

## 유방암 환자에서 진단과 탄성초음파의 임상적 적용

전북대학교 의과대학 외과학교실 유방·갑상선외과

윤현조, 강상율, 정성후

## Clinical Application of Shear Wave Elastography in Patients with Breast Cancer

Hyun Jo Youn, Sang Yull Kang, Sung Hoo Jung

Division of Breast · Thyroid Surgery, Department of Surgery, Chonbuk National University Medical School, Jeonju, Korea

Received July 23, 2018  
Revised September 28, 2018  
Accepted October 7, 2018

### Correspondence to:

Sung Hoo Jung  
Division of Breast · Thyroid  
Surgery, Department of Surgery,  
Chonbuk National University  
Medical School, 20 Geonji-ro,  
Deokjin-gu, Jeonju 54907, Korea  
Tel: +82-63-250-2133  
Fax: +82-63-271-6197  
E-mail: shjung@jbnu.ac.kr

Elastography is an imaging modality for assessing tissue differences regarding stiffness or elasticity for what was historically assessed manually by clinical palpation. Shear wave elastography (SWE) is a recently developed ultrasound technique that can visualize and measure tissue elasticity. Combined with conventional B-mode ultrasonography, SWE can potentially evaluate the elasticity of a breast lesion and help to distinguish malignant breast tumors from benign ones. SWE provides high quality images for diagnosing breast cancer, which eventually helps reduce false-positive results and avoids unnecessary biopsies. More recently, SWE been proven useful for the diagnosis of breast cancer, and has been shown to provide valuable information that can be used as a predictor of the response to neoadjuvant chemotherapy or prognosis. This article reviews the clinical application and current role of SWE in patients with breast cancer.

**Keywords:** Elasticity imaging techniques, Breast neoplasms, Ultrasonography

## 서 론

유방암은 전 세계적으로 여성에서 발생하는 가장 흔한 암으로 국내에서도 2015년 한 해 약 22,500명의 새로운 환자가 발생해 여성암 발생율 2위를 차지하였다.(1) 유방암 발생률은 해가 갈수록 증가하고 있으며, 그 이유를 확실히 규명하기는 어렵지만 고지방, 고칼로리의 서구화된 식생활과 그로 인한 비만, 늦은 결혼과 출산율 저하, 수유 감소, 이른 초경과 늦은 폐경 등으로 에스트로겐 (estrogen)에 노출되는 기간이 증가한 점이 요인으로 생각된다. 또한 일반 국민의 건강에 대한 관심 증가에 따른 검진의 활성화와 함께 영상학적 진단 기술의 발전 등을 그 원인으로 꼽을

수 있다.(2)

유방암을 진단하기 위한 영상 검사로 유방촬영술(mammography)과 유방 초음파(ultrasonography)가 가장 널리 사용되고 있지만 유방촬영술은 치밀 유방을 가진 환자에서 위음성률(false-negative rate)이 높고, 반면에 유방 초음파는 많은 고형 병변들이 양성으로 판정되어 낮은 특이도(specificity)를 보이는 단점이 있다. 이러한 제한점들을 극복하기 위해 고화질의 영상으로 유방 병변의 특징을 잘 보여주는 탄성초음파(elastography)가 소개되었다.(3-5)

탄성초음파는 비침습적으로 조직의 단단한 정도를 실시간으로 측정하고 영상화할 수 있는 방법으로 악성 종양

이 정상 조직 또는 양성 종양보다 더 단단하다는 특성을 이용하여 초음파로 종양의 단단한 정도(stiffness)와 탄성도(elasticity)를 측정한다.(6,7) 다른 질환에서도 탄성 초음파에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있지만 유방 병변을 진단하는 도구로서 매우 유용한 장점 때문에 최근에 유방암 환자에서 탄성초음파의 유용성에 관한 연구 결과들이 많이 보고되고 있다.(8) 탄성초음파는 고식적 B-mode 초음파(conventional B-mode ultrasonography)와 함께 시행하였을 때 유방 초음파의 진단 특이도를 높일 수 있는 것으로 알려져 있으며, 최근에는 양성과 악성 유방 종양의 감별 뿐만 아니라 선행항암화학요법에 대한 반응 및 수술 전 유방암 환자의 예후도 예측할 수 있다고 보고된다.(9,10)

이에 저자들은 문헌 고찰을 통해 탄성초음파의 원리를 살펴보고 유방암 환자에서 진단과 탄성초음파(shear wave elastography; SWE)의 임상적 적용과 그 유용성에 관하여 살펴보고자 한다.

## 본 론

### 1. 탄성초음파의 원리

탄성초음파의 개념은 1990년대 초에 처음 소개되었고,(11) 유방 병변에서의 임상적 적용은 1997년 Garra 등이 처음 보고하였다.(12) 탄성초음파에서 조직의 탄성도는 작은 압박(stress)을 가해 조직이 이동(displacement)

하는 정도에 따라 측정하는데 크게 정적(static)인 방법(strain elastography)과 동적(dynamic)인 방법(SWE)으로 나뉜다.

Strain 탄성초음파는 초음파 탐촉자(probe)로 피부 표면에 가벼운 압력을 일정하게 반복적으로 가해 조직 변형을 영상화하는 방식으로 관심 영역(region of interest; ROI)내에서 조직의 상대적인 변형률(relative strain)을 계산하며 변형 정도는 조직의 단단함에 반비례해 단단할수록 악성을 시사한다. 간편하게 실시간으로 영상을 얻을 수 있는 장점이 있는 반면에 주관적이고 시행자 의존적인 단점이 있다.(13)

SWE는 점탄성 매체의 한 지점에 초음파를 집속시켜 강한 충격을 줌으로써 집속된 지점을 판원으로 하여 발생하는 shear wave를 이용하여 매체 내의 탄성 변형 상태를 영상화 하는 것으로 shear wave의 전파 속도는 조직의 단단한 정도를 반영하여 속도가 빠를수록 악성의 가능성을 시사한다. 이렇게 측정된 속도로부터 조직의 탄성 계수(Young's modulus)를 kilopascal (kPa) 단위로 계산해서 영상화한다(Fig. 1).(14) Strain 탄성초음파에 비해 시행자에게 덜 의존적이며 재현성(reproducibility)이 좋고 정량적 측정(quantitative measurement)이 가능한 장점이 있어 최근에 많이 시행하고 있다.(15) 이에 두 방법 중 SWE의 유방암 환자에서의 임상적 유용성에 대해 살펴보고자 한다.

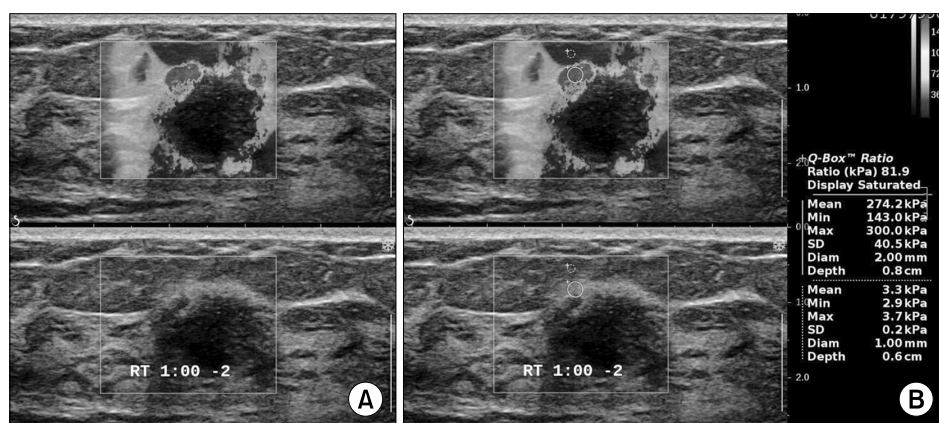


Fig. 1. Shear wave elastography in a 48-year-old woman with invasive ductal carcinoma. (A) Shear wave elastography (upper) and B-mode image (lower) show a 13-mm, irregular mass with red, heterogeneous elasticity. (B) The mean, minimum, maximum, and standard deviation of elasticity values were measured in kilopascal (kPa) by placing the region of interest (ROI) (circle). The elasticity ratio of the mass to the reference fat tissue (81.9) was measured by placing a second ROI over the surrounding fat tissue (dotted circle).

## 2. SWE의 판독

### 1) 정량적(Quantitative) 방법

유방 조직의 탄성도는 ROI의 최대( $E_{\max}$ ), 평균( $E_{\text{mean}}$ ), 최소( $E_{\min}$ ) 단단함과 표준 편차(standard deviation;  $E_{\text{SD}}$ ), 그리고 배경(background)에 대한 종양의 단단함 비율( $E_{\text{ratio}}$ )에 의해 결정된다.  $E_{\max}$ 와  $E_{\text{mean}}$ 은 종양의 일반적인 단단함을 나타내는 반면에  $E_{\text{ratio}}$ 는 주변 지방 조직에 대한 종양의 상대적인 단단함을 표시한다.(14,16) *In vivo*에서 측정된 지방 조직의  $E_{\text{mean}}$  값은 5–10 kPa이고 유방 실질은 30–50 kPa이며 유방 병변들은 악성 정도에 따라 50–80 kPa로 다양하게 측정된다.(16,17)  $E_{\text{mean}}$ 과  $E_{\text{SD}}$ 는 모두 ROI의 크기에 따라 변하기 때문에 판독 시 ROI의 크기를 반드시 고려해야 한다.(18) 일반적으로 유방의 양성 병변들은 정상 유방 조직보다는 단단하고 악성 병변들보다는 부드럽지만 적절한 절단값(cutoff values) 또는 가장 좋은 정량적 변수(quantitative parameter)에 대한 명확한 합의(consensus)는 아직 없는 상태이다.(19)

### 2) 정성적(Qualitative) 방법

SWE에서 실시간으로 보여지는 색-코드 탄성도(color-coded elasticity)로부터 유방 병변들은 정성적으로 분석될 수 있다. 정량적으로 탄성도를 측정하기 전에 색 형상(color features)을 시각적으로 볼 수 있기 때문에 정성적인 판독이 좀 더 즉각적으로 이루어진다. 정성적인 양상 분류(pattern classification)는 악성 종양이 가진 조직학적 이질성(heterogeneity)을 묘사할 수 있는데 주변부(peripheral)의 증가된 단단함('stiff rim sign')과 이질적인 색 형상은 악성 종양을 시사한다.(20) 정량적인 분석과 함께 정성적인 양상 분류 또한 좋은 진단 결과를 보인다고 보고되었으나,(21) 정성적인 측정 방법 보다는 정량적인 방법이 좀 더 객관적인 정보를 얻을 수 있다고 알려져 있다.(19)

## 3. SWE의 임상적 유용성

### 1) 양성과 악성 병변의 구별

SWE는 유방의 양성과 악성 종양을 구별하는데 높은 민감도와 특이도를 가진다. 기존의 보고들을 종합해보면 여러 정량적 변수들 중  $E_{\max}$ 와  $E_{\text{ratio}}$ 가 가장 좋은 인자로 알려져 있는데 각각 90.3% (60.9%–97.0%)와 88.0% (71.4%–96.7%)의 민감도, 81.8% (77.0%–100%)와 93.7%

(90.6%–100%)의 특이도 그리고 0.931 (0.741–0.961)과 0.952 (0.917–0.987)의 area under receiver operating curve (ROC) 값을 보인다.(9,13,15,16,20–25) Xue 등(9)이 최근에 발표한 meta-analysis에 따르면 SWE는 Asian보다 Caucasian에서 좀 더 높은 진단 정확도를 보였으며(92.0% vs. 95.0%), 0.93의 높은 ROC 값을 보여 SWE가 유방암의 조기 진단에 도움을 줄 수 있을 것이라 보고하였다.

유방 초음파만 단독으로 시행했을 때보다 유방 초음파와 SWE를 함께 시행했을 때 악성 종양의 진단 정확도가 증가하는 것으로 알려져 있다.(14,15,19,20,24) 유방의 여러 병변들에 대한 유방 초음파와 SWE의 영상학적 특징은 Table 1과 같으며, SWE를 통한 종양의 모양, 크기 비율(size ratio), 동질성(homogeneity)과 정량적 분석 등은 고식적 유방 초음파를 보완해 더욱 정확한 진단을 가능하게 한다. 체계적 고찰에 따르면 유방 초음파 단독 시행군과 유방 초음파와 SWE를 함께 시행한 군은 각각 94.9% (88.1%–97.9%)와 97.1% (94.1%–98.6%)의 민감도, 55.2% (26.4%–80.9%)와 80.1% (73.3%–85.6%)의 특이도 그리고 0.93 (0.90–0.95)과 0.96 (0.94–0.97)의 area under ROC 값을 보였다.(26) SWE는 특히 유방 초음파의 Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) 범주 3과 4a 병변들의 감별에 도움을 줌으로써 불필요한 조직 검사의 시행을 줄여 환자들의 불안을 감소시키는 효과를 보였다.(14,27) 또한 SWE는 병변의  $E_{\max}$ 가 20 kPa 이하이거나 검정부터 진한 파랑까지의 색 탄성을 보였을 때 BI-RADS 범주 3 병변을 2로 낮춤으로써 추적 관찰을 위한 외래 방문 횟수를 줄이는 데 도움을 주었다.(28) 크기가 크거나 분열된 경계(abrupt boundary)를 가진 종양

**Table 1.** Imaging Features of Breast Ultrasonography and Shear Wave Elastography

Type of lesion	Ultrasonography	Shear wave elastography
Cyst	Round/oval anechoic lesion with clear transmission	Bull's-eye appearance with brighter posterior wall
Fibroadenoma	Oval well-defined, homogeneous hypoechoic area	Area of greater stiffness smaller than lesion boundaries
Carcinoma	Hypoechoic spiculated/microtubular branching mass	Increased stiffness, larger lesion than ultrasonographic image

또는 상피내암의 경우에는 SWE의 진단 정확도가 떨어질 수 있으니 주의를 요하며 환자의 연령, 유방 두께, 병변의 깊이, 유두와의 거리, 해상도 등도 판독에 영향을 미칠 수 있음을 숙지해야 한다.(29,30)

### 2) 선행항암화학요법의 반응 예측

최근에 진행된 유방암 환자의 수술 전 병기를 낮추고 수술 범위를 축소시키기 위한 선행항암화학요법 (neoadjuvant chemotherapy; NACTx)을 활발히 시행하고 있다. NACTx 후 병리학적 완전 관해(pathologic complete response)를 보이는 경우 낮은 재발률과 긴 무병 생존율을 보인다고 알려져 있으나 NACTx의 반응을 예측할 수 있는 인자에 관해서는 아직 논란이 많다.(31) NACTx의 반응 예측 인자로 자기공명영상(magnetic resonance imaging; MRI)을 포함한 여러 영상학적 검사를 대상으로 많은 연구가 이루어 졌지만 지금까지 만족할 만한 결과는 얻지 못했다.(32,33)

종양의 단단함이 간질 내 콜라겐(collagen) 함량과 관계 있으므로 SWE에 의해 측정된 간질의 단단함이 NACTx 후 간질의 구조적 이상을 측정하고 나아가 반응을 예측하는데 도움을 줄 수 있을 것이라는 보고가 있었다.(34) 이후 Ma 등(35)이 SWE를 이용해 측정한 종양의 탄성도 변화가 NACTx 반응과 밀접한 관련이 있음을 보고하였으며, Jing 등(36)은 SWE가 73%의 민감도와 86%의 특이도로 NACTx 후 반응을 예측하였다고 보고하였다. 향후 기존에 보고된 NACTx의 반응 예측 인자와 SWE를 함께 시행하여 연구한다면 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

### 3) 유방암 환자의 예후 예측

유방암 환자에서 잘 알려진 예후 예측 인자로는 종양의 크기, 조직학적 등급, 림프절 전이 여부, 림프혈관 침범 여부 등이 있다. 침윤 범위가 넓고, 조직학적 등급이 높고, 림프혈관 침범이 있는 경우 종양의 단단함이 증가한다고 보고되었기에,(16,37) SWE를 이용하여 이러한 인자들을 측정한다면 유방암 환자의 예후를 예측할 수 있을 것으로 생각한다.

유방암의 면역조직화학염색에서 에스트로겐 또는 프로게스테론 수용체 음성, p53 양성, Ki-67 양성과 높은  $E_{ratio}$ 가 통계학적으로 의미있는 상관관계를 보였으며, 유방암의 아형들(subtypes) 중 삼중 음성(triple negative)과 HER2 양성 유방암이 에스트로겐 양성 유방암보다 더

단단함을 보여 이를 통한 예후 예측도 가능하다.(38)

유방암 환자의 림프절 전이 여부는 병기를 결정하고 향후 치료 계획을 세우며 예후를 예측하는데 매우 중요하다. 겨드랑이 림프절 절제술에 따른 림프부종 등의 합병증을 줄이기 위해 감시림프절 생검술 시행이 보편화 되었으나 최근에는 수술을 시행하지 않고 단일 광자 방출 단층촬영(single photon emission computed tomography) 또는 MRI와 같은 영상학적 검사로 림프절 전이 여부를 판단하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.(39,40) 초음파는 림프절의 크기와 형태학적 특성에 비추어 전이 여부를 진단하는데 유용한 것으로 알려져 있지만 진단 정확도는 매우 다양하게 보고된다.(41) Tourasse 등(42)은 겨드랑이 림프절이 단단할수록 전이 가능성이 높아지며 림프절 피질(cortex)의 단단함을 측정함으로써 고식적 초음파의 제한점을 보완할 수 있다고 보고하였다. 또한 Youk 등(43)은 SWE가 겨드랑이 림프절 전이 여부를 예측할 수 있으며 특히  $E_{ratio}$ 가 전이 림프절의 독립적인 예측 인자라고 보고하였다.

## 4. 전망

향후 유방암의 진단에 있어 SWE의 임상적 유용성이 확립된다면 앞으로 수술 전 병변의 정위(localization), 수술 중 종양의 발견이나 유방암 환자의 추적 관찰에도 SWE가 널리 사용될 수 있을 것이다. 또한 유방 초음파 사용 시 SWE를 함께 사용하면 진단 정확도를 향상시킬 수 있다고 보고되었으므로 유방촬영술 또는 MRI와 SWE를 함께 사용하였을 때의 유용성에 관한 연구도 필요하다.

유방암 환자에서 SWE의 임상적 유용성에 대해 현재까지 많은 연구 결과들이 보고되었지만 실제 임상에서 보편적인 시행을 위해서는 고화질의 영상 획득, 전문 용어(terminology)의 통일, 참고 변수(reference parameter)의 명확한 설정, 평점법(scoring method)의 표준화(standardization) 등을 위한 노력이 필요하다.(44) SWE의 진단 정확도를 높이기 위해 향후 종양과 주변 조직이 얼마나 강하게 부착되어 있는지 보여주는 axial shear strain elastography와 실시간으로 보다 정확하고 구체적인 영상을 제공하는 3D SWE 등의 보다 진보된 영상 기법이 더욱 많이 시행 된다면 유방암의 조기 진단에 큰 도움이 될 것으로 전망한다.

## 결론

탄성초음파는 비침습적으로 조직의 단단한 정도와 탄성도를 측정하는 영상 방법으로 유방 병변의 진단에 유용하다. 특히 SWE는 유방의 양성과 악성 종양을 감별하는데 매우 적합한 검사 방법으로 고식적 초음파와 함께 사용하였을 때 진단 정확도를 더욱 높일 수 있는 신뢰할만한 영상 기법이다. 향후 유방암 환자에서의 활발한 시행을 통해 유방암을 조기에 진단하고 예후를 예측하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

## REFERENCES

- Kang SY, Kim YS, Kim Z, Kim HY, Lee SK, Jung KW, et al. Basic findings regarding breast cancer in Korea in 2015: data from a Breast Cancer Registry. *J Breast Cancer* 2018;21:1-10.
- Korea Breast Cancer Society. *Breast Cancer Facts & Figures 2018*. Seoul: Korea Breast Cancer Society; 2018.
- Saarenmaa I, Salminen T, Geiger U, Heikkinen P, Hyvärinen S, Isola J, et al. The effect of age and density of the breast on the sensitivity of breast cancer diagnostic by mammography and ultrasonography. *Breast Cancer Res Treat* 2001;67:117-23.
- Hooley RJ, Scoutt LM, Philpotts LE. Breast ultrasonography: state of the art. *Radiology* 2013;268:642-59.
- Ricci P, Maggini E, Mancuso E, Lodise P, Cantisani V, Catalano C. Clinical application of breast elastography: state of the art. *Eur J Radiol* 2014;83:429-37.
- Piccoli CW, Forsberg F. Advanced ultrasound techniques for breast imaging. *Semin Roentgenol* 2011;46:60-7.
- Barr RG. Sonographic breast elastography: a primer. *J Ultrasound Med* 2012;31:773-83.
- Faruk T, Islam MK, Arefin S, Haq MZ. The journey of elastography: background, current status, and future possibilities in breast cancer diagnosis. *Clin Breast Cancer* 2015;15:313-24.
- Xue Y, Yao S, Li X, Zhang H. Value of shear wave elastography in discriminating malignant and benign breast lesions: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2017;96:e7412.
- Youk JH, Gweon HM, Son EJ. Shear-wave elastography in breast ultrasonography: the state of the art. *Ultrasonography* 2017;36:300-9.
- Parker KJ, Lerner RM. Sonoelasticity of organs: shear waves ring a bell. *J Ultrasound Med* 1992;11:387-92.
- Garra BS, Cespedes EI, Ophir J, Spratt SR, Zuurbier RA, Magnant CM, et al. Elastography of breast lesions: initial clinical results. *Radiology* 1997;202:79-86.
- Lee SH, Chang JM, Cho N, Koo HR, Yi A, Kim SJ, et al. Practice guideline for the performance of breast ultrasound elastography. *Ultrasonography* 2014;33:3-10.
- Berg WA, Cosgrove DO, Doré CJ, Schäfer FK, Svensson WE, Hooley RJ, et al. Shear-wave elastography improves the specificity of breast US: the BE1 multinational study of 939 masses. *Radiology* 2012;262:435-49.
- Youk JH, Son EJ, Gweon HM, Kim H, Park YJ, Kim JA. Comparison of strain and shear wave elastography for the differentiation of benign from malignant breast lesions, combined with B-mode ultrasonography: qualitative and quantitative assessments. *Ultrasound Med Biol* 2014;40:2336-44.
- Evans A, Whelehan P, Thomson K, McLean D, Brauer K, Purdie C, et al. Quantitative shear wave ultrasound elastography: initial experience in solid breast masses. *Breast Cancer Res* 2010;12:R104.
- Tanter M, Bercoff J, Athanasiou A, Deffieux T, Gennisson JL, Montaldo G, et al. Quantitative assessment of breast lesion viscoelasticity: initial clinical results using supersonic shear imaging. *Ultrasound Med Biol* 2008;34:1373-86.
- Skerl K, Vinnicombe S, Thomson K, McLean D, Giannotti E, Evans A. Anisotropy of solid breast lesions in 2D shear wave elastography is an indicator of malignancy. *Acad Radiol* 2016;23:53-61.
- Athanasiou A, Tardivon A, Tanter M, Sigal-Zafrani B, Bercoff J, Deffieux T, et al. Breast lesions: quantitative elastography with supersonic shear imaging--preliminary results. *Radiology* 2010;256:297-303.
- Zhou J, Zhan W, Chang C, Zhang X, Jia Y, Dong Y, et al. Breast lesions: evaluation with shear wave elastography, with special emphasis on the "stiff rim" sign. *Radiology* 2014;272:63-72.
- Gweon HM, Youk JH, Son EJ, Kim JA. Visually assessed colour overlay features in shear-wave elastography for breast masses: quantification and diagnostic performance. *Eur Radiol* 2013;23:658-63.
- Au FW, Ghai S, Moshonov H, Kahn H, Brennan C, Dua H, et al. Diagnostic performance of quantitative shear wave elastography in the evaluation of solid breast masses: determination of the most discriminatory parameter. *AJR Am J Roentgenol* 2014;203:W328-36.
- Xiao Y, Yu Y, Niu L, Qian M, Deng Z, Qiu W, et al. Quantitative evaluation of peripheral tissue elasticity for ultrasound-detected breast lesions. *Clin Radiol* 2016;71:896-904.
- Evans A, Whelehan P, Thomson K, Brauer K, Jordan L, Purdie C, et al. Differentiating benign from malignant solid breast masses: value of shear wave elas-

- tography according to lesion stiffness combined with greyscale ultrasound according to BI-RADS classification. *Br J Cancer* 2012;107:224–9.
25. Çebi Olgun D, Korkmazer B, Kiliç F, Dikici AS, Velidedeoğlu M, Aydoğan F, et al. Use of shear wave elastography to differentiate benign and malignant breast lesions. *Diagn Interv Radiol* 2014;20:239–44.
26. Liu B, Zheng Y, Huang G, Lin M, Shan Q, Lu Y, et al. Breast lesions: quantitative diagnosis using ultrasound shear wave elastography—a systematic review and meta-analysis. *Ultrasound Med Biol* 2016;42:835–47.
27. Youk JH, Gweon HM, Son EJ, Han KH, Kim JA. Diagnostic value of commercially available shear-wave elastography for breast cancers: integration into BI-RADS classification with subcategories of category 4. *Eur Radiol* 2013;23:2695–704.
28. Schäfer FK, Hooley RJ, Ohlinger R, Hahne U, Madjar H, Svensson WE, et al. ShearWave™ elastography BE1 multinational breast study: additional SWETM features support potential to downgrade BI-RADS®–3 lesions. *Ultraschall Med* 2013;34:254–9.
29. Vinnicombe SJ, Whelehan P, Thomson K, McLean D, Purdie CA, Jordan LB, et al. What are the characteristics of breast cancers misclassified as benign by quantitative ultrasound shear wave elastography? *Eur Radiol* 2014;24:921–6.
30. Park SY, Choi JS, Han BK, Ko EY, Ko ES. Shear wave elastography in the diagnosis of breast non-mass lesions: factors associated with false negative and false positive results. *Eur Radiol* 2017;27:3788–98.
31. Berruti A, Amoroso V, Gallo F, Bertaglia V, Simoncini E, Pedersini R, et al. Pathologic complete response as a potential surrogate for the clinical outcome in patients with breast cancer after neoadjuvant therapy: a meta-regression of 29 randomized prospective studies. *J Clin Oncol* 2014;32:3883–91.
32. Gu YL, Pan SM, Ren J, Yang ZX, Jiang GQ. Role of magnetic resonance imaging in detection of pathologic complete remission in breast cancer patients treated with neoadjuvant chemotherapy: a meta-analysis. *Clin Breast Cancer* 2017;17:245–55.
33. Rauch GM, Adrada BE, Kuerer HM, van la Parra RF, Leung JW, Yang WT. Multimodality imaging for evaluating response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer. *AJR Am J Roentgenol* 2017;208:290–9.
34. Evans A, Armstrong S, Whelehan P, Thomson K, Rauchhaus P, Purdie C, et al. Can shear-wave elastography predict response to neoadjuvant chemotherapy in women with invasive breast cancer? *Br J Cancer* 2013;109:2798–802.
35. Ma Y, Zhang S, Li J, Li J, Kang Y, Ren W. Comparison of strain and shear-wave ultrasonic elastography in predicting the pathological response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancers. *Eur Radiol* 2017;27:2282–91.
36. Jing H, Cheng W, Li ZY, Ying L, Wang QC, Wu T, et al. Early evaluation of relative changes in tumor stiffness by shear wave elastography predicts the response to neoadjuvant chemotherapy in patients with breast cancer. *J Ultrasound Med* 2016;35:1619–27.
37. Choi WJ, Kim HH, Cha JH, Shin HJ, Kim H, Chae EY, et al. Predicting prognostic factors of breast cancer using shear wave elastography. *Ultrasound Med Biol* 2014;40:269–74.
38. Chang JM, Park IA, Lee SH, Kim WH, Bae MS, Koo HR, et al. Stiffness of tumours measured by shear-wave elastography correlated with subtypes of breast cancer. *Eur Radiol* 2013;23:2450–8.
39. Na CJ, Kim J, Choi S, Han YH, Jeong HJ, Sohn MH, et al. The clinical value of hybrid sentinel lymphoscintigraphy to predict metastatic sentinel lymph nodes in breast cancer. *Nucl Med Mol Imaging* 2015;49:26–32.
40. Cooper KL, Meng Y, Harnan S, Ward SE, Fitzgerald P, Papaioannou D, et al. Positron emission tomography (PET) and magnetic resonance imaging (MRI) for the assessment of axillary lymph node metastases in early breast cancer: systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess* 2011;15:iii–iv, 1–134.
41. Alvarez S, Añorbe E, Alcorta P, López F, Alonso I, Cortés J. Role of sonography in the diagnosis of axillary lymph node metastases in breast cancer: a systematic review. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:1342–8.
42. Tourasse C, Dénier JF, Awada A, Gratadour AC, Nessah-Bousquet K, Gay J. Elastography in the assessment of sentinel lymph nodes prior to dissection. *Eur J Radiol* 2012;81:3154–9.
43. Youk JH, Son EJ, Kim JA, Gweon HM. Pre-operative evaluation of axillary lymph node status in patients with suspected breast cancer using shear wave elastography. *Ultrasound Med Biol* 2017;43:1581–6.
44. Vreugdenburg TD, Willis CD, Mundy L, Hiller JE. A systematic review of elastography, electrical impedance scanning, and digital infrared thermography for breast cancer screening and diagnosis. *Breast Cancer Res Treat* 2013;137:665–76.