

## Introduction to Musculoskeletal Ultrasonography

## 초음파 영상의 원리 및 이해

신상진<sup>✉</sup> • 정병진

이화여자대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

## Principle and Comprehension of Ultrasound Imaging

Sang-Jin Shin, M.D.<sup>✉</sup>, and Byoung-Jin Jeong, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Ewha Womans University School of Medicine, Seoul, Korea

Ultrasound is a sound wave beyond the audible frequency. Owing to technological development, the extent of use of ultrasound in orthopaedics is expanding. Ultrasound is produced by a piezoelectric effect and matter is requires for propagation. According to the characteristics of matter, the velocity of propagation differs and the images are the overall result of the interaction of reflection, refraction, absorption, scattering, transmission, and attenuation. The most important device is the transducer, which differs according to the array of piezoelectric elements and shapes the way it used and where it is used. Mode B is currently the most common image and many images which help to make diagnosis easier, such as doppler flow imaging, extended field of view imaging, compound imaging and three-dimensional imaging, are under developments. Ultrasound produces variable artifacts and during interpretation of ultrasound images, artifacts could interfere with correct diagnosis. In order to avoid creation of artifacts, profound knowledge of each artifact is needed. Therefore, precise understanding and interpretation of the ultrasound image is essential for proper diagnosis and use of ultrasound.

**Key words:** ultasonography, ultrasound imaging, principle of ultrasonography

## 서 론

소리를 발생하는 진동체를 음원(acoustic source)이라고 하며, 음원에서 발생하는 소리 에너지는 일정한 주파수(frequency)를 가지는 파동의 형태로 전달된다. 사람이 들을 수 있는 소리의 주파수(가청 주파수)는 20-20,000 Hz이다. 이러한 가청 주파수 범위 이상의 높은 주파수를 가지는 음파를 초음파(ultrasound)라고 정의한다. 초음파 영상(ultrasonography)이란 음향 저항(acoustic impedance)의 차이가 있는 조직에서 펄스 파(pulse wave)를 인체 내로 투과시켜 반사되는 신호를 컴퓨터로 증폭, 변환하여 영상으로 나타내는 것으로 sonography 또는 sonogram이라고도 부른다.

인체에 사용되는 초음파의 주파수 영역은 1-30 mHz이며 사용되는 초음파 형태는 진동 형태에 따라 펄스 파와 연속 파(continuous wave)로 나뉜다. 초음파는 1970년대 후반 디지털 컴퓨터가 적용되면서부터 비약적인 발전을 하였다. 초음파는 다른 영상 진단 장비에 비해 방사선 피폭의 위험성이 적고 실시간 검사가 가능하다는 장점이 있어 정형외과 영역에서의 유용성은 더욱 증가하고 있다. 이러한 초음파 장비의 기계적인 특성과 초음파로 얻어진 영상을 올바르게 이해하고 숙지하여야만 정확한 검사와 이를 바탕으로 한 적절한 시술이 가능할 것이다.

## 본 론

## 1. 초음파 발생과 수신의 원리

1880년 Pierre Curie와 Jacques Curie 형제는 석영 결정에 압력을 가하면 전위가 발생하는 압전 효과(piezoelectric effect)를 처음으로 발견하였으며, 1917년 Paul Langevin은 이 효과를 이용하여 잠

Received December 3, 2012 Revised January 22, 2013

Accepted March 6, 2013

<sup>✉</sup>Correspondence to: Sang-Jin Shin, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Ewha Womans University School of Medicine, 1071 Anyangcheon-ro, Yangcheon-gu, Seoul 158-710, Korea

TEL: +82-2-2650-5010 FAX: +82-2-2642-0349 E-mail: sjshin622@ewha.ac.kr

Table 1. Speed of the Sound Wave and Acoustic Impedance

Material	Acoustic impedance ( $\text{g/cm}^2 \cdot \text{s} \times 10^{-5}$ )	Speed (m/s)
Air	0.0004	331
Fat	1.38	1,450
Water	1.54	1,540
Liver	1.62	1,549
Blood	1.61	1,570
Muscle	1.70	1,585
Cortical bone	7.80	4,080

수함 위치를 탐지하는 수중 음파 탐지기(sound navigation ranging, SONAR)를 개발하였다. 압전 효과란 압전성을 가지는 물질에 전압을 가하면 물질이 수축하거나 확장하여 용적의 변화를 유발하는 현상이며, 이러한 특성을 가지는 물질을 압전자(piezoelectric element)라고 한다. 이 원리를 이용하여 압전자에 초음파 주파수인 1~30 MHz의 전압을 가하면 압전자가 진동을 일으켜 1~30 MHz의 초음파가 발생된다. 최근에 사용되는 압전 물질은 PZT (lead zirconate titanate)와 같은 세라믹 물질인데, 유전율(permittivity)이 높고 감도가 좋으며 음향 저항이 인체 조직과 비슷한 장점이 있다.<sup>1)</sup>

## 2. 초음파의 전달

초음파는 음파(sound wave)이기 때문에 빛과는 달리 전파되기 위해서 매개체가 필요하며 매개체의 특성에 따라 전달 속도에 차이가 난다. 또한 같은 매개체 또는 매질 내에서는 항상 같은 전달 속도를 가진다(Table 1).<sup>2)</sup> 인체 조직은 주 구성 요소가 수분이기 때문에 초음파의 신체 내에서의 전달 속도는 물에서의 전달 속도인 1,540 m/s와 유사한 값을 갖는다. 대부분 공기로 채워진 폐 조직에서 가장 낮은 음속을 나타내는 반면, 골 조직에서 4,080 m/s로 가장 높은 음속을 보인다. 음파의 전파 속도(C)에 영향을 미치는 요소는 통과하는 매개체의 밀도(density)와 경도(stiffness) 또는 체적 탄성률(bulk modulus)이며 주파수와 파장의 곱으로 산출하는데 {전파 속도(m/s)=주파수(Hz)×파장(m)}, 다음 공식과 같이 매질 밀도에 반비례하고 경도에 비례한다.<sup>3)</sup>

$$C = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

(C: 음의 속도, B: 매질의 경도 또는 체적 탄성률,  $\rho$ : 매질의 밀도)

초음파 빔은 인체의 골, 공기, 지방 조직을 통과하는 과정에서 빔의 세기 감소가 발생하는데, 이는 통과 과정에서 흡수(absorption), 반사(reflection), 산란(scatter) 등이 일어나기 때문이다.

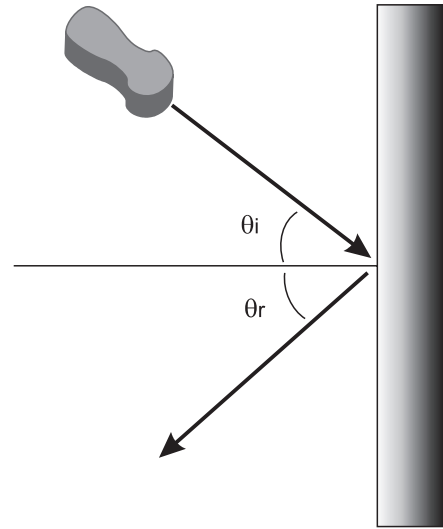


Figure 1. Reflection. When an ultrasound wave is directed at a right angle to the interface, the wave is reflected toward the sound source. These interfaces are called specular reflectors, and the angle of reflection ( $\theta_r$ ) of a sound wave is equal to the angle of incidence ( $\theta_i$ ).

## 3. 물질과 초음파 간의 상호작용

초음파는 물질과 여러 상호 작용을 하는데, 이러한 모든 성질이 종합되어 초음파 영상으로 나타나므로 각각의 특징과 원리를 이해하여야 한다.<sup>4)</sup>

### 1) 반사(reflection)

서로 다른 음향 저항을 가지는 두 매질의 경계면에 음파가 입사되면 일부는 투과하고 일부는 반사되어 탐촉자(transducer)로 돌아오게 된다. 이때 반사되는 크기는 두 매질 간의 음파 저항 차이에 의해 결정된다. 경계면이 정반사체(specular reflector)인 곳에 초음파 빔이 입사되는 경우에는 입사각과 반사각이 동일하게 나타난다(Fig. 1). 음파 저항의 차이가 클수록 반사가 많아지는데 두 매질 간의 밀도차가 클수록 음향 저항의 차이가 큰 경계면을 형성하기 때문에 반사파가 증가한다. 음파 저항은 물질의 기본적인 특성으로서 물질의 밀도와 음파 속도의 곱으로 결정된다. 즉, 음파 저항( $Z$ )= $\rho \times C$ 로 표시되며 단위는  $\text{kg/m}^2/\text{s}$ 이다. 일반적으로 연부조직과 공기와의 반사력이 가장 크다고 알려져 있으며, 이는 공기의 음파 저항이  $0.0004 \text{ g/cm}^2/\text{s}$ 이며 연부조직의 평균 음파 저항 값이  $1.54 \text{ g/cm}^2/\text{s}$ 로 두 매개체 사이에 음파 저항 값 차이가 크기 때문이다. 초음파 검사 시에 피부와 탐촉자 사이에 젤(gel)을 바르는 이유도 탐촉자와 피부 모공 속의 공기와의 음향 저항을 최대한 감소시키기 위함이다. 또한 음파의 반사는 입사각에 의해 크게 영향을 받는다. 음파 저항의 차이가 있는 반사체가 입사되는 초음파 빔에 직각으로 존재하는 경우, 빔의 입사각과 같은 방향으로 반사가 많이 발생하여 탐촉자로 돌아오는 빔의 양이 많기 때문에 초음파 영상이 명료하게 나타나지만, 입사각이 감소하게 되면 빔은 탐촉자와 반대 방향으로 반사되고 영상에 포함되지 않

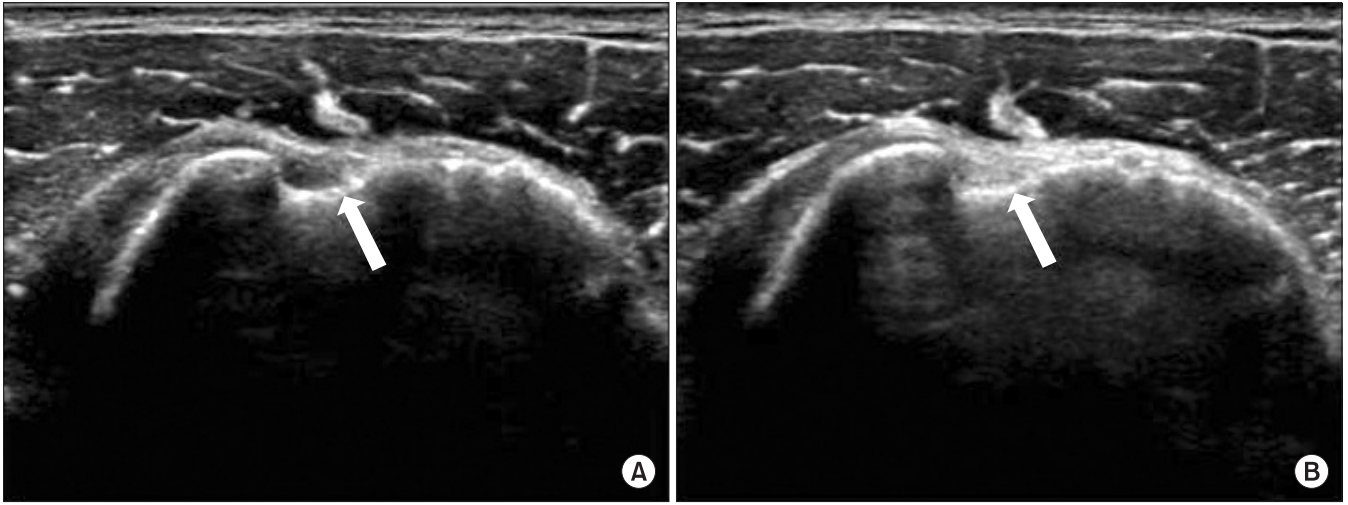


Figure 2. Transverse scan of the long head of the biceps tendon. Echogenicity at perpendicular scan to biceps tendon (A: arrow) is different from that of non-perpendicular scan (B: arrow).

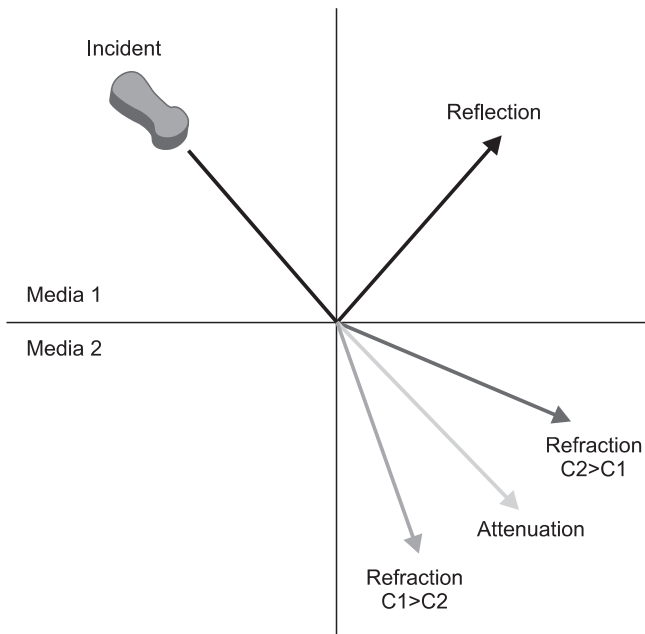


Figure 3. Refraction. When an ultrasound wave strikes at the interface between two media at an angle other than 90°, the transmitted wave is refracted. When the velocity of an ultrasound wave in media 1 is greater than that in media 2 ( $C_1 > C_2$ ), the angle of reflection is decreased, and when velocity of an ultrasound wave in the media 1 is less than in media 2 ( $C_1 < C_2$ ), the angle of reflection is increased.

게 된다. 따라서 건이나 인대의 초음파 검사를 시행할 때는 관찰하고자 하는 구조물에 수직으로 탐촉자를 위치시켜야 한다(Fig. 2).

## 2) 굴절(refraction)

굴절이란 초음파가 매질의 경계면에 비스듬히 입사할 때, 두 매

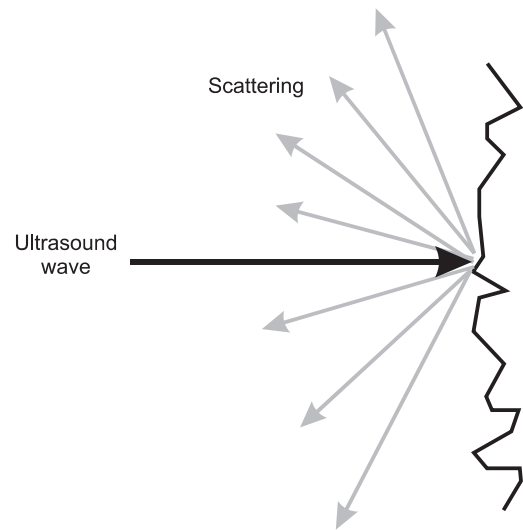


Figure 4. Scattering. When the ultrasound wave encounters an irregular interface, it scatters in many directions.

질의 밀도 차에 의하여 음파 진행 방향이 바뀌는 것을 의미한다. 굴절 현상은 Snell의 법칙을 따르게 되는데, 두 매질의 음속과의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다(Fig. 3).

$$\sin \theta_t / \sin \theta_i = C_2 / C_1, \sin \theta_t = \frac{C_1}{C_2} \sin \theta_i$$

( $C_1$ : 매질1 음속,  $C_2$ : 매질2 음속,  $\theta_i$ : 입사각,  $\theta_t$ : 투과각)

굴절 현상은 초음파 영상에서 허상(artifact)의 주된 원인이 되는데, 물체의 공간적 위치화(localization)가 방해를 받아서 실제 구조물의 위치가 아닌 다른 위치에 구조물이 있는 듯하게 나타나게 된다.

### 3) 흡수(absorption)

음파가 물체를 통과할 때, 마찰력에 의해 일부 에너지가 흡수된다. 이 에너지는 열로 전환되어 초음파 영상에 더 이상 기여하지 않는다. 이처럼 초음파의 운동 에너지가 열에너지로 바뀌는 현상을 흡수라고 한다. 연부 조직에서 초음파 빔의 흡수 정도는 주파수에 비례하여, 초음파 빔의 주파수가 두 배로 증가하면 흡수 정도가 두 배로 증가하게 된다. 이는 탐촉자를 고르는 데 중요한 요인으로 작용하는데 그 이유는 공간적 해상도가 주파수에 비례하기 때문이다. 고주파를 사용하면 해상능은 좋아지지만 흡수율이 증가되어 심부 조직을 검사하는 데 방해가 된다.

### 4) 산란(scattering)

초음파 빔이 매질 사이의 경계면에 반사될 때, 표면이 편평하면 정반사(specular reflection)가 발생한다. 그러나 표면이 불규칙한 반사면에 부딪히면 초음파 빔이 여러 방향으로 흩어지게 되는데 이것을 산란이라고 한다(Fig. 4). 또한 초음파 파장보다 작은 물체의 경계면에 부딪힐 때에도 초음파 빔이 사방으로 흩어지는 산란 현상이 나타난다(diffuse scattering). 산란은 산란체의 크기가 작을수록, 주파수가 높을수록 많이 발생하는데, 산란 강도가 주파수의 4제곱에 비례하기 때문에 주파수를 2배 높이면 산란 강도는 16배 증가하게 된다.

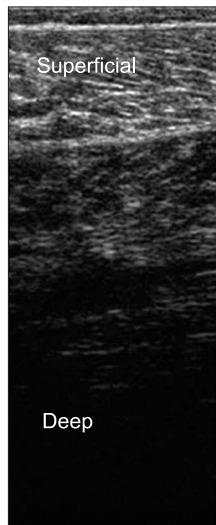


Figure 5. Attenuation. The display shows a gradual loss of the intensity of a signal as it passes from superficial to deep tissue.

### 5) 투과(transmission) 및 감쇠(attenuation) 효과

음파가 물체의 표면에서 일부 반사되고 일부는 통과하여 매질을 통하여 더 깊은 곳까지 도달하는 것을 투과라고 한다. 이 과정 중 음파는 에너지를 잃고 점점 더 투과율과 반사력을 잃는데, 초음파가 투과되어 진폭과 강도의 감소가 일어나는 것을 감쇠라고 한다(Fig. 5). 조직 내에서 음파가 단위 길이당 감쇠되는 정도를 감쇠 계수(attenuation coefficient)라고 하며,  $\text{Attenuation (dB)} = \text{주파수 (mHz)} \times \text{통과 거리 (m)}$ 로 나타낸다(Table 2).<sup>3)</sup>

## 4. 탐촉자(transducer)

### 1) 탐촉자의 구성

초음파를 발생시켜 송신하고 반사된 에코를 수신하는 장비를 탐촉자(probe or transducer)라고 하며 검사 부위와 목적에 따라서 모양과 크기가 다르다(Fig. 6). 탐촉자는 인체 표면에 닿는 결합 층(matching layer), 후방 음을 흡수하는 흡음 층(backing layer) 및 그 사이의 압전 물질로 이루어져 있으며, 그 외에도 초음파가 밖으로 새어 나가지 못하게 차단하는 절연체 및 케이블 등으로 구성된다.<sup>5)</sup> 결합 층은 탐촉자와 피부 사이의 음향 저항의 차이를 감소시키며 조직 내로 효율적으로 초음파 빔이 전달되고, 반사된 빔을 높은 감도로 수신할 수 있게 도와주는 역할을 한다. 흡음 층은 주로 후방 음을 흡수하는 역할을 하기 때문에 damping block이라고 하며, 텅스텐(tungsten)과 고무 가루(rubber powder)로 구성되어 있다.

### 2) 압전 물질의 배열 형태

탐촉자는 구성 물질인 압전 물질의 배열에 따라 단일 결정 탐촉자(single array probe), 선형 배열 탐촉자(linear array probe), 곡선형 배열 탐촉자(curvilinear probe), 위상차 배열 탐촉자(phased ar-

Table 2. Attenuation Coefficient of Various Tissues

Tissue	Attenuation at 1 mHz (dB /cm)
Water	0.002
Blood	0.180
Fat	0.600
Soft tissue	0.700
Muscle	1.500
Cortical bone	10.000

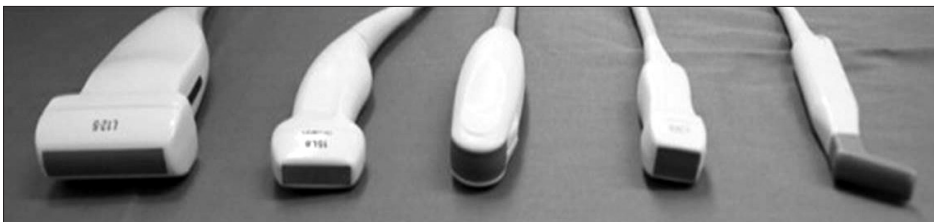


Figure 6. Various types of ultrasound transducers.



ray probe), 환상 배열 탐촉자(annular array probe) 및 이차원적 배열 탐촉자(matrix array probe)로 구분한다.<sup>5)</sup> 단일 결정 탐촉자는 1개의 압전 결정을 이용하는 것으로 최근에는 사용되지 않는다. 선형 배열 탐촉자는 256-512개의 압전 물질로 구성되어 있으며, 보통 20개 정도가 그룹으로 되어 있다. 위상차 배열 탐촉자는 선형 배열 탐촉자보다 작은 64-128개의 압전 물질로 구성되어 있으며, 일정한 지연 시간을 두고 각각의 압전 물질에 전기적 신호를 가하여 초음파 빔을 형성한다. 주로 심장 및 혈관의 도플러 검사에 이용되는데 동시에 여러 개의 집속점을 얻을 수 있어 영상 분해능을 향상시킬 수 있는 장점이 있는 반면, 영상 중심부 주변에 공간 분해능이 떨어지는 제한점이 있다. 환상 배열 탐촉자는 기계식과 전자식을 합성한 형태로 선상 배열 탐촉자에 비해 초점 길이가 매우 길다. 이로 인해 영상 분해능이 좋은 장점이 있으며 주로 심장 및 안과적 검사에 이용된다.

### 3) 탐촉자의 종류

(1) 선형 탐촉자(linear probe): 선상 배열 방식으로 가장 기본적인 탐촉자의 형태이다. 직사각형의 초음파 상을 제공하며 주로 표재성 장기의 진단에 사용된다.

(2) 부채꼴 탐촉자(sector probe): 위상차 배열 방식으로 진동자마다 시간차를 두는 방식으로 화상의 질이 높아진다. 표재성 부근의 상이 좁기 때문에 사각이 생기는 단점이 있으나 원거리 부근의 장기 관찰에 매우 용이하다.

(3) 볼록형 탐촉자(convex probe): 선형 탐촉자와 부채꼴 탐촉자의 장점을 가진 형태로 선형 배열 방식을 사용한다. 표재성 부근의 상이 좁은 부채꼴 탐촉자의 단점을 보완하고 원거리의 장기 진단도 수월하다. 표면이 볼록하기 때문에 부채꼴 모양의 영상이 만들어 지며 복부 등의 넓은 부위를 검사하는 데 주로 사용된다.

(4) 기타: 그 외에도 사다리꼴 탐촉자(trapezoid probe) 등이 있고, 사용 방법에 따라 도플러용(doppler), 천자용(acupuncture), 수술용 탐촉자도 있으며, 사용 위치에 따라 직장용(rectal), 내시경용(endoscopic), 요도용(urethral), 질용(vaginal) 등의 탐촉자가 있다.

## 5. 초음파 영상 표시 방법

### 1) 진폭 모드(amplitude mode, A-mode)

A-mode는 초음파 영상 표시 방법 중 가장 기초적인 형태로 시간(거리) 축상에 반사음의 강도를 진폭 크기로 표시한 방법이다. 반사음이 강하면 진폭이 높고 반사음이 약하면 진폭이 낮다. 거리 측정에는 유리하지만 탐촉자의 방향이 조금만 틀려도 화상이 변하기 때문에 현재는 거의 사용되지 않는다.

### 2) 움직임 모드(motion mode, M-mode)

M-mode는 A-mode의 변화된 형태로 움직이는 반사체의 거리를

시간적 변화로 표시하는 방법이다. 주로 심장 판막을 관찰하는데 이용되며, 태아의 심음도 기록할 수 있지만 최근에는 도플러 방법으로 많이 대체되고 있다.

### 3) 밝기 모드(bright mode, B-mode)

B-mode는 반사음을 점(dot)의 밝기로 표시하는 방법으로 현재 대부분 초음파 진단 장비에서 사용하는 방법이다. 각 점들의 밝기는 반사 신호의 진폭에 비례하며, 최근에는 256 이상의 밝기 레벨을 제공한다. 또한 장기 움직임을 실시간 그대로 영상화하여 나타낸다.<sup>6)</sup>

## 6. 이미징(imaging)

### 1) 도플러 이미징(doppler flow imaging)

도플러 초음파의 기본 핵심은 어떤 물체가 움직이고 있을 때 이 운동 물체에서 반사된 음파는 그 운동 속도에 비례하여 주파수 변화를 받게 된다는 도플러 효과에 기반을 둔다. 도플러 효과는 1842년 Christian Doppler가 발표한 이론으로 관측자가 정지해 있을 경우, 음원이 관측자 쪽으로 움직이면 주파수가 증가하고, 음원이 관측자에서 멀어질수록 주파수가 감소한다는 것이다. 인체에서 사용되는 초음파의 도플러 효과는 적혈구가 반사체에 해당하며, 혈류에서 적혈구가 다가오는지 멀어지는지를 판단하는 데 사용한다. 탐촉자에서 발생한 송신 주파수는 적혈구와 부딪힌 다음 반사되고 다시 탐촉자가 수신하는데, 혈구의 움직이는 방향과 속도에 의해 달라진다. 이 경우, 송신 주파수와 수신 주파수의 차이를 도플러 변위 주파수(doppler shift frequency)라고 한다. 최초의 주파수가 높거나 혈류 속도가 빠를 때는 도플러 변위가 커지고 도플러 각이 클수록 도플러 변위는 작아진다. 반사체 속도와 도플러 변위와는 비례하며 반사체 속도가 빠르면 도플러 변위가 많이 발생한다. 일반적으로 도플러 장비로 측정할 수 있는 혈류

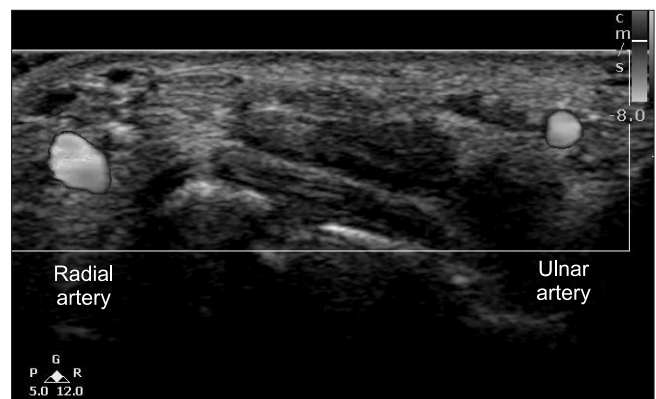


Figure 7. Doppler image obtained from the wrist (radial artery and ulnar artery). Courtesy of Philips Healthcare.

속도는 10-100 m/s 정도이며, 7 mHz 탐촉자를 이용하여 40도 입사각으로 검사할 때 도플러 범위는 500-4,500 mHz로 도플러 범위가 가청 주파수 범위 내에 있기 때문에 스피커를 통해 소리를 들을 수 있다.

근골격계 영상에서 flow 관련 정보를 제공하는 두 가지 흔한 방법은 color flow doppler 방법과 power doppler 방법이다.<sup>7)</sup> Color flow doppler 영상은 방향과 속도 정보를 색의 스펙트럼으로 전환하여 영상으로 표시한 것으로 혈류 속도가 빠른 경우에는 밝은 색, 느린 경우에는 어두운 색으로 표시된다. 또한 혈류 방향이 탐촉자를 향하면 빨간색으로, 반대로 멀어지면 파란색으로 표시된다(Fig. 7). Color flow doppler는 초음파 빔의 입사각에 매우 민감하여 위신호(aliasing) 및 noise가 발생할 수 있다. 반면, power doppler는 도플러 신호의 정도나 구조물의 수(혈액 속의 적혈구)를 나타내는 것으로 입사 각도에 덜 민감하여 위신호가 없고 noise에 의한 영상 감쇠도 덜하다. 또한 power doppler는 반사된 도플러 에너지를 기록하기 때문에 매우 민감하여 작은 혈관과 느린 속도의 혈류도 검출할 수 있는 장점이 있지만 방향과 속도 정보가 소실되는 단점이 있다.

**2) 확장된 시야 이미징(extended field of view sonography, EFOVS)**  
초음파 영상의 가장 큰 단점은 한번에 관찰할 수 있는 시야가 좁다는 점이다. 그러나 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 발달로 이를 극복할 수 있게 되었다. 선형 배열 탐촉자로 검사 범위를 천천히 움직이면서 받은 영상을 고속으로 처리하여 하드웨어가 연속 프레임을 분석하는 방법을 통해 넓은 부위의 영상을 실시간으로 관찰할 수 있다. 이러한 EFOVS는 길이가 긴 근육 및 연부조직 병변, 계측이 필요한 부위 및 혈관을 검사할 때 매우 유용하게 이용하고 있다.<sup>8)</sup>

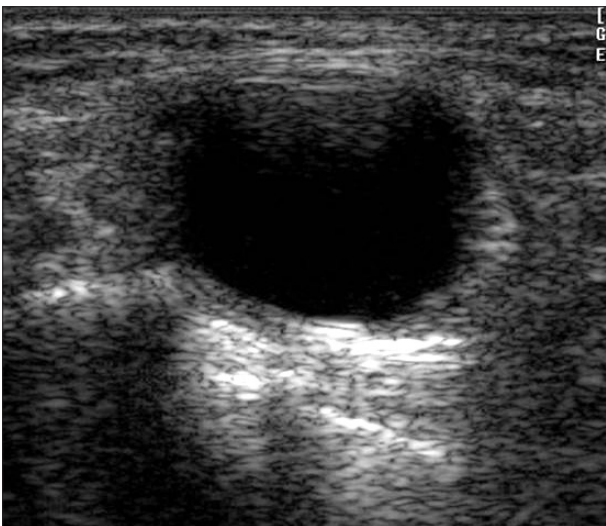


Figure 8. Posterior acoustic enhancement. Abnormal echogenicity is seen as a result of the fluid-filled cyst.

### 3) 실시간 통합 이미징(real-time spatial compound imaging, SonoCT)

실시간 통합 이미징이란 여러 방향의 각도로부터 얻은 정보를 빠르게 통합하여 하나의 초음파 이미지로 완성하는 방법을 말한다. 이 이미지는 스펙클(speckle), 반향(clutter) 등과 같은 허상들을 제거할 수 있기 때문에 기존의 초음파 영상보다 해상도와 이미지 대조가 개선되는 장점이 있다. 특히, 유방 촬영, 말초 혈관, 근골격계 손상 진단에 유용하게 사용되며, 향후 3차원 이미지, 파노라마 이미지, 하모닉(harmonics) 영상 등의 기술과 결합하여 크게 발전할 것으로 기대된다.<sup>9)</sup>

### 4) 3차원 이미징(three-dimensional imaging)

최근 디지털 컴퓨터 기술의 향상은 3차원 초음파 이미지를 가능하게 하였다. 3차원 이미지는 2차원 단면들을 모아 입체적으로 변환기를 통해 재구성하여 만드는 방법이다. 또는 '3차원-체적 변환기'라고 불리는 변환기를 이용할 수 있는데 이는 일반적인 변환기보다 크고 다루기 어렵지만, 정확한 이미지를 얻을 수 있는 장점이 있다. 3차원 이미지의 장점은 2차원보다 더 정확한 해부학적 정보를 얻을 수 있고, 정확한 체적 측정이 가능하다.<sup>10)</sup> 최근에는 근골격 조직의 분석에 전용 체적 변환기들이 소개되어, 회전근개 파열, 영유아 고관절 병변 등 다양한 질환을 진단하는 데 도움이 된다.

## 7. 허상(artifacts)

초음파 영상에서 비정상적인 해부학적 구조물이 영상으로 나타나거나, 정상적인 구조물이 부적절한 모양이나 크기 또는 소실되어 보이는 것을 허상이라고 한다. 초음파는 다른 영상 진단법보다 허상의 종류가 다양해서 위양성 소견을 보이는 경우가 많다.

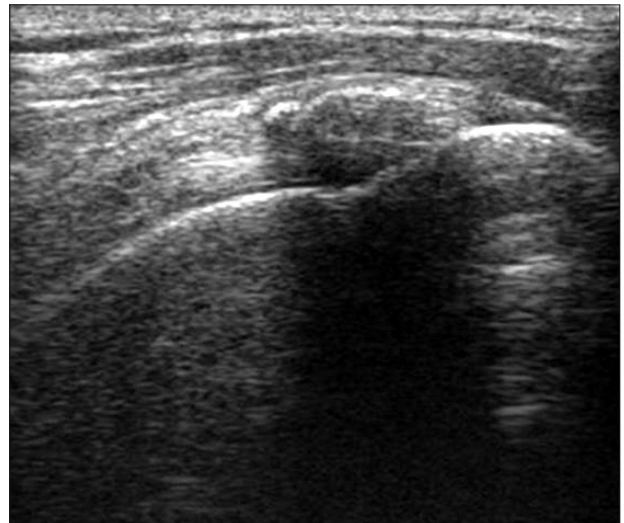


Figure 9. Acoustic shadowing. Long axis scan of calcific tendonitis shows acoustic shadowing posterior to echogenic calcific deposits.

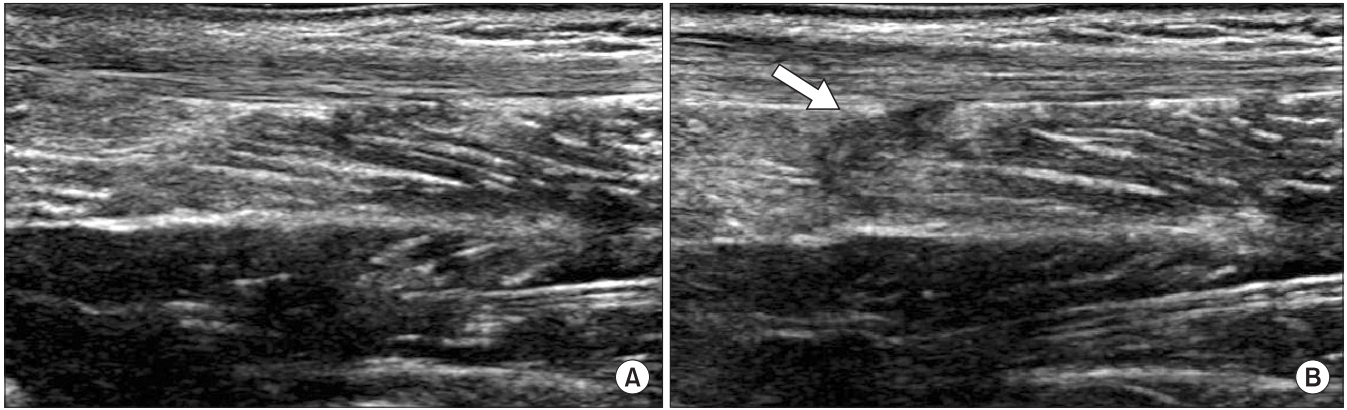


Figure 10. Anisotropy. Long axis scan of the Achilles tendon. (A) Normal hyperechoic tendon. (B) When the transducer is angled along the longitudinal axis of the tendon, causing hypoechogenicity (arrow) from anisotropy.

허상은 정확한 진단을 방해하기도 하고, 혹은 진단에 도움을 주기도 하기 때문에 허상의 종류와 원인을 이해하여 초음파 판독의 정확성을 높여야 한다.<sup>11)</sup>

#### 1) 후방 음향 증강(posterior acoustic enhancement)

근거리에 위치한 조직 내에 낭종(cyst)과 같은 액체가 존재한다면 초음파 빔은 세기의 손실 없이 그대로 원거리에 도달한다. 그러나 원거리에 반사 구조물이 있어 초음파 빔이 반사되면 초음파 장치는 이것을 미리 설정된 원거리에 맞게 높은 증폭을 하게 된다. 따라서 초음파 빔이 화상에 매우 밝게 증강되어 표시되는데 이것을 후방 음향 증강이라고 한다(Fig. 8). 어떤 조직에서 음향 증강이 있다면 그 전 구조물 내부의 액체 같은 물질이 존재함을 알 수 있다.

#### 2) 측방 음영(lateral shadow or edge shadow)

초음파 빔이 성분이 다른 등근 표면의 매질을 통과할 때, 굴절되거나 굴절된 빔이 약해져 그림자로 나타나게 되는데 이것을 측방 음영이라고 한다. 대표적으로 장골의 골간 같이 등근 구조물 가장자리에 vertical hypoechoic bands로 표시되는 형태로 나타난다.

#### 3) 음향 음영(acoustic shadowing)

매개 물질 사이의 경계 면에서 반사율이 아주 높으면 초음파의 거의 대부분이 반사된다. 결석이나 석회 침착 부위 같이 강한 반사체의 구조물인 경우, 초음파가 거의 대부분 반사되어 물체 후면에는 초음파가 거의 도달하지 못하게 된다. 따라서 초음파 통과와 방해 받은 구조물 후방에는 영상이 만들어지지 않는데 이것을 음향 음영이라고 하며, 초음파 상에서 에코 결손 및 저에코성 병변으로 관찰된다(Fig. 9).

#### 4) 이방성(anisotropy)

탐촉자를 관찰하고자 하는 구조물에 수직으로 세우지 않았을 때 주사선의 굴절로 인해서 저 에코의 영상으로 나타나는 현상이다.

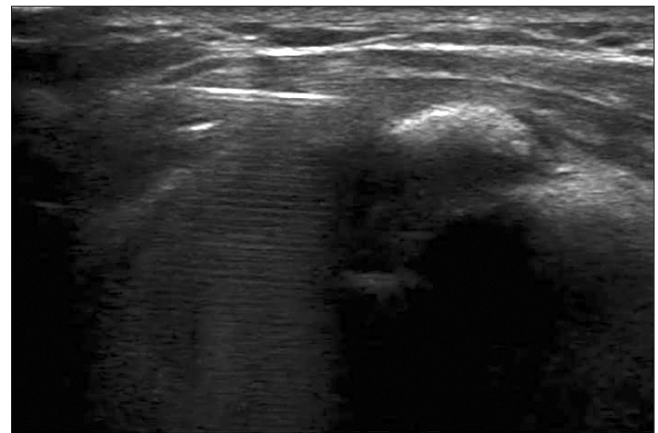


Figure 11. Reverberation. The display shows ultrasound echoes being repeatedly reflected when a needle is inserted into subacromial space.

근골격계 검사에서는 근육, 인대, 신경, 건 등이 이방성을 나타낼 수 있는 구조물이며 이 중 건의 이방성이 가장 흔하게 발생한다. 회전근 개나 아킬레스 건을 초음파로 관찰할 경우, 이러한 이방성 허상으로 인한 에코의 감소를 건 파열로 잘못 판독할 수 있기 때문에 주의하여야 한다(Fig. 10). 초음파 검사를 할 때마다 항상 검사하고자 하는 구조물에 탐촉자를 직각으로 위치시켜야 이러한 이방성 허상을 피할 수 있다.

#### 5) 다중 반사(reverberation)

음향 저항 차이가 큰 경계 면에서 되돌아오는 음의 진폭이 증가되어 수신되는 경우가 있다. 이러한 초음파 빔이 반사체와 탐촉자 사이에서 에너지가 감쇠될 때까지 반복되는 현상을 다중 반사라고 한다. 이러한 반사는 초음파 빔에 직각을 이루며 피부 표면과 평행한 경계면이 둘 또는 그 이상 있을 때 발생하는데, 심부로 갈수록 신호는 점점 약해져서 마치 유성 꼬리가 희미해지는 것처럼 어둡게 보인다(Fig. 11). 다중 반사 현상은 조직 내에 금속이나 유리 파편 등이 존재함을 의미한다.



## 결론

정형외과 분야에서 초음파는 적용 범위가 급격히 넓어지고 있으며, 사용 빈도 또한 빠르게 증가하고 있다. 초음파는 저렴하고 비침습적인 방법이며, 동적 영상뿐 아니라 최근에는 3차원 영상까지 얻을 수 있어 환자들의 연부조직 병변 진단에 큰 도움이 된다. 그러나 여러 가지 특징적인 초음파 원리를 이해하지 못하면 잘못된 영상 해석을 하기 쉽다. 따라서 올바른 진단과 적절한 초음파 사용을 위하여 초음파의 정확한 이해 및 올바른 영상 해석 기술을 숙지하여야 한다.

## REFERENCES

1. Wells PN. ltrasound imaging. *Phys Med Biol.* 2006;51:R83-98.
2. Bianchi S, Martinoli C. *Ultrasound of the musculoskeletal system.* Berlin, New York: Springer; 2007.
3. Bushberg JT, Seibert JA, Leidholdt EM, Boone JM. *The essential physics of medical imaging.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. 469-553.
4. Claudon M, Tranquart F, Evans DH, Lefèvre F, Correias M. Advances in ultrasound. *Eur Radiol.* 2002;12:7-18.
5. Carpenter DA. Ultrasonic transducers. *Clin Diagn Ultrasound.* 1980;5:31.
6. Hangiandreou NJ. AAPM/RSNA physics tutorial for residents. Topics in US: B-mode US: basic concepts and new technology. *Radiographics.* 2003;23:1019-33.
7. Whittingham TA. Medical diagnostic applications and sources. *Prog Biophys Mol Biol.* 2007;93:84-110.
8. Lin EC, Middleton WD, Teefey SA. Extended field of view sonography in musculoskeletal imaging. *J Ultrasound Med.* 1999;18:147-52.
9. Entekin RR, Porter BA, Sillesen HH, Wong AD, Cooperberg PL, Fix CH. Real-time spatial compound imaging: application to breast, vascular, and musculoskeletal ultrasound. *Semin Ultrasound CT MR.* 2001;22:50-64.
10. Hünnerbein M, Raschke M, Khodadadyan C, Hohenberger P, Haas NP, Schlag PM. Three-dimensional ultrasonography of bone and soft tissue lesions. *Eur J Ultrasound.* 2001;13:17-23.
11. Feldman MK, Katyal S, Blackwood MS. US artifacts. *Radiographics.* 2009;29:1179-89.



## 근골격계 초음파 입문

## 초음파 영상의 원리 및 이해

신상진<sup>✉</sup> • 정병진

이화여자대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

초음파란 사람이 들을 수 있는 가청 주파수 이상의 음파를 말한다. 초음파 진단 기기의 발전과 더불어 최근 정형외과 영역에서 적용 범위와 사용 빈도가 급격하게 증가하고 있다. 초음파는 압전 효과에 의해 발생하며 전파되기 위해서 매개체가 필요한데, 그 매개체의 특성에 따라 전달 속도에 차이가 난다. 또한 통과하는 물질과 반사, 굴절, 흡수, 산란, 투과, 및 감쇠 등의 상호 작용을 일으키며, 이런 특성들이 종합되어 초음파 영상으로 나타난다. 초음파의 가장 중요한 구조는 탐촉자이며 압전 물질의 배열에 따라 구분할 수 있으며, 모양과 사용 방법 및 위치에 따라 여러 종류가 있다. 현재 대부분의 초음파는 B-모드의 영상 표시 방법을 사용하고 있으며, 도플러 초음파, 확장된 시야 이미징, 통합 이미징, 3차원 이미지 등 다양한 이미지의 발전을 통해 진단에 도움을 준다. 초음파 영상은 다양한 허상이 발생할 수 있는데, 이러한 허상은 정확한 진단을 방해하기 때문에 그 종류와 원인을 이해하여야만 정확한 초음파 영상의 판독이 가능하게 된다. 따라서 올바른 진단과 적절한 초음파 사용을 위하여 초음파의 정확한 이해 및 올바른 영상 해석 기술을 숙지하여야 한다.

**색인단어:** 초음파, 초음파 영상, 초음파의 원리

접수일 2012년 12월 3일 수정일 2013년 1월 22일 게재확정일 2013년 3월 6일

<sup>✉</sup>책임저자 신상진

서울시 양천구 안양천로 1071, 이화여자대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

TEL 02-2650-5010, FAX 02-2642-0349, E-mail sjshin622@ewha.ac.kr