygues, D. Zhang, S. Tavernier, N. Felix, B. Frish, S. Mensah, M. Wan, "Development of anthropomorphic phantoms for combined PET-ultrasound breast imaging", 2009 IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, Orlando, USA, pp. 3088-3092, 2009.
<https://doi.org/10.1109/NSSMIC.2009.5401670>
- [13] F. W. Au, S. Ghai, H. Moshonov, H. Kahn, C. Brennan, H. Dua, P. Crystal, "Diagnostic Performance of Quantitative Shear Wave Elastography in the Evaluation of Solid Breast Masses: Determination of the Most Discriminatory Parameter", *American Journal of Roentgenology*, Vol. 203, No. 3, pp. 328-336, 2014.
<http://dx.doi.org/10.2214/AJR.13.11693>
- [14] D. O. Cosgrove, W. A. Berg, C. J. Doré, D. M. Skyba, J. P. Henry, J. Gay, C. C. Bacrie, "Shear wave elastography for breast masses is highly reproducible", *European Radiology*, Vol. 22, No. 5, pp. 1023-1032, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00330-011-2340-y>
- [15] H. R. Kim, H. J. Kim, B.K. Han, J. S. Choi, E. S. Ko, E. Y. Ko, "Accuracy and Reproducibility of shear wave elastography according to the size and elasticity of lesions A phantom study", *Medicine*, Vol. 101, No. 41, pp. 31095-31097, 2022.
<http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000031095>
- [16] C. M. Jeon, J. B. Han, J. G. Kwak, J. N. Song, "An Analysis of Temperature Change and TI MI using Tissue Mimicking Phantom in Ultrasonic Examination", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol 16, No. 6, pp. 751-759.
<http://doi.org/10.7742/jksr.2022.16.6.751>
- [17] J. N. Park, J. B. Han, K. J. Gil, S. J. Nam, "Image Quality Analysis According to the of a Linear Transducer", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 16, No. 7, pp. 975-984, 2022.
<http://doi.org/10.7742/jksr.2022.16.7.975>
- [18] K. Manickam, M. R. Reddy, S Seshadri, B. Raghavanc, "Development of a training phantom for compression breast elastography comparison of various elastography systems and numerical simulations", *Journal of Medical Imaging*, Vol. 2, No. 4, pp. 047002, 2015.
<https://doi.org/10.1117/1.jmi.2.4.047002>
- [19] J. Gu, E. C. Polley, R. Ternifi, R. Nayak, J. C. Boughey, R. T. Fazzio, M. Fatemi, A. Alizad, "Individualized-thresholding Shear Wave Elastography combined with clinical factors improves specificity in discriminating breast masses", *The Breast*, Vol. 54, No. 6, pp. 248-255, 2020.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.breast.2020.10.013>

유방초음파 검사에서 모조 병소의 깊이에 따른 전단파 탄성초음파의 재현성 평가

김진희^{1,2}, 김인수², 전철민², 한재복^{2,*}

¹첨단 메디케어 의원

²동신대학교 방사선학과

요 약

탄성 초음파는 양성 종괴에 비해 악성 종괴의 경우 조직이 더 단단하다는 것을 이용하여 종괴의 탄성계수에 따라 진단의 특이도를 높여주어 불필요한 조직검사를 줄이는데 도움이 되고 있다. 이러한 탄성 초음파 검사는 검사 장비나 검사자에 따라 재현성의 문제가 있을 수 있기에, 본 연구에서는 탄성 초음파 검사의 신뢰성을 확인하고자 탄성 초음파의 탄성값 반복 측정시 재현성에 관한 팬텀 영상 평가를 분석하였다. 한천과 젤라틴을 이용하여 각각 다른 강성을 가지는 3개의 모조 병소를 표면으로부터 깊이가 다르게 삽입한 팬텀을 자체 제작하여 전단파 탄성 초음파를 이용하여 탄성값을 반복 측정하였다. 병소의 강성과 깊이의 차이에 따라 측정된 탄성값의 재현성이 유지되는지를 분석해 보았다. 실험 결과 전단파 탄성 초음파의 탄성값과 병소의 깊이, 병소의 강성과 깊이는 통계적으로 유의할 만큼 상관관계를 나타내지 않았다. 하지만 강성이 가장 낮은 모조 병소에서는 병소의 깊이에 따라 탄성값은 $p < 0.001$ 으로 통계적으로 유의했고 높은 상관관계를 보였다. 병소의 강성과 깊이의 차이에 따라 전단파 탄성초음파의 탄성값의 반복 측정시 측정값의 차이는 발생하지만, 진단에 영향을 주지 않는 수준이므로 전단파 탄성초음파 검사는 신뢰할 수 있는 검사방법이기에 유방 결절의 진단에 있어서 전단파 탄성초음파 검사가 도움이 될 것으로 사료된다.

중심단어: 전단파 탄성초음파, 유방초음파, 탄성초음파 팬텀

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김진희	첨단 메디케어 의원 동신대학교 방사선학과	대학원생(석사과정)
(공동저자)	김인수	동신대학교 방사선학과	교수
	전철민	동신대학교 방사선학과	대학원생(박사과정)
(교신저자)	한재복	동신대학교 방사선학과	교수