

공명현상과 파워도플러를 이용한 유방조직 팬텀의 미세 석회화 병변 진단

Diagnosis of Micro-Calcified Lesions of Breast Tissue Phantoms Using Acoustic Resonance Coupled with Power Doppler

김 정 구*, 하 명 진*
Jeong-Koo Kim*, Myeung-Jin Ha*

*한서대학교 방사선학과

(접수일자: 2007년 11월 5일; 수정일자: 2007년 12월 18일; 채택일자: 2007년 12월 18일)

유방초음파 검사는 유방암 검사에 있어 유방촬영술에 비하여 많은 장점이 있으나, 미세석회화 발견에는 적합하지 않은 단점이 있다. 이에 유방초음파 검사에서 기존의 7.5 MHz 선형 탐촉자를 사용하여 파워도플러와 매질의 공명현상을 이용한 유방조직 석회화 병변을 관측할 수 있는 방법을 연구하였다. 먼저 gelatin을 이용하여 유방조직 팬텀을 제작하였으며, 외부 진동을 변화시켜 가며 석회화 병변을 관측하였다. 유방조직 팬텀 안에 주입된 석회화는 주변 조직과 다른 공명을 일으키면서 외부진동에 따라 음향공명의 정도가 파워도플러의 ROI 영역 내의 색상의 밝기와 영역의 차이로 나타내었다. 낮은 주파수 영역에는 음향공명이 거의 나타나지 않았으며, 약 300~600 Hz 사이에서 일정한 플레토우 영역을 나타내었으며, 이후 주파수가 증가함에 따라 색상이 사라짐을 확인하였다.

핵심용어: 음향공명, 파워도플러, 석회화, 유방조직 팬텀

투고분야: 초음파 및 탄성파 분야 (4,7)

Breast ultrasound has many advantages over mammography but suffers from a shortcoming of being not suitable in detecting microcalcification. We studied on a method based on acoustic resonance and power Doppler to detect calcification of breast tissue using a typical 7.5 MHz linear probe used in breast ultrasound examination. We first constructed a breast tissue phantom made of gelatin and then observed calcified legions as external vibrations varied. Calcification injected to the breast tissue phantom being resonated different from the surrounding medium, and its acoustic resonance driven by external vibrations was visualized by differences for color brightness and area in ROI of power doppler. In low frequency regions, the acoustic resonance almost not appeared and showed a plateau in 300~600 Hz and the color vanished as the frequency further increased.

Keywords: Acoustic resonance, Power doppler, Calcification, Brest tissue phantom

ASK subject classification: Ultrasonic and Elastic Waves (4,7)

I. 서론

현대인의 식생활이 점점 서구적으로 변화하고 사고방식이 과거와는 많이 달라져 질병에 대한 관심이 높아짐에 따라 암에 대한 염려 또한 증가하는 추세이다. 그 중 전체 여성 암의 1위를 차지하는 유방암도 점점 서구형으로 변해가고 있어 젊은 여성에서도 발병률이 높아지고 있는 실정이다 [1].

나이든 여성, 이른 초경과 늦은 폐경, 초산이 늦어지거나, 임신과 출산의 경험이 없는 사람 등이 유방암에 걸리게 되는 여러 요인이라 할 수 있다. 또한 식생활의 변화는 여성들의 조기성숙을 야기 시키고 폐경이 늦추어져 에스테로겐 호르몬에 노출되는 시간이 많아져 유방암에 걸리게 되는 위험이 증가하게 되며, 사회적 여건의 변화로 인하여 출산을 미루거나 출산을 하지 않는 여성들이 증가로 인해 유방암 발병률이 증가하고 있다 [2,3]. 우리나라 여성들의 대부분은 외국여성과는 달리 작고 치밀한 유방을 가진 사람이 많기 때문에 유방촬영술 (mammography) 만으로는 유방암 진단이 힘들며, 조기발견 또한 더욱

그러하다.

일반적으로 선별검사는 환자가 유방암에 대한 증상이 없는 정상적인 여성을 대상으로 검사하는 것으로 잠재 유방암을 발견하는 검사이다. 그 중 유방촬영술은 선별 검사의 조건을 쉽게 만족시키며, 안전하고 비침습적이며 비용이 적당하며 미세석회화 (microcalcification)의 발견이 용이하다. 하지만 유방암의 전형적인 변화가 없을 경우와 유방촬영술 조건이 비교적 특이하지 않고 치밀유방인 경우에는 더욱 민감도가 떨어지는 것과 위양성 (false-positive)률이 높아 진단에 있어서 큰 역할을 기대하기 힘든 점이 단점이다 [4]. 이러한 유방촬영술의 단점을 보완하는 진단방법이 유방 초음파 (breast ultrasound) 검사이며, 유방촬영술에 이어 가장 많이 사용되는 검사이다. 초음파는 비전리 방사선이므로 방사선 조사의 위험이 없어 젊은 여성, 임신 또는 수유 중인 여성이 유방검사가 필요한 경우 일차적으로 사용되는 검사방법으로 매우 유용하다 [4-7].

유방초음파 검사는 유방촬영술과 완전히 다른 정보를 구분 할 수 있게 해줄 뿐만 아니라, 몇몇 양성 또는 악성 종괴를 감별하는 데에도 도움을 주며, 단층 촬영상이므로 유방촬영술에서처럼 유방조직이 겹쳐서 나타나는 치밀유방 검사에 문제가 없으며, 유방 인공 삽입류에 의해서도 유방촬영술만큼 방해받을지는 않는다. 이런 점들은 유방질환의 감별에 있어서 유방촬영술에 비하여 유방 초음파 검사의 장점이 된다. 그러나 유방초음파 검사는 지방성 유방의 영상화가 힘들고, 미세석회화를 발견하기 어렵다는 단점이 있다 [8]. 그러나 최근 초음파의 기술적 발전으로 인하여 10 MHz 이상의 고주파 탐촉자를 사용함으로써 유방 초음파 검사의 단점인 석회화 병변의 관찰이 용이하게 되었다 [9]. 그러나 이러한 고주파 탐촉자를 이용한 유방초음파 검사에서도 석회화를 발견하지 못할 가능성도 많으며, 또한 현 의료계의 사정으로 볼 때, 대형 종합병원 정도가 아닌 그 이하의 병원이나 의원에서는 일반적으로 복부 초음파용 2.5 MHz 저주파 탐촉자와 7.5 MHz 고주파 탐촉자를 구비하여 진단하며, 유방초음파 검사에서는 10 MHz 이상의 주파수 탐촉자를 사용한다는 것은 경제적 효율성의 문제를 가진다.

따라서 본 연구에서는 유방조직의 미세석회화를 영상화하기 위하여 병원에서 일반적으로 사용하는 7.5 MHz 고주파 탐촉자를 사용하여 초음파 파워도플러와 매질과 음향의 공명현상을 이용하여 석회화 병변을 관측할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다.

II. 이론적 배경

1. 유방의 해부학적 구조

성인 여성의 유방은 그림 1과 같이 앞가슴의 2번째에서 6 - 8번째 늑골까지, 흉골의 외측면에서 겨드랑이의 전방까지의 범위에 위치한다. 일반적으로 우리나라 여성의 유선 지방 조직의 볼륨은 170 - 200 cc 정도이며, 두께는 1.5 - 3 cm 미만이다 [10]. 유방은 사춘기 이전에는 작지만 사춘기에 들어 뇌하수체 전엽에서의 성선자극호르몬의 분비로 에스트로겐 분비가 증가하여 유방 발육을 자극하며, 발달한 유방은 일정한 모양을 유지하다가 나이가 들어감에 따라 점차 진정된 유방 조직은 감소하고 지방이 늘어남에 따라 처지고 탄력을 잃게 된다. 또한 대부분의 여성은 50세를 전후하여 이른바 폐경기를 맞이하며, 이 시기에는 여성호르몬인 에스트로겐과 프로게스테론의 생성이 현격히 줄어들어 월경이 불규칙해 지며 유방의 통증, 멍울 또는 유두 분비물이 관찰되기도 한다. 이러한 호르몬의 감소는 유방조직 및 유선조직의 퇴화와 함께 지방조직으로의 대체를 가져와 유방의 탄력이 없어지고 아래로 처지게 된다. 유방 X-ray 촬영이 젊은 여성에서 보다 중년 이후의 여성에서 더욱 효과적인 이유는 젊었을 때는 유방이 높은 밀도의 치밀한 구조를 가진 유선 조직으로 구성되어 있다가 나이가 들면서 느슨하고 방사선 통과가 쉬운 지방으로 채워져 X-ray에 의한 이상 여부를 확인하기가 쉬워지기 때문이다.

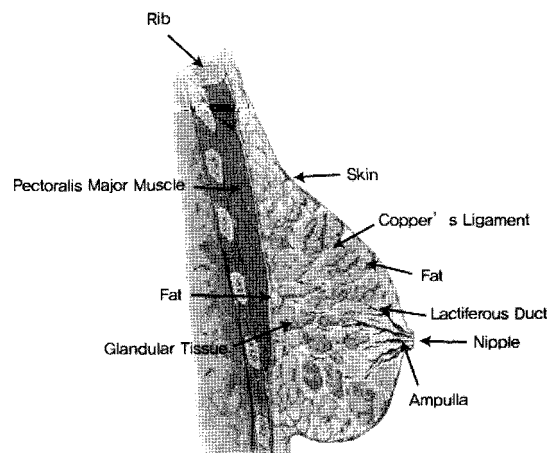


그림 1. 유방의 해부학적 시상 단면
Fig. 1. Sagittal section anatomy of breast.

2. 파워 도플러 (Power Doppler)

파워도플러는 속도 표시법에 비하여 방향 정보는 없지만 유속 혈류에 대한 감도가 높고 각도 의존성이 적다. 그러므로 혈관의 연속성을 파악하기 쉽고 종양 내의 혈류 분포 등을 평가하는데 유용하다 [11].

도플러 신호의 강도는 적혈구의 수에 비례하며, 이 강도에 해당하는 색을 표시하는 것으로 혈류가 꺾임에 의해 다른 방향을 나타내는 칼라 표시가 되지 않는다. 또한 PRF (pulse repetition frequency)를 낮게 설정할 수 있어 유속이 빠른 혈류도 표시할 수 있다.

인체에서의 도플러 신호는 반드시 랜덤 노이즈를 포함하지만, 속도 표시법에 비하여 노이즈 출력값이 낮기 때문에 판별하기 쉽다. 또 높은 계인으로 검사를 시행하여도, 혈관에서 나온 신호와 노이즈를 분별하기 쉬우며, 노이즈에 묻히는 약한 신호를 잘 나타낼 수 있다. 초음파 음속에 대하여 90° 전후의 각도가 작은 스펙트럼의 면적을 표시할 수 있기 때문에 각도 의존성의 영향을 최소화하여 혈관에서의 신호를 표시할 수 있다.

도플러 검사에서 혈류변화 표시는 혈관 내의 혈류 속도가 어느 정도 분포하고 있는지를 색깔로 표시한 것이다. 예를 들면 혈관의 협착이나 굴곡에 의해 혈류가 난류상태가 되면, 그 부분의 유속 성분은 빠른 성분에서 느린 성분까지 폭 넓게 포함되게 된다. 이와 같이 유속 성분이 폭 넓게 분포하는 부분을 칼라 표시한 것으로 혈류상태의 변화 정도를 칼라 표시하는 것이 아니라 속도 표시법과 동시에 표시하는 방법도 있다 [12].

III. 실험

1. 팬텀 제작

본 연구에서는 인체의 지방조직을 대신할 수 있는 동물성 단백질 100%로 이루어진 젤라틴을 이용하여 지방 조직 팬텀을 제작하였다. 그림 2와 같이 젤라틴 팬텀은 powder형 (Knox Original Gelatine) 젤라틴에 증류수와 생체조직의 지방질과 유사하게 만들기 위하여 글리세롤 (Unichemy glycerin 99%)을 일정 비율로 혼합하여 제작하였다. 본 실험에서 사용된 젤라틴 팬텀은 젤라틴 40 g, 증류수 125 mL, 글리세롤 10 mL의 성분비로 제작하여 사용하였다. 이 때 혼합하는 증류수의 양이 적을 경우 영상의 석회화를 초음파 영상으로 확인하는 것이 부적절하였다. 이것은 젤라틴 팬텀 제작 시 젤라틴의 양에 대하여

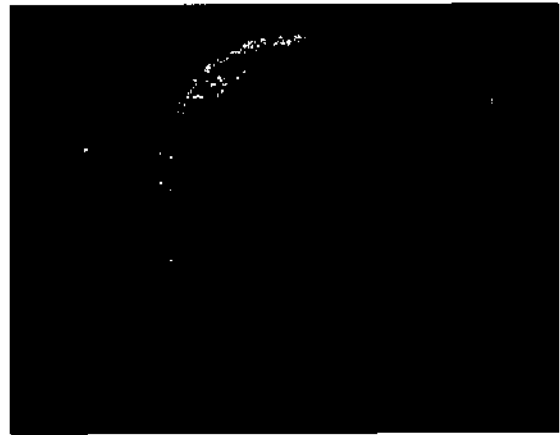


그림 2. 탄산칼슘이 주입된 젤라틴 팬텀

Fig. 2. Gelatin phantom to which calcium carbonate was injected.

증류수의 양이 부족할 경우 젤라틴 팬텀의 두께가 얇아 정상적인 초음파 영상을 얻을 수 없음을 알 수 있었으며, 글리세롤의 함유 양은 영상의 관측에 크게 영향을 미치지 않았다.

인체에 발생하는 석회화는 칼슘의 침착으로 생기는 경우가 가장 많으며, 유방의 경우에는 지방의 괴사 등으로 생기는 경우도 많다. 이러한 유방 조직의 석회화를 만들기 위하여 그림 2와 같이 젤라틴 팬텀에 입자 크기가 $400 \mu\text{m} \sim 800 \mu\text{m}$ 정도인 탄산칼슘을 증류수와 글리세롤을 함께 혼합하였으며, 탄산칼슘과 증류수, 글리세롤의 혼합비는 80 : 18 : 2의 비로 구성하였다. 젤라틴 팬텀에 탄산칼슘을 주입하기 위해서 18G의 주사바늘과 10 cc 주사기를 이용하였다. 이렇게 제작된 젤라틴 팬텀은 주성분이 젤라틴이므로 실험 중 팬텀이 상하는 것을 방지하기 위하여 실험기간 동안 냉장고에 냉장 보관하여 사용하였다.

2. 실험방법

그림 3은 본 실험에서 사용한 실험장치의 개략도이다. 먼저 주파수 발생기 (Agilent 33250A)를 이용하여 저주파 신호를 직경이 1.5 cm인 마이크로스피커 (RighTech RI508)로 인가하여 제작된 젤라틴 팬텀에 음향공진을 발생시키며, 초음파 진단장비 (Sonoace 9900)의 7.5 MHz 선형 탐촉자를 사용하여 팬텀을 스캔 하였으며, 초음파 진단장비의 파워도플러 모드를 이용하여 영상을 획득하였다. 이때 음향공진을 발생시키는 마이크로스피커를 팬텀의 옆면에 부착하여 랩으로 감싸 고정시킨 후, 저주파 발생기의 인가전압을 300mV로 조정하고 주파수를 증가하였으며, 고주파 탐촉자를 석회화 부분이 잘 보이게 고정시킨 후 파워도플러의 ROI를 조정한다. 본 실험에서는

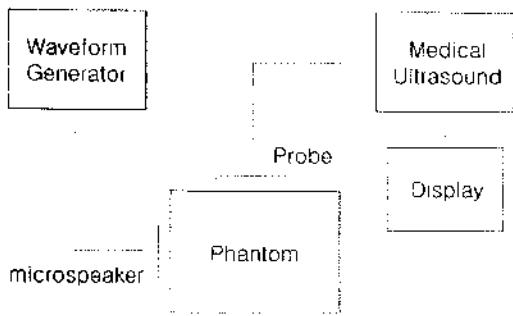


그림 3. 파워도플러와 음향공진을 이용한 실험장치의 개략도
 Fig. 3. Schematic diagram of acoustic resonance coupled with power doppler.

초음파진단장비의 wall filter는 0으로, PRF는 2500 Hz로 조정하였으며, gain은 영상이 잘 보이도록 파워도플러의 변화인자를 조정하였다. 이때 주파수 발생기의 주파수를 높여감에 따라 파워도플러의 ROI에서 나타나는 칼라 영상의 변화를 관찰하였으며, 밝기의 정도와 칼라 영상 부위의 픽셀의 수를 주파수별로 저장하였다.

IV. 결과 및 토의

본 실험에서 제작한 젤라틴 팬텀의 석회화를 확인하기 위하여 그림 4와 같이 초음파진단장비의 선형 탐촉자를 이용하여 B-mode 영상으로 확인하여 보았으며, 석회화가 존재하는 부분이 명확하게 밝은 부분으로 나타남을 알 수 있었다. 파워도플러와 음향공명을 이용한 팬텀의 석회화를 관찰하기 위하여 먼저 선형 탐촉자를 석회화 부분의 영상이 중앙에 위치할 수 있도록 고정을 시킨 후, 파워도플러의 ROI를 석회화 부분 전체가 포함될 수 있도록 지정하였다. 그림 5는 샘플 4를 B-mode로 스캔하여 석회화를 영상화 한 뒤, 파워도플러를 이용하여 음향공명을 받고 있는 상태를 영상화 하였다. ROI는 석회화 부분보다 약간 큰 정도로 지정하였으며, 외부진동에 의하여 석회화의 음향공명 상태를 파워도플러의 색상의 변화 정도로 확인 하였다. 여기서 (a)는 주파수발생기에서 발생하는 외부진동을 120 Hz, (b)는 240 Hz, (c)는 360 Hz, (d)는 660 Hz, (e)는 1,200 Hz를 인가한 영상이다. 외부진동의 변화에 따른 음향공명의 정도에 의해 파워도플러의 ROI에서 색상의 밝기 정도와 영역의 변화를 확인할 수 있었다. 주파수가 약 120 Hz 이하의 영역에서는 파워도플러의 색상이 확인되지 않았으며, 약 230 Hz 부근에서 칼라영역이 현저하게 나타나기 시작하여, 약 300 Hz에서 550 Hz까지 플레토우 영역을 나타내었다. 이후 주파수가

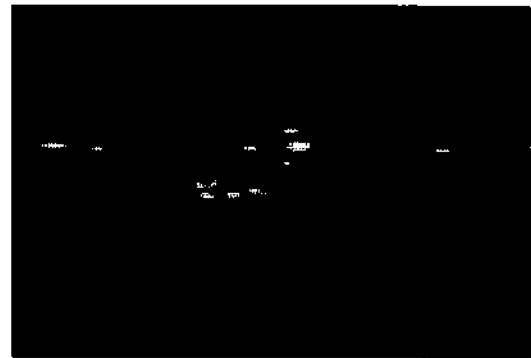
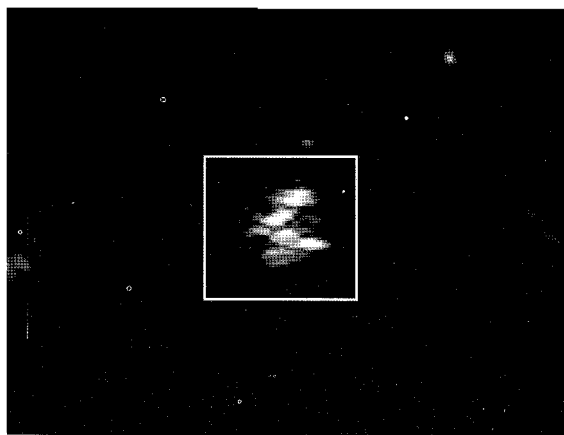


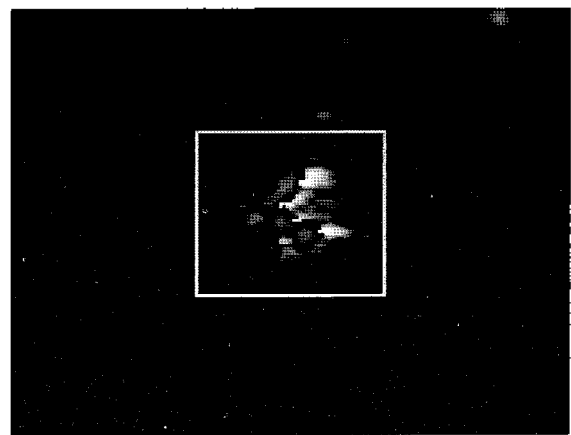
그림 4. 탄산칼슘이 주입된 젤라틴 팬텀에 대한 7.5 MHz B-모드 초음파 영상
 Fig. 4. 7.5 MHz ultrasound B-mode image of the calcium carbonate injected gelatin phantom.

증가함에 따라 파워도플러의 칼라영역이 점차 사라지기 시작하여 약 800 Hz 이상의 주파수에서 완전히 사라짐을 알 수 있었다.

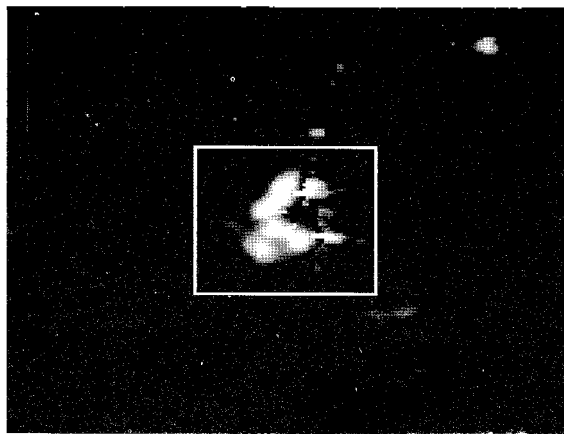
각 영상에 대한 색상의 해석은 파워도플러의 palette bar에 대한 색상을 100 등급으로 구분하여 영상의 색상을 구분한 mean color level과 ROI 내에서 색상이 나타난 영역의 비를 나타내는 fractional area과 mean color level과 fractional area를 곱한 값을 100으로 나눈 CWFA (color-weighted fractional area) 값을 확인하여 보았다. 그림 6은 mean color level을 나타내는 그래프이며, 120 Hz 부근에서 음향공명이 나타나기 시작해서 230 Hz 부근에서 음향공명이 눈에 띄게 증가함을 알 수 있으며, 약 550 Hz 까지 mean color level의 값이 플레토우 영역을 나타내었다. 약 550 Hz 이상의 주파수 영역에서 mean color level의 값이 급격히 줄어들어 약 800 Hz 이상의 외부진동에서는 음향공명이 나타나지 않는다. 그림 7은 percentage of fractional area를 나타낸 그래프이며, 약 120 Hz에서 음향공명이 나타나기 시작해서 약 230 Hz에서 음향공명이 눈에 띄게 높아지며 약 280 Hz에서 약 550 Hz 영역에서 플레토우를 나타내게 된다. 이후 음향공명상태가 급격히 줄어들면서 약 750 Hz 이상의 주파수에서 더 이상 음향공명이 나타나지 않는다. 그림 8은 color-weighted fractional area을 나타내었으며, 약 120 Hz에서 음향공명이 나타나기 시작해서 약 230 Hz에서 음향공명이 눈에 띄게 높아지며, 약 280 Hz에서 약 550 Hz 영역에서 플레토우를 나타내었다. 실제 사람들도 개인마다 유방의 특징이 있듯이 유방 생체조직 팬텀마다 특징이 차이가 있을 것이라 생각하여 젤라틴, 증류수, 글리세롤의 성분을 달리한 유방 조직 팬텀을 이용하여 실험을 하였으며, 그림 9는 젤라틴 40 g, 증류수 250 ml, 글리세롤 10 mL의 성분비



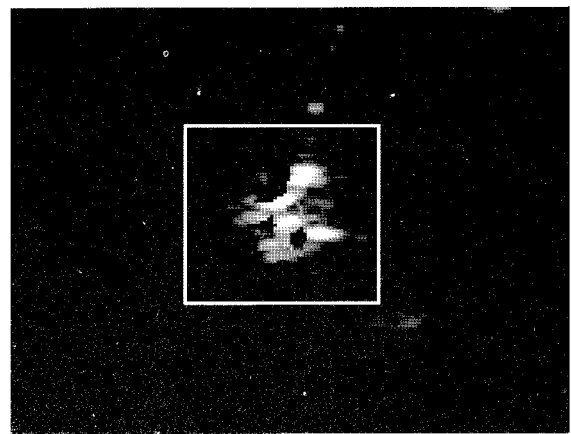
(a)



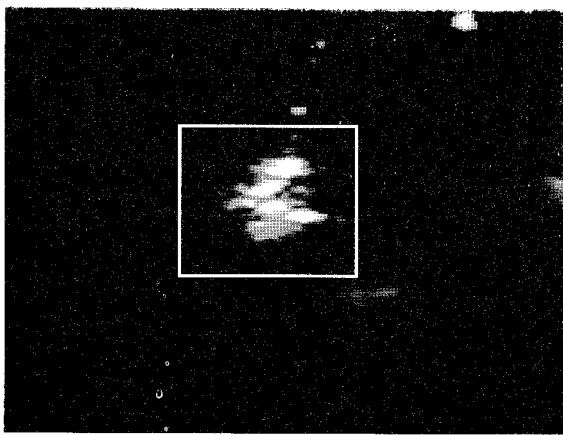
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 5. 젤라틴 팬텀에 대한 석회화 영상
 (a) 120 Hz, (b) 240 Hz, (c) 360 Hz, (d) 660 Hz, (e) 1200 Hz
 Fig. 5. Images of calcification in gelatin phantom.
 (a) 120 Hz, (b) 240 Hz, (c) 360 Hz, (d) 660 Hz, (e) 1200 Hz.

로 제작된 유방조직 팬텀의 mean color level을 나타내는 그래프이며, 그림 6과 비교 시 콜라토우의 주파수가 다르게 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 팬텀마다의 특징에 따라 약간의 음향공명 주파수가 조금씩 달라지는 것을 확인할 수 있었으며, 색상이 입혀져 있는 픽셀의 수, 색상이 입혀져 있는 픽셀이 차지하는 면적의 정도, 공명이 일

어났을 때 나타나는 반음 외선의 굵기의 차이도 나타났었다. 이는 석회화 병변의 농도 차이에 따른 음향 공진 특성의 변화에 기인한다고 볼 수 있다.

7.5 MHz 선형 탐촉자를 이용하는 유방초음파 검사는 종래와 함께 있는 것 외에도 관찰이 가능하지만, 석회화 기공과 상관없이 존재할 때와 균질화 된 미세석회화에 의한 관찰이 힘들다. 하지만 외부 음향공진과 파워도플러를 이용한 방법으로 수면조직과 다른 음향공명을 가진 석회화를 관찰할 수 있었으며, 그 특성과 병리적 소견까지 진단을 내릴 수 있게 가능하게 해주며, 후후에 시행하게 될 검사 방향을 결정해줄 수 있다. 또한 위양성률을 줄여 생검 (biopsy)이 필요한 환자의 경우에 적당한 검사 방법과 빠른 시술을 할 수 있게 하며 시술 후에 타겟의 잔유 여부도 즉시 확인이 가능하다고 여겨진다.

이러한 외부 공명현상과 파워도플러를 이용한 미세석회화 관찰은 생검을 시행해야할 때 시간의 지체 없이 바로 가능하며, 시술 후 타겟의 잔유여부를 확인할 수 있어 모든 시술과정을 빠른 시간 내에 행할 수 있어 환자와 시술자에게 있어서 많은 이득을 제공할 수 있다고 여겨진다.

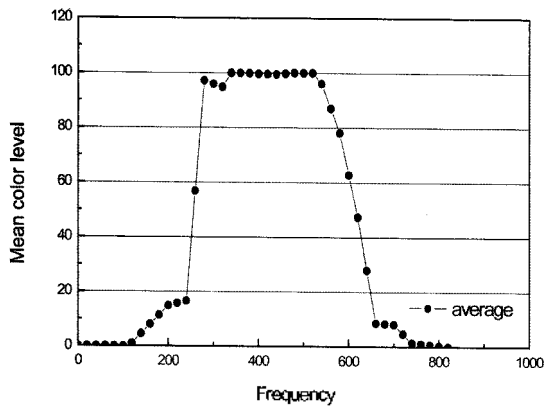


그림 6. 젤라틴 팬텀에 대한 mean color level
Fig. 6. Mean color level in gelatin phantom.

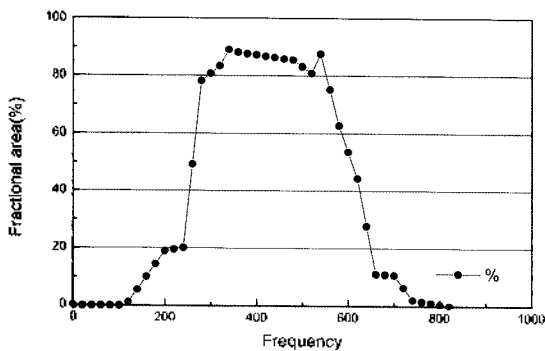


그림 7. 젤라틴 팬텀에 대한 percentage of fractional area
Fig. 7. Percentage of fractional area in gelatin phantom.

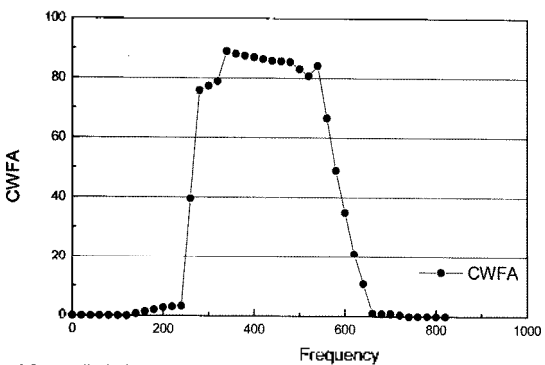


그림 8. 젤라틴 팬텀에 대한 color-weighted fractional area
Fig. 8. Color-weighted fractional area in gelatin phantom.

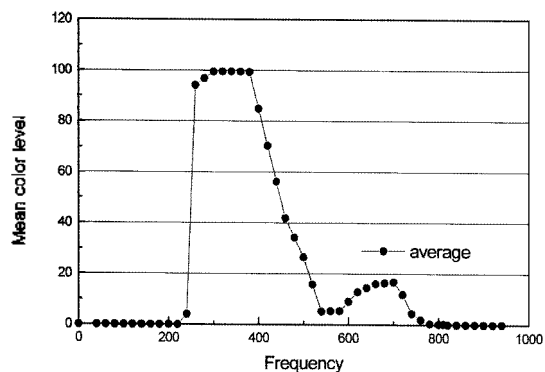


그림 9. 성분을 달리한 젤라틴 팬텀에 대한 mean color level
Fig. 9. Mean color level in gelatin phantom with other ingredients.

V. 결론

기존의 7.5 MHz 선형 탐촉자를 이용한 유방 초음파 검사는 유방 촬영술에 비하여 미세석회화 관찰이 어려운 단점을 가진다. 본 연구에서는 젤라틴을 이용한 유방조직 팬텀에 탄산칼슘 입자 (400 ~ 800 μm)를 주입하여 미세석회화를 구현하고, 외부 진동에 공진하는 석회화된 매질은 7.5 MHz 파워도플러를 이용하여 쉽게 관측할 수 있었다. 파워도플러는 석회화가 존재하는 영역에서 밝은 색상을 나타내었으며, 외부 진동 주파수 300 ~ 600 Hz 범위에서 강한 파워도플러 영상이 유지되었다. 탄산칼슘의 크기와 양을 조절하면서 석회화의 특성 변화를 주면, 공진 특성 즉 파워도플러의 영상이 변하는 것을 관찰할 수 있다. 본 연구는 유방 초음파 검사에서 10 MHz 이상의 고주파용 탐촉자를 사용하지 않아도 기존 7.5 MHz 파워도플러와 외부진동을 결합하여 미세석회화 관측이 가능함을 보여준다. 미세석회화 병변에 대해 실시간 검사가 어려운 유방 촬영술에 비해, 공명 현상을 이용한 7.5 MHz 파워도플러의 영상은 실시간으로 확인이 가능하다. 본 연구의 결과를 유방 초음파 검사에 활용한다면 유방의 미세석회화 병변 감지에 크게 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2006년도 한서대학교 교비학술연구지원사업에 의하여 연구되었음

참고문헌

1. 안세현, 박건춘, 윤용이 외, "한국인 유방암의 발병위험 요인에 관한 환자-대조군 연구", 대한 외과학회지, 50(1), 26-35, 1996.
2. Pike M., Spicer D., Dah moush L., Press M., "estrogens, progesterones, normal breast proliferation and breast cancer risks", Epidemiol. Rev., 15(1), 17-35, 1993.
3. Murphy L., Cherlet T., et al, "New insights into estrogen receptor function in human breast cancer", Ann. Med., 35(8), 614-631, 2003.
4. Jackson V. P., Hendrick R. E., et al, "Imaging of the radiographically dense breast", Radiology, 188(2), 297-301, 1993.
5. 오기근, *유방영상학*, (고려의학), 1996, pp.469-475.
6. Stavros A.T., *Breast Ultrasound*, Lippincott Williams & Wilkins, 2004, 16-18.
7. Moon W.K., Im J.G., Noh D.Y., Yeon K.M., Han M.C., "US of Mammographically Detected Clustered Microcalcification" Radiology, 217(3), 849-854, 2000.

8. Anderson M.E., Bentley R.C., Soo Ms. "The detection of breast microcalcification with medical ultrasound", J. Acoust. Soc. Am., 101(1), 29-39, 1997.
9. 박노혁, 김성미, 송순영, "유방촬영술에서 악성이 의심되는 미세 석회화의 초음파 발견율과 특징적인 소견". 관동의대학술지, 7(2), 47-52, 2003.
10. Ahuja A., Suen M., Yang W.T., "Invivo demonstration of microcalcification in breast cancer using high resolution ultrasound", Br. J. Radiol., 70(835), pp.685-690, 1997.
11. 김정구, 강세식, 심현선 외, *일반 초음파 영상학*, (정문각, 2004), pp.519-520.
12. James A. Zagzebski, *Essentials of ultrasound physics*, (Mosby, 1996), pp.116-117.

저자 약력

•김 정 구 (Jeong-Koo Kim)



한국음향학회지 제22권 4호 참조

•하 명 진 (Myeung-Jin Ha)



2003년 2월 : 한서대학교 방사선학과 학사
2006년 8월 : 한서대학교 방사선학과 석사
2006년 8월~현재 : 해성신부인과