

자동 유방 초음파에서 놓친 암의 원인과 해결책

윤보라^{1,2} · 장미정^{1,2} · 김선미^{1,2}

¹분당서울대병원 영상의학과, ²서울대학교 의과대학

본 리뷰는 자동 유방 초음파(automated breast ultrasound, ABUS)에서 발생하는 놓친 암(missed cancer)의 원인과 이를 해결하기 위한 방법을 다룬다. 유방암 검진에서 ABUS는 중요한 보조 기법으로 활용되고 있으나, 여전히 일부 병변을 놓칠 수 있는 한계가 존재한다. 본 리뷰에서는 기술적 요인, 환자 요인, 병변 특성, 판독자 요인 등 다양한 원인이 복합적으로 작용하여 위음성 결과를 초래할 수 있음을 설명한다. 이 리뷰는 ABUS의 효율성을 극대화하고, 놓친 암을 줄이기 위한 다양한 접근법을 제시하는 데 목적이 있다.

Index words: Automated breast ultrasound (ABUS); Missed breast cancer; False negative diagnosis

서론

유방촬영술은 유방암 사망률을 약 20% 감소시키는 주요 검진 방법이지만, 치밀 유방의 경우 민감도가 낮다는 단점이 있다 (1, 2). 유방 밀도가 높은 여성은 밀도가 낮은 여성들에 비해 유방암 발병 위험이 4배 더 높고, 유방암이 더 진행된 단계에서 발견될 확률이 높다. 또한, 검진을 통해 발견되지 않거나 간격암 (interval cancer)으로 나타날 가능성도 있으며, 이는 더 나쁜 예후를 초래하게 된다 (3, 4). 유방 초음파는 고위험군 여성 중 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)을 사용할 수 없는 여성에게 유방암 검진을 위해 권장되며, 평균 혹은 중등도 위험을 가진 치밀 유방 여성에게도 보조적인 검진으로 고려된다 (5). 전통적인 수동 초음파(hand-held ultrasound, HHUS)뿐만 아니라 자동 유방 초음파(automated breast ultrasound, ABUS) 역시 중요한 보

조 영상 기법으로 사용되고 있다.

유방 초음파는 유방 MRI나 조영증강 유방촬영술(contrast-enhanced mammography)에 비해 추가적인 암 발견율은 낮지만, 저렴한 장비 비용과 조영제나 방사선 없이 검사를 진행할 수 있다는 점에서 환자에게 더 편안하고 접근하기 쉬운 검사방법으로 각광받고 있다 (1). 유방촬영술 단독 검진과 비교하여 유방 초음파를 보조적으로 시행했을 때 여성 1000명당 1.8-4.6개의 암을 추가로 발견할 수 있다 (3, 6). 그러나 HHUS는 검사하는 의사의 시간과 공간의 제약이 심하고, 검사자의 기술과 경험에 따라 결과가 달라질 수 있다. HHUS와 달리 ABUS는 표준화된 전체 3D 볼륨 영상을 제공하여 해부학적 구조를 입체적으로 파악하는데 유리하며, 검사자 의존도가 적고 재현성이 높다. 또한, 영상을 획득한 뒤 저장하여 나중에 판독할 수 있어 진료의 효율성이 증가하고 의사의 업무부담이 줄어든다. 이전 검사와의 비교도 용이하다. 데이터를 활용하여 여러 평면으로 영상을 재구성하거나 컴퓨터 알고리즘이나 인공지능(artificial intelligence, AI)을 통해 병변을 자동으로 탐지하는 기술도 개발되어 있다 (7). ABUS는 HHUS와 유사한 암 발견율을 보였으며, 특히 치밀 유방을 가진 무증상 여성을 대상으로 유방촬영술의 보조적 검사로 사용되고 있다 (8). 그럼에도 불구하고 ABUS에는 여전히 한

통신저자: 김선미
이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019R1F1A1062646) (13620) 경기도 성남시 분당구 173번길 구미로 82
분당서울대병원 영상의학과
Tel. (031)-727-7617 Fax. (031)-787-4011
E-mail: kimsmlms@daum.net

계가 존재하며, 일부 병변을 놓칠 수 있다. 이러한 놓친 암의 원인을 파악하고, 위음성을 줄이기 위한 방법을 아는 것이 ABUS 판독의 정확성을 올리기 위해 중요하다. 이 리뷰의 목적은 ABUS에서 놓친 암의 원인을 정리해보고, 위음성을 줄이기 위한 방법을 제시하는 것이다.

자동 유방초음파에서 놓친 암의 원인

ABUS는 결국 초음파를 이용한 검사이므로 일반적으로 초음파에서 발생할 수 있는 위음성 검사 요소들을 가지고 있으며, 추가적으로 HHUS와는 다른 ABUS의 특성에 따른 원인도 함께 존재한다 (9). 유방암이 미 발견되는 주요 원인은 기술적 요인, 환자 요인, 병변 특성, 검사자와 판독자 요인으로 분류할 수 있다. 이러한 원인들은 개별적으로 또는 상호 작용을 통해 복합적으로 작용하며, 위음성 결과를 초래할 수 있다.

기술적 요인

ABUS 시스템은 5~15 MHz의 주파수를 가진 탐촉자가 유방의 두께에 따라 자동으로 주파수를 변경하여 영상을 제공한다. 고사양의 HHUS의 경우 18 MHz 정도까지 적용되는 점을 고려하면 상대적으로 해상도가 낮다. 이 해상도의 차이로 인해 HHUS에 익숙한 판독자도 병변을 저평가할 수 있다. 또한, ABUS는 15 cm 탐촉자를 이용하여 유방 영상을 한 번에 취득하는 방식이다, 이로 인해 특정 부위를 선택적으로 눌러서 확인할 수 있는 HHUS에 비해 그림자 현상(shadowing)이 더 심한 경우가 있다. 그림자가 발생하면 직하방에 위치한 병변을 확인하는 데 어려움을 초래할 수 있다. 유방이 두껍거나 조직이 불균질한(heterogeneous) 경우 후방에 위치한 병변이 shadowing에 가려져 확인하기 어려운 경우가 많다. HHUS와 달리 도플러(Doppler) 및 탄성초음파(Elastography)와 같은 보조 검사 기법은 ABUS 검사 중에 바로 시행할 수 없는 단점이 있다. Doppler와 Elastography는 병변의 혈류나 조직의 단단한 정도를 추가로 평가하여 조직검사 여부를 판단하는 데 중요한 역할을 하지만, ABUS에서는 이를 별도로 시행해야 하며, 하나의 검사 세션 내에서 즉시 병행할 수 없다. 이로 인해 병변의 성질을 정확히 판단하는 데 제한이 있을 수 있다.

환자 요인

환자의 유방 특성은 ABUS에서 놓친 암을 초래하는 중요한 원인 중 하나이다. 특히, 유방 밀도, 유방 두께, 그리고 유선조직의 특성이 ABUS의 성능에 중요한 영향을 미친다. 두꺼운 유방은 치밀유방과 지방형 유방 모두에서 병변 탐지에 어려움을 초래할 수 있다. 두꺼운 조직은 초음파 투과(penetration)를 제한하여 심부 병변을 잘 보지 못하게 만든다. 또한, 유방 조직의 불균질성은 병변 발견에 중요한 영향을 미친다. Heterogeneous echotexture를 가진 유방은 유선조직과 지방 조직이 번갈아 나타나면서 균일하지 않은 음향 패턴을 형성한다. 이 경우 주변 조직의 에코가 복잡해지면서 암을 놓칠 가능성이 증가한다. 또한, 유선조직의 glandular tissue component (GCT) (10)가 높은 경우, 병변이 주변 정상 조직과 구별되지 않아서 병변의 위치나 형태를 명확히 확인하기 어려워진다. 이는 소형 병변이나 주변과 유사한 음영을 가지는 병변을 탐지하기 어렵게 만들며, 반대로 위양성을 초래할 수도 있다.

병변 특성

ABUS에서 놓친 암은 잘못 판단한 경우(misinterpretation)와 발견하지 못한 경우로 나눌 수 있다. 삼중음성 유방암이나 조직학적으로 고등급인 유방암 등은 모양이 타원형 혹은 원형이고 경계가 국한성인 양성 병변과 비슷한 형태적 특징을 가지기 때문에 ABUS에서 양성병변으로 오판하기 쉽다. 느리게 성장하는 병변은 추적 관찰 시 큰 변화가 없어 양성으로 판단될 수 있다. 또한, 다발성 병변의 경우 각 병변을 세밀하게 평가하기 어려워 암의 특징적인 소견을 발견하지 못하고 잘못 판단할 수 있다.

발견이 어려운 병변은 초기 유방암처럼 작고 형태학적 특징이 불분명한 병변에서 주로 발생한다. 0.5 cm 이하의 암은 간과하기 쉽다. 미세 석회화는 제자리암에서 흔히 보이는 소견이지만, 초음파의 해상도의 한계로 인해 ABUS와 HHUS에서 모두 잘 보이지 않는다. 종괴가 동반되지 않은 석회화 병변은 발견이 어렵다. 등에코(isoechoic) 특성을 가진 점액암을 비롯하여 병변의 에코가 주변 지방조직과 유사한 경우에도 놓치기 쉽다. 미국영상의학전문학회(American College of Radiology, ACR)의 유방영상보고자료체계(Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS) 6th edition에 추가될 예정인 비종괴성 병변(nonmass lesion)은 제자리암, 소엽암(lobular

cancer), 염증성 유방암 등 여러 악성병변들이 비종괴성 병변 형태로 나타날 수 있으며, 정상 유방 조직과 구별이 어려운 특성을 보인다. 특히 유방조성이나 유선조직이 불균질한 경우에 발견되지 않는 경향이 있다. 위치적으로 발견이 어려운 경우도 있다. 깊은 위치에 있는 경우나 유륜 복합체의 그림자로 잘 보이지 않는 유두하 병변을 놓치기 쉽다. 또한, 주변부에 위치한 암도 간과되거나 탐지하기 어려운 경우가 많다.

검사자와 판독자 요인

ABUS는 자동화된 시스템이지만, 탐촉자의 위치나 압력에 따라 병변 탐지의 정확도가 달라질 수 있다. 특히 주변부에 있는 병변은 검사자가 탐촉자의 촬영 위치에 주변부를 포함하지 않으면 확인할 수 없다. 또한, 판독자가 HHUS의 전문가이더라도 ABUS를 판독할 때에는 익숙해질 시간이 필요하다 (11, 12).

놓친 암을 줄이기 위한 개선방안

기술적 요인 개선

ABUS는 정기적인 검토와 품질 관리가 필수적이다. 장비 회사에서 요구하는 성능 평가를 주기적으로 시행하여 영상 품질을 유지하는 것이 중요하다. 검사자는 ABUS에 대한 숙련도와 경험을 쌓기 위한 교육 프로그램을 이수하는 것이 좋다. 검사 시 유방이 작거나 흉벽 모양이 전형적이지 않은 경우 너무 마른 경우 탐촉자의 접촉이 좋지 않을 수 있으므로 형태에 맞춰 air contact artifact를 줄이기 위해 충분한 로션을 바르는 것이 필요하다. 두꺼운 유방에서는 압력과 깊이 조절이 중요하며, 유방 섬유선 조직이 끝까지 잘 포함되었는지 검사자와 판독자가 모두 확인해야 한다. 유방이 큰 경우에는 4 view 이상으로 나누어 촬영하여 빠지는 부위가 없도록 해야 한다. 또한, 검사자가 영상 획득 직후 preview 영상을 확인하여 미비한 부분이 있다면 추가 촬영해야 한다. 만약 ABUS로 해결이 안 되는 경우 바로 HHUS를 요청할 수 있는 시스템이 있다면, 환자의 불필요한 내원을 줄일 수 있다. 판독자는 영상 판독 시 검사 품질을 평가하고, 영상 획득에 있어서 개선점을 피드백함으로써 검사자의 역량을 강화할 수 있다.

ABUS에서 병변을 판단하기 어려운 경우에는 Doppler, Elastography 등 보조적 기법을 활용해야 한다. ABUS에 익숙하지 않은 판독자일수록 이러한 기법을 사용하여 판

독의 정확도를 높이는 것이 중요하다. 수술 후 흉터나 유륜 하 부위 혹은 덜 눌린 유선 조직 등의 그림자로 인해 병변이 가려질 수 있기 때문에, 이 경우 HHUS로 추가 촬영을 고려할 수 있다.

환자 요인 극복

불균질하거나 지방형 유방을 가진 환자의 경우, 위양성과 위음성이 모두 문제가 될 수 있기 때문에 유방 촬영을 함께 확인하는 것이 필요하다. ABUS의 관상면 영상(Coronal view)를 활용하여 병변의 경계를 다시 한 번 평가하거나, 한 화면에 양쪽 유방을 두고 비슷한 위치의 유방 에코를 확인하면 비종괴성 병변 판독의 정확도를 높일 수 있다. 이전 영상을 불러와 병변의 진행 유무를 정확히 판단하는 것도 중요하다.

병변 특성 파악과 대처

환자의 위험도를 파악하여 필요한 경우 검사의 민감도를 높이는 것이 중요하다. 가능하다면 유전자 돌연변이, 가족력, 유방암 병력, 조직 검사 결과 등을 확인해야 하며, 암의 특징이 미약한 병변이라 할지라도 고위험 환자에게 나타난 경우, 암의 가능성이 높다. 천천히 변화하는 병변이 있을 수 있으므로, 직전 영상만 비교하기보다는 가장 오래된 영상을 참고하여 판독하는 것이 추천된다. HHUS로는 파악하기 어려운 비종괴성 병변이나 구조왜곡(architectural distortion)을 관상면 영상에서 잘 파악할 수 있으므로, 반드시 확인해야 한다. HHUS에서 등에 코 병변을 발견할 때 도움이 되는 촉감(Textile sense)과 같은 맥락으로 ABUS의 skip artifact에 주의하여야 한다. Artifact가 있는 부분은 유심히 살펴야 한다.

검사자와 판독자의 문제 해결

검사자와 판독자의 문제를 해결하기 위해서는 먼저 검사자의 숙련도를 높이기 위한 정기적인 교육과 훈련이 필요하다. 이를 통해 검사자는 정확한 검사 절차와 기술을 습득하고, ABUS 촬영 중 누락된 부위나 병변을 놓치는 문제를 예방할 수 있다. 예전 영상과 비교 판독은 진단의 민감도와 특이도를 높이는 데 도움이 되므로 가능한 모든 검사에서 예전 검사를 같이 보는 것을 추천한다. 다발성 병변의 경우 예전 검사를 같이 보면서 ABUS로 병변을 1:1로 비교할 수 있기 때문에 진단에 큰 강점이 된다. 컴퓨터 보

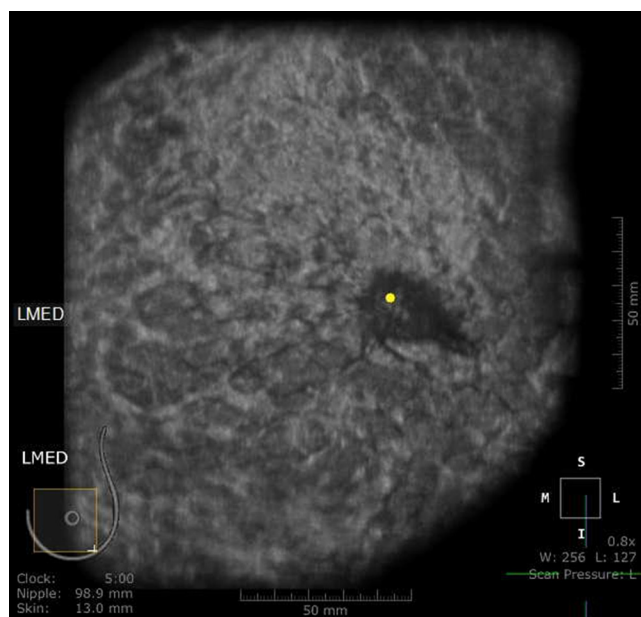
조 진단을 사용하면 의사의 진단능을 향상시키고 영상 판독 시간을 단축시켜주는 장점이 있다 (13, 14).

사례 연구

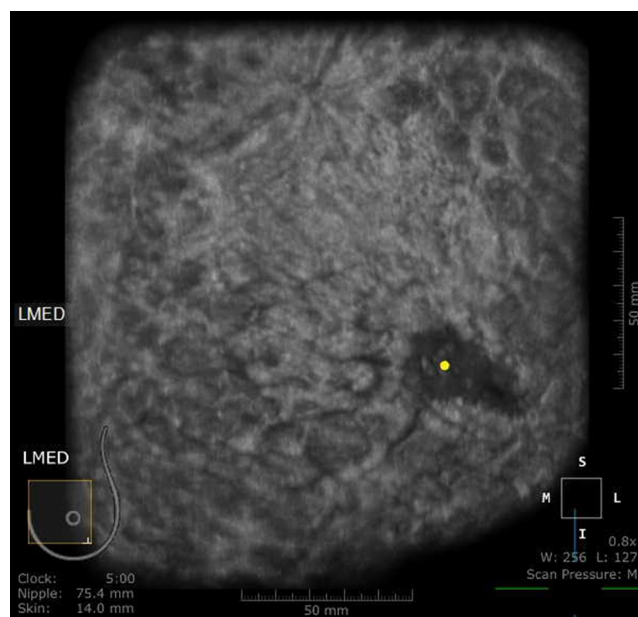
지면으로 사례를 정확하게 재현하는 것에는 한계가 있지만, 놓친 암과 놓칠 뻔한 암의 대표적 사례를 제시하고, 그 극복 방안을 살펴보겠다.

사례1) 검사자 숙련도 관련

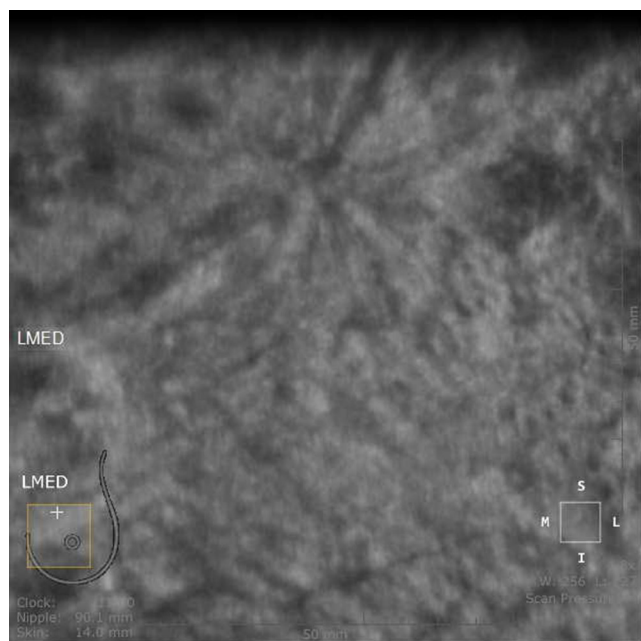
F/58, ABUS 촬영 중 검사자가 좌내측(left medial) 유방조직이 다 포함되지 않은 것을 확인하고 (Fig. 1a), 추가로 좌상내측(left upper medial)을 촬영하였다 (Fig. 1b). 추가 촬영된 영상에서 구조왜곡을 동반한 종괴가 있었고 (Fig. 1c), 침윤성 유방암으로 확인되었다. 이와 같이 검사자의 숙련도가 정확한 진단을 위해 필수적이다.



a



b



c

Fig. 1. F/58, ABUS 촬영 중 좌내측 유방조직이 포함되지 않아 추가 촬영 후 침윤성 유방암 진단. 검사자의 숙련도가 진단에 필수적임.

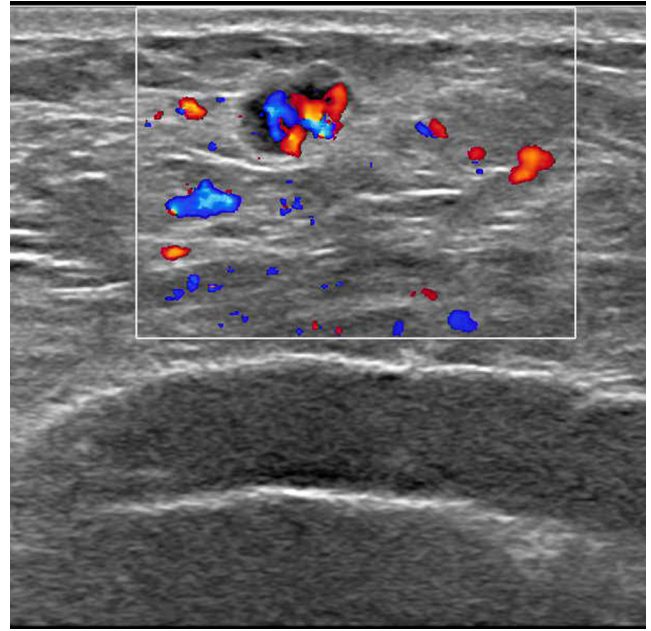
사례2) Doppler와 Elastography 추가 검사

F/45, 5년 7개월 전 오른쪽 유방 수술 후 검진하던 중

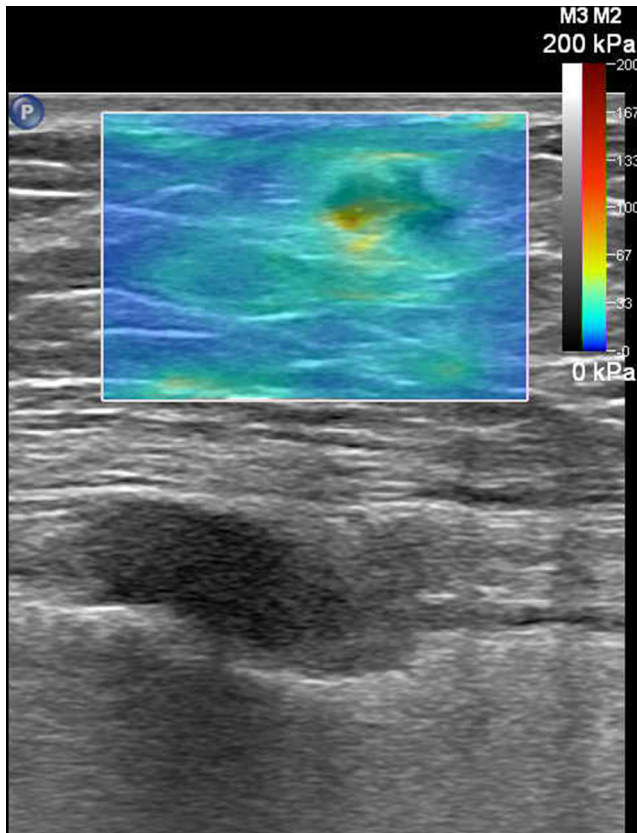
발견된 종괴이다 (Fig. 2a). Stage T1aN0의 침윤성 유방암으로 omental flap 시행받은 여성으로 ABUS에서 병변이 발견되었으나 정확한 category 결정을 위해 Doppler



a



b



c

Fig. 2. F/45, T1aN0 침윤성 유방암 진단 후 Doppler와 Elastography로 재발 가능성 확인. ABUS에서 결론을 내기 어려운 경우 추가 검사가 유용함

(Fig. 2b) 와 Elastography (Fig. 2c) 기법을 추가하였다. 혈관성이 높고, intermediate 한 정도를 가지는 병변으로 재발의 가능성이 높을 것으로 확신할 수 있었고, 수술 결과 1.2cm 침윤성 유방암으로 진단되었다. ABUS에서 결론을 내기 어려운 경우, 추가 검사가 도움이 된다.

사례 3) 주변부 병변

F/50, 언니와 동생 유방암 가족력이 있는 환자로 검진 중 암이 발견되어 내원하였다 (Fig. 3a, 3b). 본원에서 2년 전에 시행한 ABUS 확인하였을 때 병변이 보였으며 암의 위치가 주변부여서 발견하지 못한 것으로 생각되었다. 2년 전 ABUS 영상을 후향적으로 보았을 때 Coronal 영상 (Fig. 3c)에서 skip artifact (화살표) 가 있는 부위에서 병

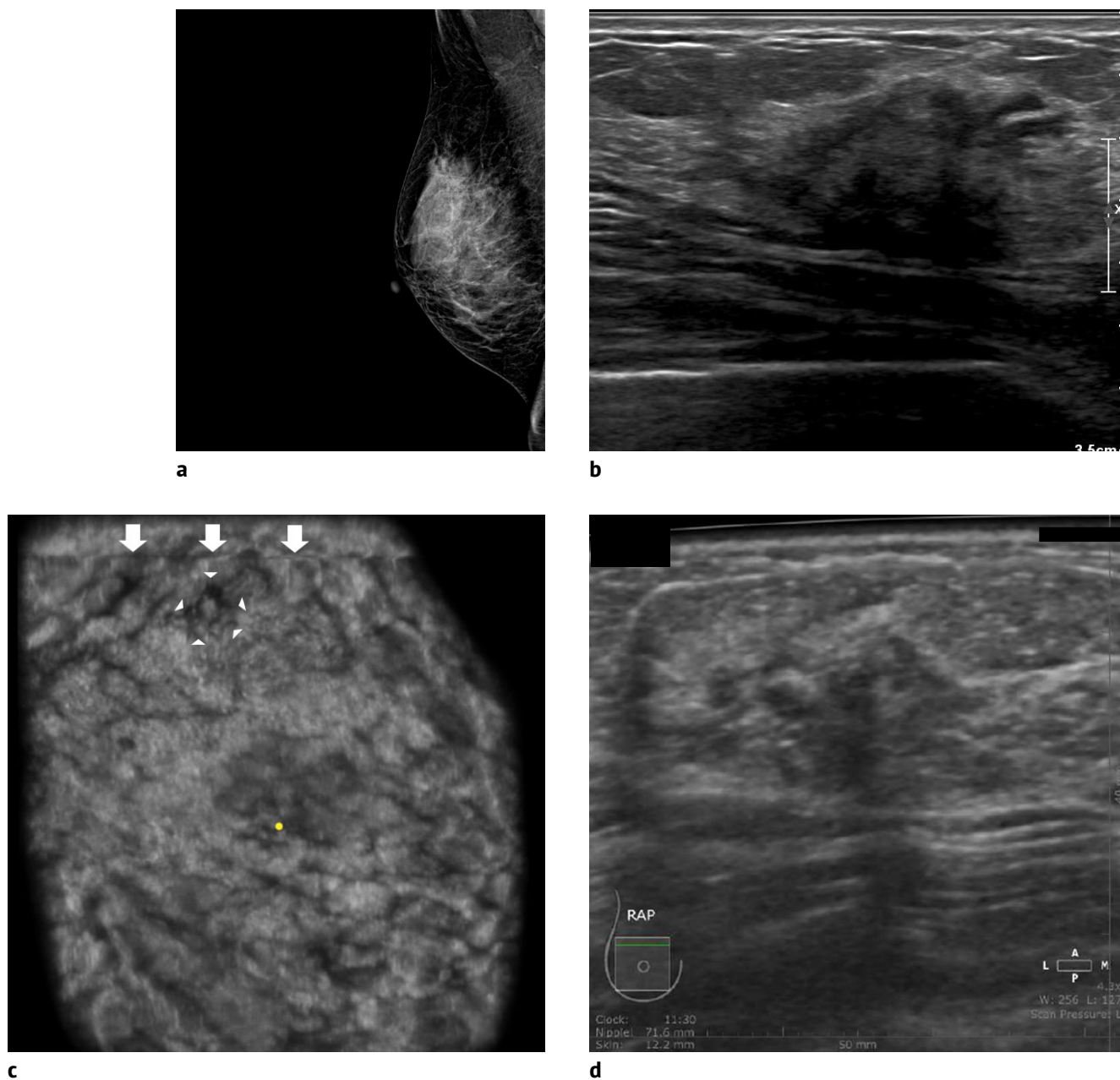


Fig. 3. F/50, 2년 전 ABUS 영상에서 병변을 놓쳤으나 후향적 확인 시 skip artifact 부위에서 침윤성 유방암 발견. Skip artifact는 병변을 가릴 수 있으므로 주의가 필요함.

변 (화살표 머리)을 발견할 수 있었다. Skip artifact 아래쪽 axial 영상에서 암으로 생각되는 종괴의 모습이다(Fig. 3d). Skip artifact는 종괴에 의해 나타나는 경우가 있으므로 아래쪽을 잘 살펴보면 도움이 된다.

사례 4) 발견하기 어려운 비종괴성 병변

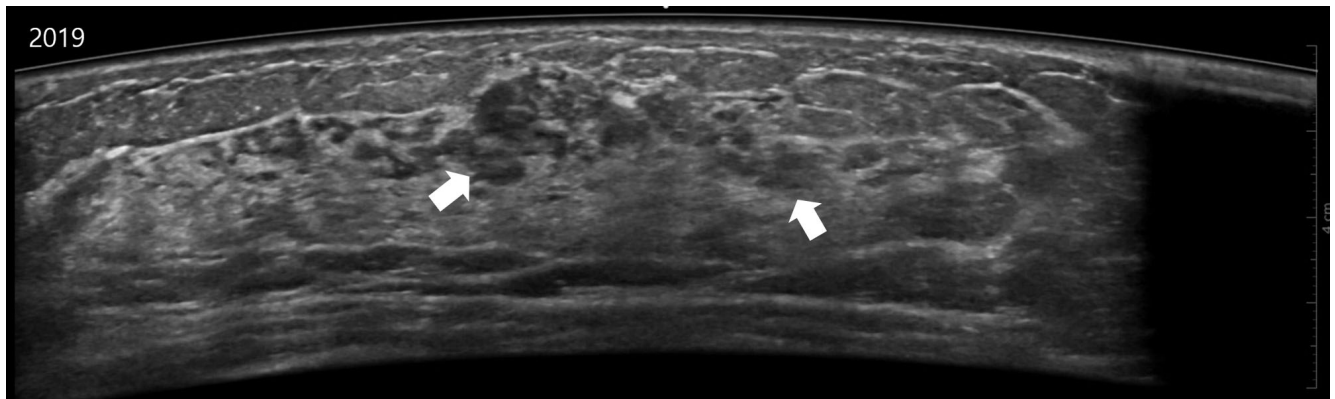
F/48, 언니가 유방암 가족력이 있는 환자로 매년 검진을 받고 있었다. 6개월 전 초음파 정상 소견이었으나 만져지는 종괴로 외부 병원에서 제자리암을 진단받아 내원하였다. 6개월 전 검사 (Fig. 4a) 단독으로 보면 병변을 찾기 어렵지만, 1년 전 영상 (Fig. 4b) 과 비교해보면 낮은 에코를 보이는 부분의 부피가 증가한 것을 알 수 있다. ABUS의 경우 완전히 같은 부위의 이전 영상을 가능하므로 비종괴성 병변이 의심된다면 이전 영상이 있다면 반드시 비교가 필요하다.

사례 5) 불균질한 유방이나 지방형 유방에 있는 병변

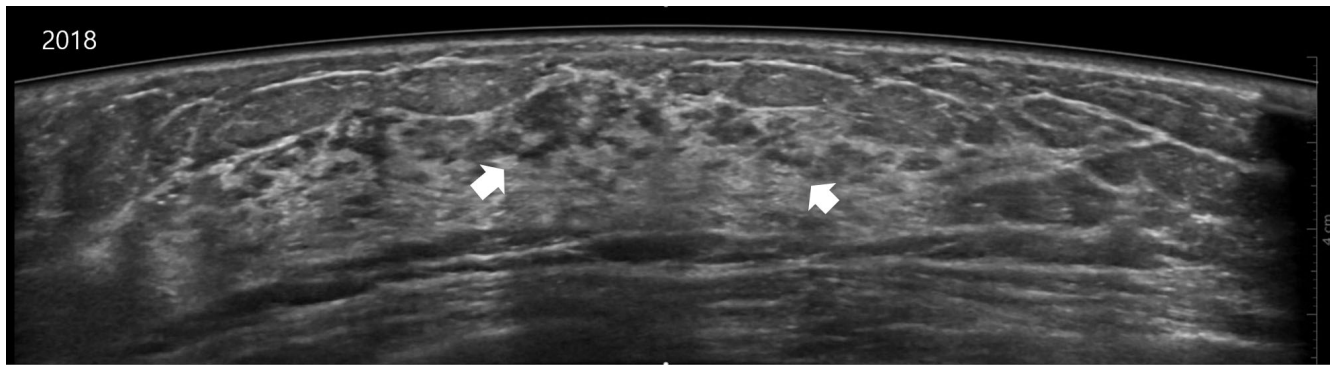
F/59, 무증상 반대쪽 유방 카테고리 3 병변 추적 관찰 중 6개월 차에 촬영한 유방촬영과 초음파에서 발견된 종괴로 수술로 1.7cm 침윤성 유방암으로 진단받았다(Fig. 5a). 후향적으로 영상을 확인해 보아도 병변을 찾기 어렵다 (Fig. 5b). 1년 전 유방촬영 (Fig. 5c)을 확인해보면, 좌측 상외측에 0.7cm irregular indistinct high density mass가 보인다. 다시 ABUS를 보면 유방촬영과 같은 자리에 있는 병변을 찾을 수 있다 (Fig. 5d). 이와 같이 불균질한 유방이나 지방형 유방은 초음파 단독으로 유방암 진단이 어렵다. 반드시 유방촬영을 같이 하거나 직전 유방촬영을 확인해야 한다.

사례 6) GTC가 고르지 않은 환자의 비종괴성 병변

F/49, 여러 probably benign 병변으로 추적 검사 중인 환자로, 정상 heterogeneous parenchyma로 판정했던 병변의 크기 증가로 수술하여, 오른쪽 유방의 T2N1mi



a



b

Fig. 4. F/48, 1년 전 영상과 비교하여 비종괴성 병변의 크기 증가 확인 후 침윤성 유방암 진단. 이전 영상과 비교가 필수적임.

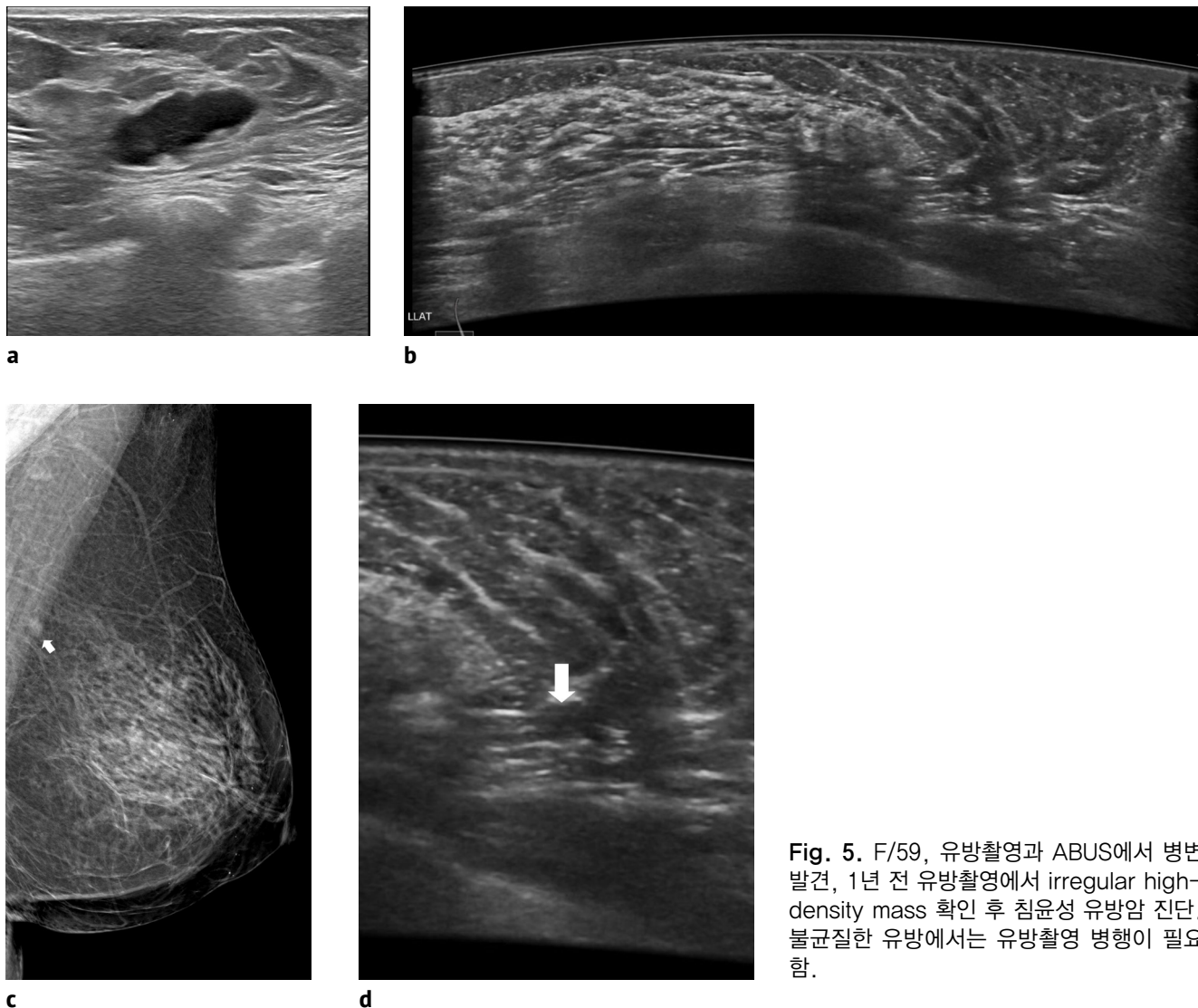


Fig. 5. F/59, 유방촬영과 ABUS에서 병변 발견, 1년 전 유방촬영에서 irregular high-density mass 확인 후 침윤성 유방암 진단. 불균질한 유방에서는 유방촬영 병행이 필요함.

침윤성 유방암으로 진단되었다. 후향적으로 보아도 정상 조직과 암 (Fig. 6a)의 구별이 쉽지 않다. 그러나 왼쪽 유방의 유사한 위치의 조직 (Fig. 6b)과 비교해보면 판정에 도움이 된다. Coronal 영상 (Fig. 6c)에서도 눈에 띄는 hypoechoic area가 확인된다.

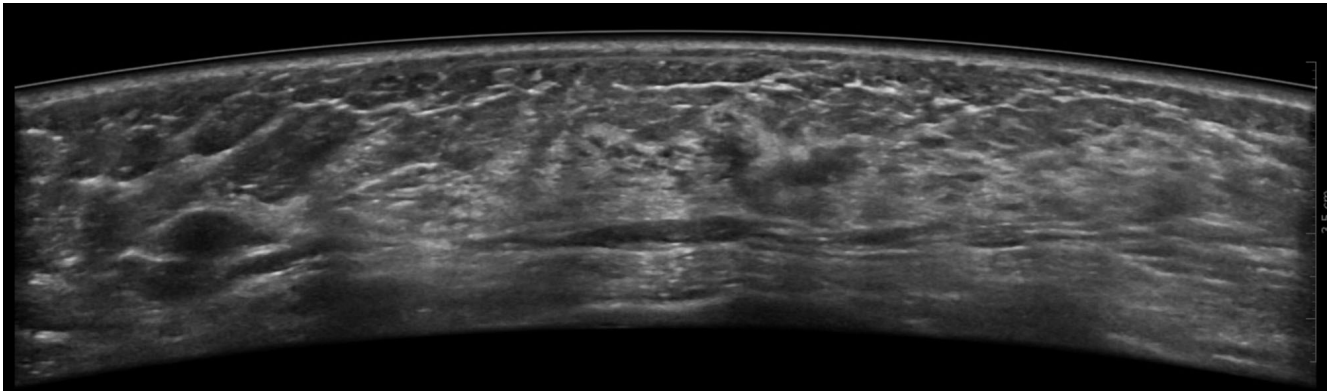
사례 7) 복잡한 유방의 그림자가 심하게 지는 유두 아래의 비종괴성 병변

F/48, 엽상종이 있어 여러 번 수술적 치료를 받은 환자로 6개월 전 영상과 비교하였을 때 약간의 크기 증가가 있는 병변이 있어 category 3를 주고 6개월 추적 관찰하였으나 크기 증가가 뚜렷해 조직검사 시행 pT1cN0 침윤성 유방암으로 진단되었다 (Fig. 7a). 암 진단 6개월 전 (Fig.

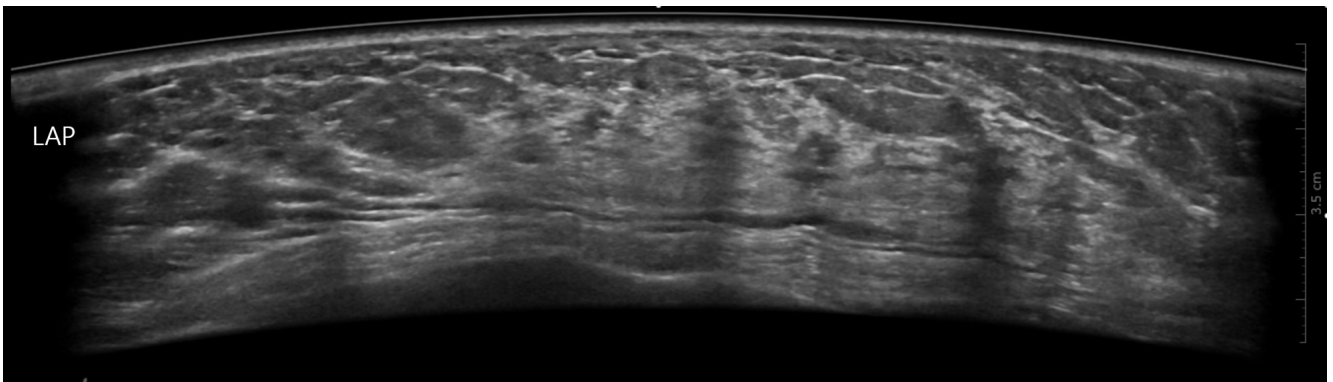
7b), 12개월전 (Fig. 7c), 18개월 전 (Fig. 7d) 영상이다. 바로 직전 영상과 비교하는 것보다는 1~2년전 영상과 비교하는 것이 변화를 알아채기 쉽다.

사례 8) 다발성 결절

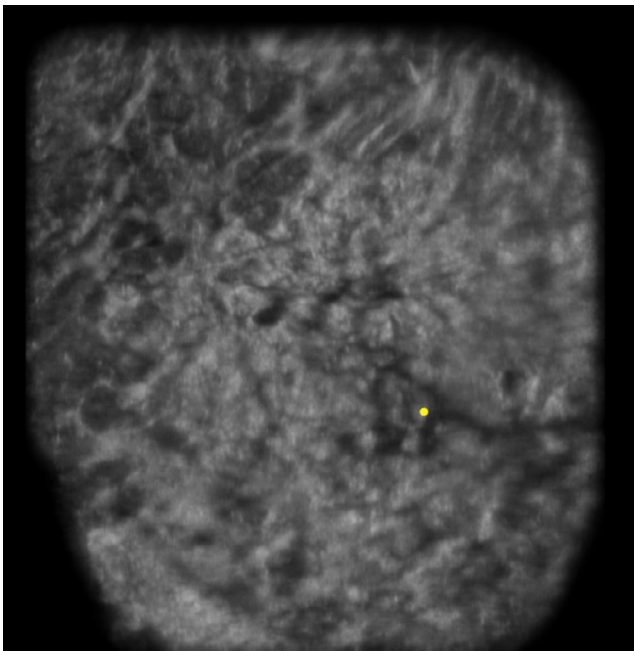
F/44, 언니가 유방암 가족력이 있는 환자로 매년 검진 중이었다. Multiple cysts로 판정이 나갔으나 다음 해 검진에서 크기가 커진 종괴 (Fig. 8a) 가 있었고 검사 결과 T1bN0 침윤성 유방암으로 진단되었다. 양성으로 판정되었던 진단 1년 전 영상 (Fig. 8b)에 컴퓨터 보조 진단을 적용시켜보니 여러 개의 병변 중 암으로 진단된 병변만 찾았다 (Fig. 8c, M-score = 76; threshold M-score > 50). 컴퓨터 보조 진단을 적용하면 진단에 도움을 받을 수 있다.



a

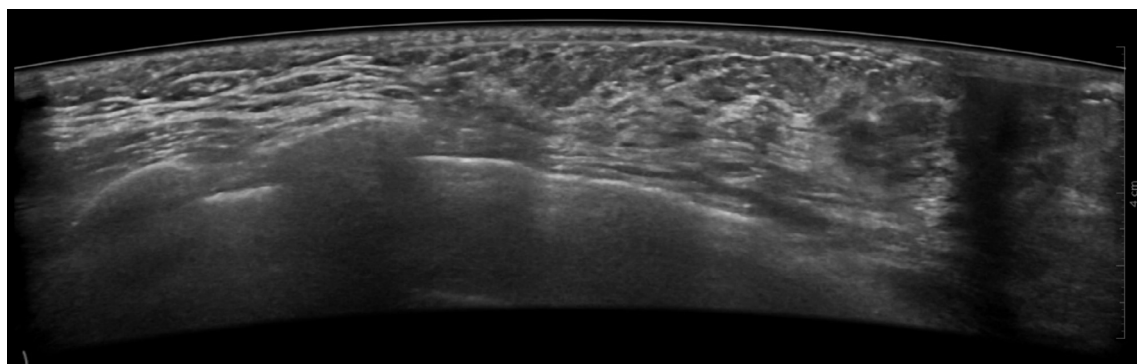


b

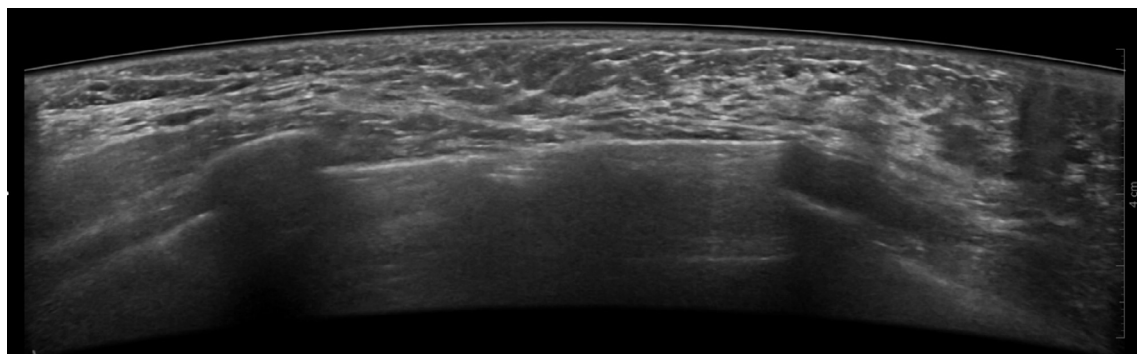


c

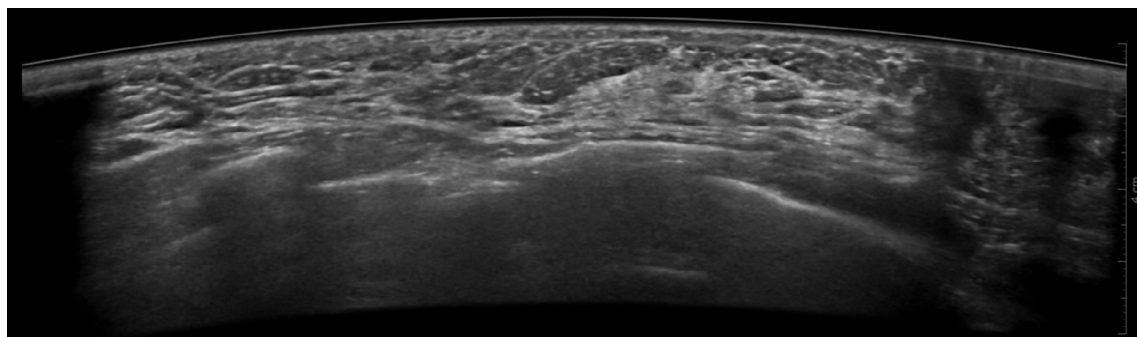
Fig. 6. F/49, heterogeneous parenchyma로 판정된 병변에서 크기 증가로 T2N1mi 침윤성 유방암 진단 (Fig. 6a-c). 왼쪽 유방과 비교하여 판별 가능.



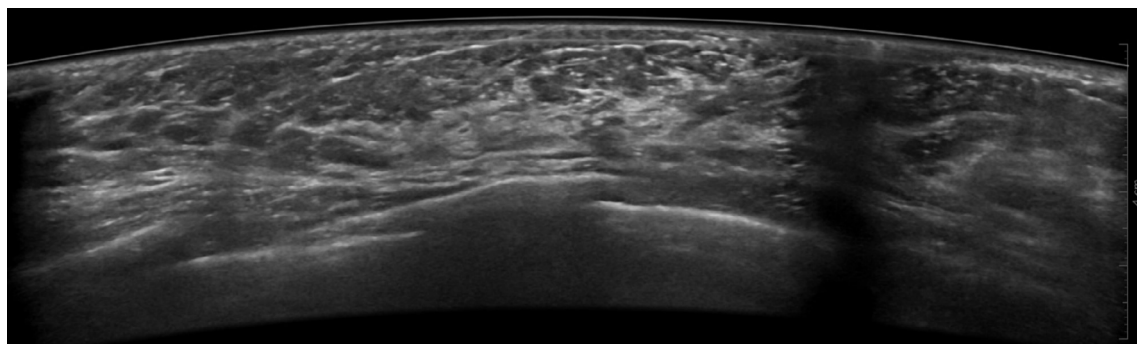
a



b



c

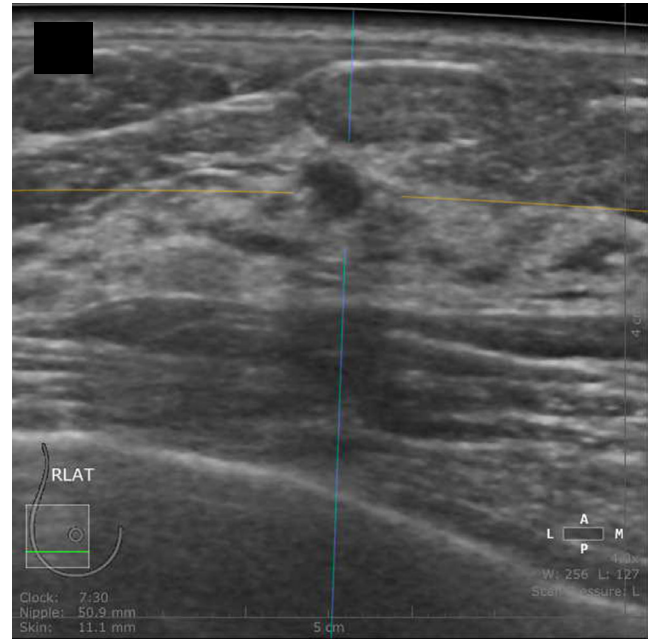


d

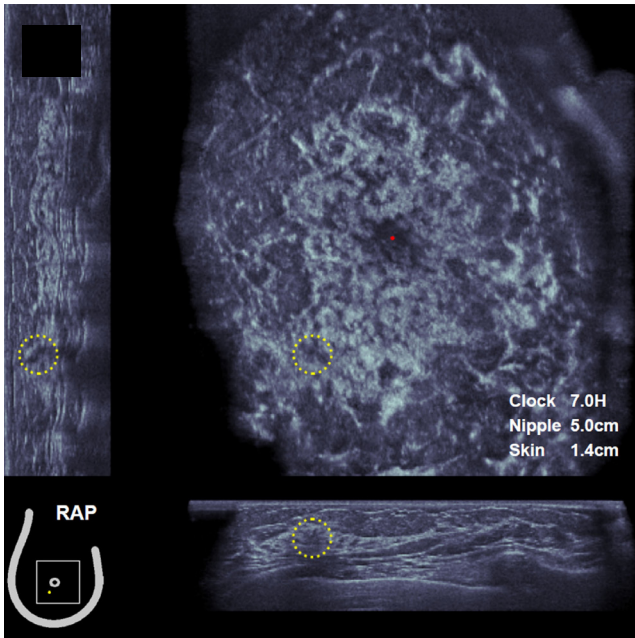
Fig. 7. F/48, 엽상종 환자, 6개월 전 영상과 비교하여 침윤성 유방암 진단 (Fig. 7a-d). 직전 영상보다는 1~2년 전 영상이 변화를 감지하기 용이함.



a



b



c

Fig. 8. F/44, 1년 전 영상과 비교하여 T1bN0 침윤성 유방암 진단, 컴퓨터 보조 진단을 통한 암 병변 확인 (Fig. 8a-c). M-score로 진단 정확도 향상.

결론

ABUS는 유방 검진에 있어 유방촬영에 추가적인 검사로서 중요한 역할을 하고 있지만, 여전히 놓친 암의 위험이 존재한다. 기술적 요인, 환자 요인, 검사자와 판독자 요인, 병변 특징 등이 복합적으로 작용하므로 이를 해결하기 위한 다각적인 접근이 필요하다. 향후 ABUS 시스템의 기술

향상, 검사자와 판독자 교육 강화, 그리고 놓친 암을 줄이기 위한 다양한 보조 진단 기술의 발전이 요구된다.

References

1. Hussein H, Abbas E, Keshavarzi S, et al. Supplemental Breast Cancer Screening in Women with Dense Breasts

- and Negative Mammography: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology* 2023;306:e221785.
2. Marmot MG, Altman DG, Cameron DA, Dewar JA, Thompson SG, Wilcox M. The benefits and harms of breast cancer screening: an independent review. *Br J Cancer* 2013;108:2205-2240.
3. Berg WA, Bandos AI, Mendelson EB, Lehrer D, Jong RA, Pisano ED. Ultrasound as the Primary Screening Test for Breast Cancer: Analysis From ACRIN 6666. *J Natl Cancer Inst* 2016;108.
4. Wanders JO, Holland K, Veldhuis WB, et al. Volumetric breast density affects performance of digital screening mammography. *Breast Cancer Res Treat* 2017;162:95-103.
5. Expert Panel on Breast I, Paulis LV, Lewin AA, et al. ACR Appropriateness Criteria(R) Supplemental Breast Cancer Screening Based on Breast Density: 2024 Update. *J Am Coll Radiol* 2025;22:S405-S423.
6. Ohuchi N, Suzuki A, Sobue T, et al. Sensitivity and specificity of mammography and adjunctive ultrasonography to screen for breast cancer in the Japan Strategic Anti-cancer Randomized Trial (J-START): a randomised controlled trial. *Lancet* 2016;387:341-348.
7. Rella R, Belli P, Giuliani M, et al. Automated Breast Ultrasonography (ABUS) in the Screening and Diagnostic Setting: Indications and Practical Use. *Acad Radiol* 2018;25:1457-1470.
8. Berg WA, Vourtsis A. Screening Breast Ultrasound Using Handheld or Automated Technique in Women with Dense Breasts. *J Breast Imaging* 2019;1:283-296.
9. Song SE, Cho N, Chu A, et al. Undiagnosed Breast Cancer: Features at Supplemental Screening US. *Radiology* 2015;277:372-380.
10. Lee SH, Moon WK. Glandular Tissue Component on Breast Ultrasound in Dense Breasts: A New Imaging Biomarker for Breast Cancer Risk. *Korean J Radiol* 2022;23:574-580.
11. Vourtsis A. Three-dimensional automated breast ultrasound: Technical aspects and first results. *Diagn Interv Imaging* 2019;100:579-592.
12. Kovan O, Guldogan N, Yilmaz E, Arslan A. ABUS examination time: An observational study of operators' experience. *J Med Imaging Radiat Sci* 2021;52:374-378.
13. Jiang Y, Inciardi MF, Edwards AV, Papaioannou J. Interpretation Time Using a Concurrent-Read Computer-Aided Detection System for Automated Breast Ultrasound in Breast Cancer Screening of Women With Dense Breast Tissue. *AJR Am J Roentgenol* 2018;211:452-461.
14. Kwon MR, Youn I, Lee MY, Lee HA. Diagnostic Performance of Artificial Intelligence-Based Computer-Aided Detection Software for Automated Breast Ultrasound. *Acad Radiol* 2024;31:480-491.