

초음파진단의 기초원리 및 임상적 응용 (1)

윤 정 희

초음파진단의 기초원리

초음파는 안전하고 비침습적인 진단기술로서 이는 조직과의 계면으로부터 발생하는 고주파수의 반사파를 이용해서 가시영상을 만들어내는 것이다. gray-scale 초음파는 연부조직 구조의 크기, 모양 및 위치를 정확하게 묘출해 준다. 또한 장기내에 있는 것을 포함한 여러종류의 조직들은 초음파로 감별을 할 수 있다.

화상출력(Image Production)

초음파의 발생과 수신(Emission and Reception of Ultrasound)

소리의 주파수는 Hz로 표시되는데 1 Hz는 초당 1 cycle을 말한다. 진단초음파의 주파수영역은 사람이 귀로 들을 수 있는 것 이상이며, 1~20 MHz사이이다. 초음파 영상장치는 탐촉자라고 하는 구조로 구성되는데 이는 주로 한가지 주파수의 음파를 발생시켜, 영상을 출력시키는 방법으로써 고안되었다. 초음파의 주파수는 압전자(piezoelectric crystals)라고 하는 탐촉자내의 구조에 의한 전기적인 자극으로 발생된다(그림 1). 압전자는 파형이 있는 전류가 가해지면 변형되고 따라서 작은 음파를 발생시키는데 이는 총체적으로 '음파(sound beam)'라 일컬어진다.

고주파수의 음파가 회수되거나 에코가 압전자를 치게되면, 압력에 의해 음파는 변형되고 전기적인 파가 발생된다. 이러한 압전자의 고유한 특성으로 인해 탐촉자는 음파를 발생하기도 하고, 수신할 수도 있게 된다. 탐촉자는 신호를 99% 받아들이는 수신자(전달된 음파사이에서 돌아오는 에코를 받아들임)로 작용하며, 단지 1%의 신호만 투과시키게 된다.

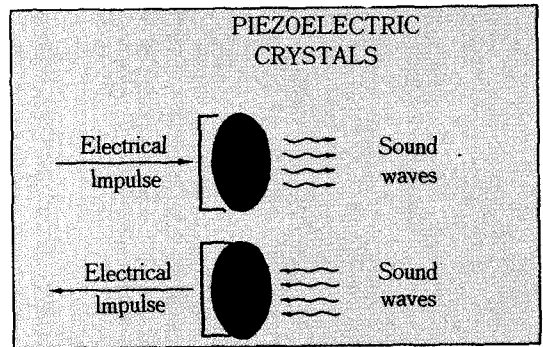


그림 1. 압전자에 가해지는 전류. 크리스탈이 접촉하고, 확산되면서 음파를 발생시킨다. 돌아오는 에코는 크리스탈에 압력을 가해 전자파를 발생시킨다.

음향임피던스와 감쇠(Acoustic Impedance and Attenuation)

초음파상은 신체조직에 의해 반사된 음파의 수 및 강도에 의해 결정된다. 탐촉자로 반사된 음파의 양은 한 조직에서 다른 조직으로 음파가 전달될 때 생기는 음향임피던스의 변화에 직접적으로 비례한다.

* 서울대학교 수의과대학 부속동물병원

음향임피던스는 물체의 밀도와 그 물체를 통한 전파 속도로 인한 산물이다. 어떤 조직의 절대 음향임피던스치는 비교적 중요치 않은데 이는 반사파의 양을 결정짓는 조직계면에서의 음향임피던스 상의 차이가 커지기 때문이다.

영상을 위해 음파의 반사가 필수적이기는 하지만 심부조직을 관찰하기 위해서는 음파를 반사시키고 영상화하기 위해 특정한 계면을 지나서 음파가 통과하는 것이 필수적이다. 연부조직-공기 계면이나 연부조직-뼈의 계면에서 나타나는 것과 같은 음향임피던스에서의 큰 변화로 인해 거의 대부분의 음파는 반사되고 소량의 음파만이 심부조직 구조를 영상화하게 된다. 폐나 소장의 공기는 완전한 반사체로 작용하기 때문에 초음파검사에 막대한 지장을 초래한다. 이러한 뼈나 가스를 통과하지 못하는 것이 초음파의 주된 단점인 것이다.

연부조직을 통과하면서 음파로부터 에너지가 감소되는 것을 '감쇠(attenuation)'라고 한다. 초음파 빔의 통과깊이는 주파수에 따라 변하며, 대략 1db/cm/MHz 정도의 감쇠율에 토대를 두고 있다. 예를 들어 3.0-MHz의 음파는 3db/cm의 비율로 감쇠될 것이며, 반면 7.5-MHz의 음파는 7.5db/cm의 비율로 감쇠가 일어날 것이다. 따라서 저주파수의 음파는 고주파수의 경우보다 조직의 투과성이 더욱 우수하다.

분해능(Image Resolution)

주파수와 투과깊이가 역관계에 있기는 해도, 음파의 주파수와 분해능은 직접 비례한다. 초음파에서는 두가지 분해능이 특히 중요하다. 거리분해능(axial resolution)은 빔의 경로를 따라 있는 두개의 물체를 구별하는 음파의 능력을 말한다. 음파의 넓이가 크면, 한 파장넓이보다 가까이 있는 구조들은 한 개의 물체로 영상화된다. 따라서 파의 폭이나 파장이 작으면 작을수록 거리분해능은 좋아진다. 두 물체를 묘출할 수 있는 음파의 능력을 또한 방위분해능(lateral resolution)이라 한다. 방위분해능은 주로 탐촉자 크리스탈의 크기에 의해 결정된다. 크리스탈의

크기가 작고 고주파일수록 분해능은 우수하며, 표제성 조직의 검사에 주로 권장된다. 저주파수의 빔은 조직투과성이 뛰어나므로 적절한 심부조직의 영상화에 필수적이다.

Time Gain Compensation

크리스탈 근처의 조직계면에서 돌아온 에코는 감쇠로 인해 원위 계면으로부터 반사된 것보다 강하게 나타난다. 감쇠현상을 보상하기 위해 먼 조직계면으로부터의 에코강도는 감쇠의 정도에 비례해서 증폭을 시키는 반면, 탐촉자 근처의 계면으로부터의 에코는 증폭과 강도를 전기적으로 억제시킨다.

전기적인 변화를 통해 화상의 에코를 일정하게 유지하는 것을 time gain compensation이라 한다. TGC의 기능은 유사한 조직계면으로부터 같은 크기의 에코를 받는 동안에 시간 또는 거리로 인한 에코의 감쇠를 교정하는 것이다.

허상(Image Artifacts)

TGC는 또한 후방음향증강 또는 through transmission이라고 하는 현상을 나타낸다. through transmission이란 액체가 차있는 구조를 빔이 통과한 후에 음향의 감쇠가 일어나지 않기 때문에 생기는 에코의 뒤뜰림현상이다. 빔은 액체가 차있는 구조 깊이에서 유사한 심도에 있는 다른 조직을 통과한 음파보다도 증강된 강도로 나타나게되며, 고에코 또는 밝은 영역으로 나타나게 된다(그림 2).



그림 2. Through transmission(화살표)이 임신진단시에 나타나고 있다.

음향음영(acoustic shadowing)이란 초음파허상의 다른 한 종류이다. 음영은 장내의 가스 또는 늑골과 같은 골격구조에 의해 음파가 완전하게 반사되거나 감쇠되어 나타나는데, 이는 심부조직을 적절하게 영상화하지 못하게 한다. 반사체보다 깊이 있는 조직은 반사로 인해 무에코(어둡게)로 나타난다. 음향음영은 또한 직경 5mm 이상의 석회화가 덜 된 결석을 식별하는 진단도구로 사용될 수도 있다.

‘다중반사(reverberation echoes)’는 아마 초음파상에서 관찰되는 가장 빈번한 허상일 것이다. 이 허상은 음파가 두 개의 계면사이에서 앞뒤로 되튀면서 발생된다. 다중반사는 gain을 높게 조절한 상태에서 또는 반사면이 탐촉자 근처에 있을 경우에 반사성이 높은 계면으로부터 발생된다. 다중반사는 lighthouse effect로 불리는 현상을 나타내는 에코의 기둥으로 관찰되거나 조직구조의 경면효과(mirror image)로 나타날 수도 있다(그림 3).

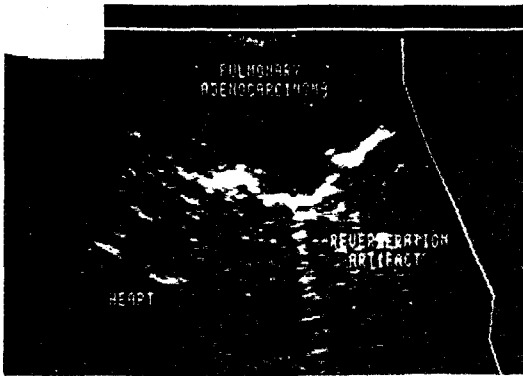


그림 3. 원발성 폐종양내의 석회화 부위가 다중반사를 나타내고 있다. 공기-연부조직 계면에서 발생한 반사는 또한 다중반사의 원인이 될 수도 있다.

영상표시방법(Display Modes)

초음파의 영상표시에는 세가지 기본형태가 있다 : A-mode(진폭표시법, Amplitude mode), M-mode(Time-Motion mode) 및 B-mode(밝기표시법, Bright mode).

A-mode

A-mode는 에코가 발생한 부위를 탐촉자로 부터의 거리로 표시하고, 되돌아오는 에코는 수평기초선에서 유래된 spike나 peak로 나타나며, peak의 높이는 되돌아오는 에코의 진폭에 비례한다. 에코깊이는 기초선 상의 spike의 위치로 나타난다. spike는 에코가 돌아오는데 필요한 시간에 맞게 기초선을 따라서 위치하게 된다. 심부구조에서 에코가 돌아 오는데는 더 많은 시간이 필요하므로 심부에코의 spike는 기초선보다 더 아래에서 관찰된다. A-mode 스캔은 안구내, 안구 그리고 안구주위조직을 평가하는데 있어 B-mode나 도플러법과 함께 병행할 수 있다.

M-mode

A-mode spike는 M- 및 B-mode 상에서는 점으로 바뀌게 된다(그림 4). 점의 밝기 또는 음영은 그 진폭에 비례하게 되며; B-mode나 M-mode는 흔히 gray-scale imaging이라고 한다. A-mode 상의 peak의 끝을 90°회전시킨 것처럼 끝쪽에 보이는 것으로 가정을 해보자. 영상내에 있는 점들의 위치는 에코가 탐촉자로 돌아오는데 걸리는 시간에 의해서 결정될 것이다. 움직이는 구조에 의해서 에코가 형성된

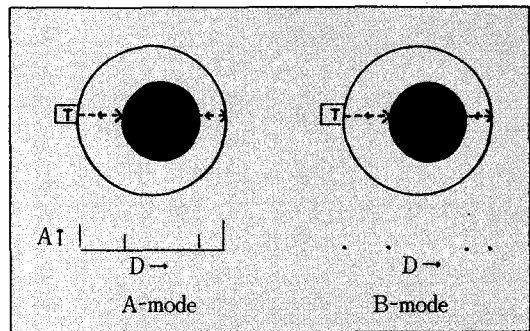


그림 4. 탐촉자내에 위치한 압전자의 음파발생. A-mode 스캔에서 탐촉자내로 되돌아온 에코는 수평기초선 상에 spike로 나타난다(D=깊이). 되돌아 오는 에코의 진폭(A) 또는 강도는 각 peak의 높이를 결정한다. 조직계면에서 반사된 음파는 B-mode 스캔에서는 점으로 나타난다. 점의 휘도는 회수되는 에코의 강도에 비례한다.

다면, 이 점들은 수직기초선을 따라서 앞으로 움직이게 될 것이다. 이 운동은 시간에 따라 기록되고 움직이는 1차원상으로 영상화될 것이다. M-mode는 주로 심방이나 심실의 크기 및 심벽이나 판막의 운동성을 평가하는 등 심장의 검사에 사용된다(그림 5).

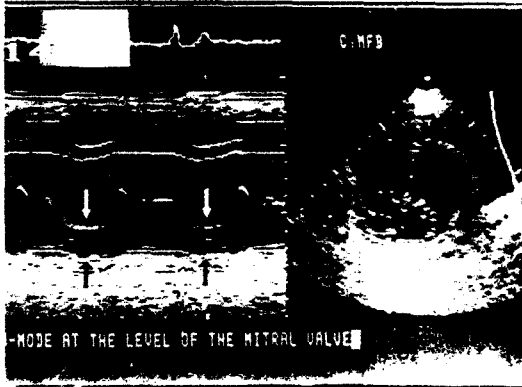


그림 5. (좌) 확장성 심근병증에 속발적으로 발생한 승모판기능부전이 있는 개에서의 판막첨의 폐쇄부전이 정지 M-mode 상에서 왼쪽으로 나타나고 있다(화살표). 좌심실벽의 미약한 수축력과 각 방실이 확장되어 있음을 알 수 있다. (우) 심장의 B-mode 횡단상.

B-mode

최근 수의분야에서 이루어지고 있는 대부분의 초음파는 B-mode이다. B-mode는 음파에 의한 연부 조직 단면상의 2차원적인 해부학적 구조를 제공해 준다. B-mode 스캔방법의 두가지 기본형태는 정지(static) 및 실시간(real-time) 스캐너이다. 정지스캐너는 검사할 구조 위에 탐촉자 크리스탈을 손으로 적용함에 의해서 영상스크린 상에 초음파상을 나타내는 것으로 상당한 숙련도를 요한다. 영상은 일단 완성되면 화면상에 고정시킬 수도 있다.

실시간스캐너는 다수의 크리스탈이나 한 개의 크리스탈 진자를 사용해서 탐촉자를 대고 있는 동안 조직을 통해 초음파빔을 자동적으로 발산하게 된다. 상이 상당히 신속하게 형성되므로 심장과 같이 움직이는 구조도 정확히 관찰할 수 있다. 영상표시의 한

장면은 정밀검사, 측정 또는 인쇄를 위해 화면상에 고정시킬 수 있다. 이러한 장면들은 느린 동작 또는 정지화면 분석을 위해 비디오테이프에 녹화해 둘 수도 있다. B-mode 섹터스캐너는 정보를 둥근 호모양으로 얻기 때문에 상은 썸모양(wedge-shaped)으로 나타난다. 썸모양의 호는 60~100°사이에서 변한다(그림 6). 실시간 장비의 최대 빔투과능은 24cm 정도로 제한된다.



그림 6. B-mode 탐촉자의 위치가 90°썸모양 영상의 꼭대기에 있다. 고양이에서 예코성의 매스는 심장의 좌측에 있는데 이는 흉선종이다. RV=우심실, S=중격, LV=좌심실, LVFW=좌심실유리벽.

실시간스캔의 이점은 다양하다. 환축이 움직이면 검사에 상당히 지장을 초래하는 정지스캔과는 달리 환축의 보정이 덜 필요하다. 실시간 섹터스캐너에 사용되는 탐촉자는 작은 체표면만 접촉해도 되므로 소동물을 검사하는데 특히 유용하다. 추가적으로 저장도의 음파에 의해 발생된 약간의 열은 곧 발산되며 유해한 부작용은 일으키지 않는 것으로 알려져 있다.

스캔방법(Techniques)

초음파검사는 전체적인 진단작업을 행하면서 부딪치는 질문에 대해 답해줄 수 있는 가장 우수한 방법이다. 표준 X-선촬영도 사전 기초정보의 필수부

분이 되며, 초음파상의 판독을 용이하게 하기 위하여 반드시 초음파검사 전에 행해져야 한다. 환측에 정온제를 투여하는 것도 대부분의 초음파검사에서는 필요치 않다. 진정을 시키지 않은 환측은 기립자세, 앉은 자세 또는 횡와 및 배와자세 등과 같은 다양한 자세에서 검사를 할 수 있게 된다. 진정이 필요할 때는 심장이나 호흡기질환이 있는 환측이거나 나이가 많은 동물의 경우에 검사전에 각별히 주의해야 한다. 비만한 동물은 초음파검사가 용이치 않는데, 이는 지방층이 두터워 액체가 차있는 구조보다 음향의 감쇠가 훨씬 심하기 때문이며; 이 지방층보다 깊이 있는 구조를 영상화하기는 곤란하다.

동물에서의 초음파는 피모중에 개재되어 있는 공기로 인해 음파의 투과에 있어 매우 심한 반사체로 작용을 하게되므로 털을 깎아줄 필요가 있다. 털을 깎은 후에는 탐촉자와 피부사이에 개재될 공기를 확실히 제거하기 위해 탐촉자의 표면에 또는 피부에 직접 시중에서 구입할 수 있는 coupling gel을 도포해 준다. 탐촉자를 관찰하고자 하는 부위에 대고 화상을 얻는다. 비장과 같은 장기나 오줌이 충만된 방광내에서 관찰되는 액체는 음파를 거의 감쇠 시키지 않는 음향창(acoustic windows)으로 작용해서 더 많은 음파가 이 구조를 투과해서 더욱 심부조직에 까지 이르게 한다.

영상판독(Image Interpretation)

영상화면 상의 어두운 영역은 음파가 반사되지 않고 그 곳을 통해 투과된 구조를 나타낸다. 밝은 영역은 에코성의 구조를 나타내는데, 이는 많은 초음파빔을 반사시킨다(그림 7). 초음파를 사용해서 병변을 확인하거나 평가하고자할 때는 내부의 에코패턴이나 조직변연 및 인접부위의 에코패턴을 관찰해야 한다. 연부조직장기는 다양한 세포성이나 기질의 구성으로 인해 독특한 에코패턴을 갖는다. 기질적으로 결체조직이 증가한 연부조직장기는 전형적으로 에코 또는 휘도(brightness)의 증가를 나타낸다.

액체가 차있는 구조, 고형의 조직매스 및 결석 등은 몇몇 전체적인 초음파상을 관찰함에 의해 확인할

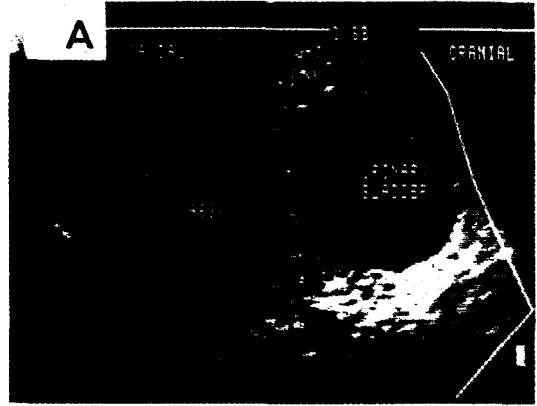


그림 7. (A) 경도의 에코성의 매스가 오줌으로 충만된 무에코의 방광의 경부를 가리고 있다. (B) 주사침의 위치를 확인하기 위해 초음파를 사용해서 방광공기조영을 실시하였다. 크고 불규칙한 연부조직매스가 방광경과 요도를 채우고 있다. 중앙형은 이행세포암종이었다.



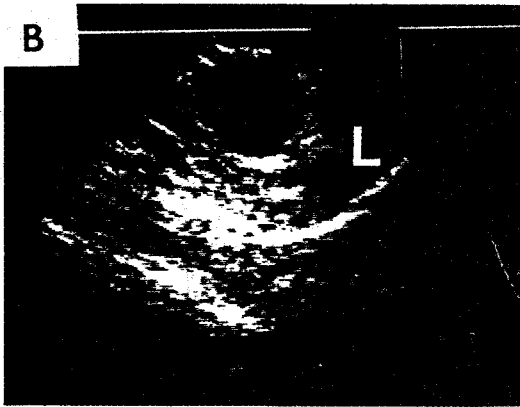


그림 8. (A) 한계가 명료한 연부조직매스(화살표)가 간장과 위저부의 후방에 존재한다. (B) 뚜렷한 through transmission과 변연이 명확한 무에코의 매스가 초음파로 관찰된다(L=간장). 이 낭포성 병변은 채장에서 유래하였다.

수 있다. 되돌아오는 에코는 주위조직의 정상 에코 강도와 비교해서 고에코(증가된, hyperechoic), 등 에코(정상의, isoechoic), 저에코(감소된, hypoechoic)로 표현된다. 무에코(anechoic) 영역은 대개 액체가 차있다. 이러한 형태의 액체는 전형적으로 점도가 없다. 고체와 낭성의 병변을 감별하는 능력은 초음파의 중요한 특징이 된다. 낭은 음향계면이 없으며, 비교적 에코가 없어야 한다(그림 8). 낭의 주변 변연은 한계가 명확하고 강한 후방음향증강을 나타내야 한다.

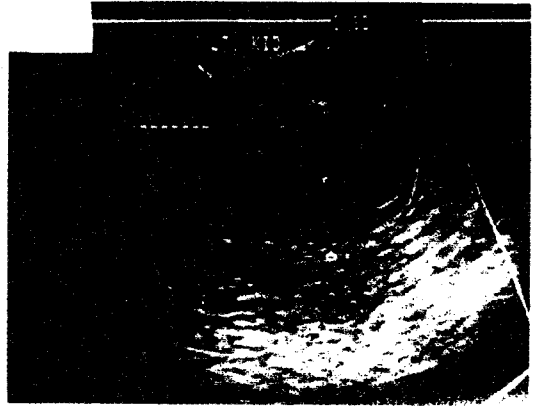


그림 9. 무에코의 액체가 차있는 영역이 이 혼합형매스의 내부에서 관찰된다. 종양형은 부신피질 선암종이다.

저에코패턴은 농양, 혈종 또는 종양과 같은 더욱 세포성의 액체를 함유하는 낭성구조에서도 관찰될 수 있다. 이러한 연부조직의 병변은 대개 불규칙하고 한계가 불분명한 경계를 가지며; 심부구조의 후방음향증강은 잘 관찰되지 않는다. 혼합형 병변은 에코성 및 저에코의 영역이 혼합되어 나타나며, 종양이나 괴사성 또는 낭성 영역을 포함하는 다른 조직에서 볼 수 있다(그림 9). 저에코에서 고에코 순으로 실질장기를 나타내보면 신장, 간장, 비장 및 전립선의 순이다.