회색조 초음파의 허상

박희선

건국대학교 의학전문대학원 영상의학교실

Artifacts in Grayscale Ultrasound

Hee Sun Park

Department of Radiology, Konkuk University School of Medicine, Seoul, Korea

Image artifacts are frequently encountered in clinical ultrasound. While some of them may be a source of misinterpretation, others may provide useful information related to the composition of underlying tissue. Majority of these artifacts is caused by violation of basic physical assumptions to assign the location and intensity of the received echo. Ultrasound artifacts arise secondary to errors related to multiple echo paths, ultrasound beam characteristics, velocity errors, or attenuation errors. Understanding the fundamental ultrasound physics and recognizing common ultrasound artifacts is essential for proper image interpretation and optimal patient care.

Keywords: Ultrasound; Artifact

서론

영상에서의 허상(artifact)이란 검사하려는 인체 부위의 실제 해부학이 영상에서 제대로 반영되지 않고 나타나는 현상을 말한다. 초음파허상은 1) 실제 해부학적으로 존재하지 않는 구조물이 초음파 화면에 나타나는 경우, 2) 실제로 존재하는 구조물인데 초음파 화면에 나타나지 않는 경우, 3) 해부학적으로 존재하는 구조물이 화면에 나타나기는 하지만 위치, 크기나 밝기가 잘못 반영되어 나타나는 경우 등이 있다[1]. 초음파허상은 종류가 매우 다양하고 임상 진료에서 흔히 접하게 되며, 진단의 오류를 초래할 수 있지만 때로는 조직의 구조와 구성 성분에 대한 정보를 제공함으로써 진단에 도움이 되기도 하는 양면성을 지닌다[2]. 본 종설에서는 회색조 초음파에서 나타나는 다양한 허상의 종류와 발생 기전

및 해결 방법을 살펴보고자 한다.

본론

허상의 발생 원인

초음파 영상은 초음파의 펄스 생성, 매질 내에서의 초음파의 전파, 음파와 반사 계면과의 상호작용, 에코 탐지 및 프로세싱 과정을 거쳐 만들어진다. 초음파 기기는 영상을 재구성하기 위해 수신된 에코의 위치와 강도를 결정하는 데 있어서 다음 조건이 만족한다는 가정을 한다[2].

1) 에코는 main beam으로부터 발생한 것이다.

Address for Correspondence: Hee Sun Park, M.D.

Department of Radiology, Konkuk University School of Medicine, 120
Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea
Tel: +82-2-2030-5497, Fax: +82-2-2030-5549
E-mail: heesun.park@gmail.com

Received : 2019. 10. 21

Revised : 2019. 11. 4

Accepted : 2019. 11. 4

- 2) 발생한 에코는 단일 직선 반사 경로를 통해 탐촉자로 돌아온다.
- 3) 관찰하려는 구조물의 깊이는 음파에서 발생한 에코가 탐촉자로 돌아오는 데 걸리는 시간에 비례한다.
- 4) 인체조직 내에서 초음파의 속도는 일정하다.
- 5) 인체 내에서 초음파의 감쇠는 균일하게 일어난다.

그러나 실제 검사시에는 이러한 가정들이 모두 지켜지지 않는 경우가 많은데 이때 허상이 나타나게 된다. 초음파허상은 1) 다양한 음파 경로와 관련되어 나타나는 경우, 2) 음파의 속성과 관련되어 나타나는 경우, 3) 음파 속도의 오류로 나타나는 경우, 4) 음파 감쇠의 오류로 나타나는 경우 등으로 분류할 수 있다[2].

음파 경로의 오류와 관련된 허상

반향허상(reverberation artifact)

반향허상은 음향 저항의 차이가 큰 두 계면(연조직과 뼈, 연조직과 공기, 피하지방과 담낭, 물과 공기) 또는 탐촉자와 음향 저항이 큰 계면이 있을 때, 체내로 들어간 음파가 반사 계면에서 재반사되고 다시 탐촉자나 음향 저항이 큰 다른 계면에서 반사되어 몸 속으로 향하는 과정을 반복할 때 나타난다. B 모드 스캔에서 가장 흔히 보는 허상으로 다중반사허상이라고도 한다 [1]. 탐촉자를 출발한 초음파는 음향 저항 차이가 큰 반사 계면에서 반사되어 탐촉자로 되돌아오고 다시 탐촉자에서 재반사되어 들어오는 두 번째 에코는 돌아오는데 걸리는 시간만큼의 거리에서 허상을 형성하고 세 번째, 네 번째 에코도 동일한 거리

에 허상을 형성한다. 초음파의 강도는 왕복 수가 증가할수록 감소하며, 이때 일정한 거리 간격을 가지는 밝은 평행선들로 이루어진 형태로 나타나는데 첫 번째만 진짜 상이고 그 뒤 선들은 허상이며, 각각의 선들은 감쇠에 의해 뒤로 갈수록 흐려진다. 이러한 과정이 반복되는 과정을 반향이라고 하며, 감쇠에 의해 펄스가 완전히 사라질 때까지 반복된다[3]. 반향허상은 반사 계면이 탐촉자에 가까울수록, 반사 에코가 클수록 잘 나타나고, 게인(gain)이 높을수록, 음파가 반사 계면에 대해 직각으로 들어오는 정반사체일 때 잘 발생한다[1]. 화면에서는 액체만 있는 위치에 고형 조직이 있는 것처럼 보이거나(Fig. 1), 전 복벽의 근막층

Figure 2. Reverberation artifact. In an abdominal ultrasound, multiple linear echogenic lines are seen along the surface of the liver (arrows), beneath the fascial layer of the anterior abdominal wall.

Figure 1. Reverberation artifact. In an abdominal ultrasound, multiple equidistantly spaced linear echoes are seen along the anterior portion of the gallbladder lumen (A) or urinary bladder lumen (B) (arrowheads), which can be confused as the gallbladder or urinary bladder mass.

아래 조직에 선 모양으로 나타난다(Fig. 2). 반향허상을 줄이려면 반향허상을 만드는 평행한 반사 계면을 피해 탐촉자의 위치나 각도를 바꾸고, 게인을 줄이고, 하모닉 영상(harmonic imaging)이나 복합 영상(compound imaging) 등을 활용한다(Fig. 3).

여운허상(ring-down artifact)/혜성꼬리허상(comet-tail artifact)

여운허상은 미세 결정 초음파가 미세 결정 또는 미세 낭성 구조물이 오랫동안 공명할 수 있는 구조에 닿았을 때 발생한다. 음파가 순수한 물질에 닿았을 때 이 물질은 공명 시간 동안 지속적으로 반향하면서 탐촉자를 향해 음파를 계속해서 보낸다.

로써 화면에는 작은 촘촘한 에코로 나타난다. 여운허상은 감쇠가 미약하며 오랜 시간 동안(즉 영상에서는 먼 거리까지) 존재하여 긴 밝은 선 형태로 보인다. 연구 결과에 따르면 이러한 허상은 두 층으로 모인 4개의 공기방울 사이에 끼어있는 나팔 모양의 액체 내에 들어간 음파가 안에 갇혀서 내부에서 무수한 반사를 하면서 공명한 결과라고 하였다[2]. 횡격막이나 인체 내 공기, 금속성 물질인 생검바늘이나 클립 등에서 발생하며(Fig. 4), 이러한 형태의 허상은 특정한 좁은 범위의 음파 스펙트럼을 보인다.

혜성꼬리허상은 반향허상의 일종으로 여러 개의 짧은 선 형태로 나타나는데, 이는 미세 결정 또는 미세한 낭성 구조 내에서 음파가 반향하여 생긴 것으로 넓은 범위의 반사파 스펙트럼을

Figure 3. Resolution of reverberation artifact (harmonic imaging). Reverberation artifact on a gallbladder ultrasound (A, arrowheads) can be reduced by applying harmonic imaging (B, arrowheads and circle).

Figure 4. Ring-down artifact. (A) Liver-diaphragm interface produces bright reflector with an echogenic line extending posteriorly without attenuation (arrows). (B) Ring down artifacts are shown as echogenic parallel bands extending posterior to a stomach gas collection (arrows).

보인다[2]. 콜레스테롤 결정체를 함유한 콜레스테롤 폴립 또는 선근중증, 점막의 낭상 돌출(Rokitansky-Aschoff sinus) 등에서 발생한다(Fig. 5). 임상에서 여운허상과 혜성꼬리허상을 엄격히 구분하여 사용하고 있지는 않으나 두 허상의 발생 기전과 양상의 차이를 알면 허상의 발생 원인을 찾는 데 도움이 된다.

거울허상(mirror image artifact)

발생한 에코는 단일 직선 반사 경로를 통해 탐촉자로 돌아온다는 기본 가정이 위배되어 생기는 허상으로, 횡격막이나 늑막,

Figure 5. Comet-tail artifact. Cholesterol crystals along the gallbladder wall produce closely spaced short linear echoes with a triangular or tapered shape (arrows).

골반강처럼 반사도가 강하면서 초음파 진행 방향과 비스듬히 놓인 반사 계면으로 인해 실제 종괴가 음향 반사 계면의 반대쪽에 서도 보이는 현상으로 가성 종괴를 형성하는 허상이다[4]. 초음파가 횡격막에서 반사되어 종괴와 부딪히고 이 음파가 다시 횡격막으로 돌아가서 반사된 후 탐촉자로 돌아오는 경로를 거친다. 따라서 초음파 기기는 원래 초음파가 발사된 방향으로 초음파가 돌아오기까지 걸린 시간만큼의 거리에서 허상을 만들게 된다. 따라서 횡격막을 사이에 두고 보이는 두 개의 상은 마치 거울에 비친 모습처럼 완전히 마주보게 된다(Fig. 6). 골반강에서 장내 공기에 의해 발생하는 거울허상은 실제 병변으로 흔히 오인되므로 감별을 위해 반복 검사나 직장내 공기에 의한 영향을 줄이기 위해 직장내 탈기수 주법(water enema)이 필요할 수 있다.

음파의 속성과 관련된 허상

음속두께허상(beam-thickness artifact)

CT의 부분 용적 평균화 효과(partial volume averaging effect)와 유사한 허상으로 beam averaging artifact나 partial volume artifact로 불리며, 음속이 액체가 고인 조직보다 두께가 넓을 때 발생한다. 초음파 음속은 초점깊이 조절(focusing) 정도에 의해 탐촉자로부터 거리에 따라 다양한 두께를 가진다[4]. 두꺼운 초음파 음속이 액체가 고인 조직을 스캔시 음속 일부는 액체만 스캔하고 또 다른 일부는 주위조직을 스캔하게 되는데, 이 결과 낭성구조물의 경계면에 양극과 같은 에코가 발생할 수 있다(Fig. 7). 낭종 이외에 담낭이나 방광에서도 발생한다. 음속두께

Figure 6. Mirror image artifact. (A) An ultrasound image obtained at the level of the right lobe of the liver shows a hypoechoic lesion in the right hepatic lobe (white arrow) and a duplicated hypoechoic lesion equidistant from the diaphragm overlying the expected location of lung parenchyma (yellow arrow). (B) A mirror image artifact (yellow arrow) of the same lesion as (A) (white arrow) on the Kupffer phase of contrast enhanced ultrasound using sonazoid.

허상을 줄이려면 음폭이 좁은 초음파 음속을 만들거나, 양성 병변의 중심부를 스캔한다(Fig. 8). 탐촉자의 위치나 방향을 변경하거나 하모닉 영상(harmonic imaging)의 사용도 도움이 된다.

측엽허상(side lobe artifact)

초음파 탐촉자에서는 주엽(main lobe) 외에 측엽(side lobe)이 발생한다. 압전결정에서 발생한 음파를 여러 방법으로 집속하여

Figure 7. Pseudo-sludge due to beam thickness. (A) A longitudinal ultrasound image of the gallbladder shows echoes along the posterior part of the gallbladder lumen (arrowheads) suggesting pseudo-sludge. (B) The true gallbladder sludge shows a more irregular shape.

Figure 8. Resolution of beam thickness. Pseudo-sludge seen along the posterior part of the gallbladder lumen (A, arrow) disappears when the central portion of the lumen is scanned (B).

Figure 9. Examples of side lobe artifact. Diffuse weak echogenic lines are seen along the lumen of the urinary bladder (A, arrow) or gallbladder (B, arrow), or along the liver surface adjacent the diaphragm (C, arrows).

Figure 10. Speed of sound artifact. Axial scan of the liver shows that the interface between the liver and the diaphragm is discontinuous and focally displaced (arrow), which may be explained by focal fat areas within the liver.

주엽을 만들어 내보내지만, 집속되지 않은 몇 개의 음속이 남아 주엽과는 다른 방향을 향해 진행한다[4]. 이 측엽은 주엽보다 강도는 약하지만 강한 반사체와 반응하면 초음파 진단에 방해가 되는 허상을 유발할 수 있다. 횡격막 같은 강한 음향 반사 계면을 만나서 반사될 경우 뚜렷한 허상을 만들 수 있고 방광이나 담낭과 같이 액체가 찬 장기의 반사면 안쪽에서 약한 미만성 에코로 나타난다(Fig. 9). 계인을 줄이거나 탐촉자 종류, 위치 또는 초점 영역 등을 변경해 보고 환자 체위를 변화시켜 보면 감별에 도움이 된다.

Figure 11. Edge shadowing artifact. A simple cyst in the right lobe of the liver (A) or a hepatocellular carcinoma (B) produce hypoechoic parallel lines projecting distal to the edges of the lesions (arrows).

Figure 12. Posterior acoustic shadowing. (A) In a gallbladder ultrasound, dark anechoic band (arrows) is seen distal to an echogenic gallstone (arrow-head). (B) On contrast, a gallbladder polyp (arrow) does not produce posterior acoustic shadowing.

음파 속도의 오류와 관련된 허상

음파속도허상(speed of sound artifact)

일반적으로 초음파 기기는 소리의 평균 속도를 1,540 m/s로 가정하고 음파의 왕복에 소요된 시간에 따라 거리를 계산한다. 따라서 소리의 전파 속도가 다른 매질을 통한 스캔을 할 때 거리가 부정확하게 계산되어 허상이 발생한다. 음파가 1,540 cm/s 보다 빠르게 전파되는 매질을 통과하면 원래 위치보다 가까운 거리에 영상이 만들어지고 속도가 느린 매질을 통과하면 먼 거리에 영상이 만들어진다[4]. 태아 후두골에 함몰 골절이 있는 것

Figure 13. Posterior acoustic shadowing. An axial scan of the liver shows dark anechoic area in the caudate lobe of liver (arrows) posterior to an echogenic fissure, which limits caudate lobe evaluation.

처럼 보이거나 간의 큰 지방종 뒤쪽 횡격막이 뒤로 밀려있는 것처럼 보이는 경우이다(Fig. 10).

굴절(refraction)

굴절이란 초음파가 음속이 다른 두 매질 사이를 비스듬히 통과할 때 경계면에서 초음파의 속력이 변하면서 방향이 꺾이는 현상이다. 입사각에 따라 반사 또는 굴절이 결정되며 반사나 굴절이 되는 초음파의 양은 입사각과 매질의 성질과 관련이 있다. 굴절에 의해 초음파 방향이 꺾여서 돌아오지만 탐촉자는 이 반사파가 굴절 현상을 거치고 온 것인지 구별하지 못하고 무조건 초음파를 발사한 방향으로 영상을 만들기 때문에 실제 위치와 다른 오기록(misregistration)이 일어난다[1]. 복부 횡단 스캔 시 복직근 후벽에 의해 음속이 굴절되어 상장간동맥이나 소변 배액관(foley catheter)이 두 개로 보이거나 하나의 태낭이 두 개로 보이는 이중허상(duplication artifact)이 예이다.

가장자리 음영(edge shadowing)은 낭종이나 원형 종괴를 향해 투사된 초음파 음속이 곡면에서 반사되거나 통과할 때, 통과하는 음속이 종괴와 주변 조직의 밀도 차이에 따라 굴절을 일으키는 현상이다. 음속이 빠른 매질(연조직)에서 느린 매질(낭종)으로 진행할 때는 음파가 수렴되어 가장자리 음영이 좁게 생기고, 반대의 경우는 음파가 확산되어 가장자리 음영이 넓게 생긴다[4]. 간 실질 내 낭종의 양 옆 모서리에서 발생하는 띠 모양의 무에코로 보이는 경우이다(Fig. 11).

Figure 14. Posterior acoustic enhancement. An axial scan of the liver shows an anechoic and weakly attenuating cyst (A) or gallbladder (B), and the hepatic parenchyma distal to the cyst or gallbladder is falsely displayed as increased echogenicity (arrows).

음파 감쇠의 오류와 관련된 허상

결론

후방음영(*posterior acoustic shadowing*)

초음파가 체내를 이동하다가 강한 음향 반사 계면(담석, 석회화, 뼈 등)을 만나면 일부는 반사되고 일부는 흡수되어 강하게 감쇠된다. 따라서 그 후방으로 충분한 음파가 들어가지 못하여 후방 정보를 얻지 못해 저에코로 보이는 현상이다[2]. 담석을 포함한 석회화 병변 발견에 유리하다(Fig. 12). 그러나 간문(porta hepatis) 뒤로 음파가 잘 통과하지 못해 1번과 6번 분절이 저에코로 보이는 경우는 고형 종괴로 오인될 수 있다(Fig. 13). 이 경우 스캔 위치를 바꿔서 같은 부위를 스캔해 보면 감별에 도움이 된다.

후방음향증강(*posterior acoustic enhancement*)

순수 액체 내에서는 연조직과 비교하여 음파 감쇠가 거의 일어나지 않으므로 낭성 구조물의 뒤쪽 조직은 동일 거리의 다른 조직에 비해 낭성 구조물의 직경만큼 감쇠가 덜 된 음파를 맞이하게 되어 주위 조직보다 고에코로 보이는 현상이다[4]. 즉 음향 증강은 상대적인 현상이며 실제로 음파의 세기가 증가하는 것은 아니다. 담낭, 복수, 낭종의 후방, 다양한 액체 저류에서 발생한다(Fig. 14).

초음파허상 진단 오류를 피하려면 허상의 종류와 발생 원인, 회피 방법을 숙지해야 함과 동시에 정상 변이에 대한 지식 습득, 초음파 장비의 적절한 이용(탐촉자 선택, Doppler 이용), 다양한 스캔 방법(환자 체위 변화, 탐촉자 방향 변화, 장내 공기 압박, 위장관 내 물 주입 등)의 구사 능력을 갖추어야 한다.

중심 단어: 초음파; 허상

REFERENCES

1. Shin KS, Han JK. Ultrasound artifacts. In: Choi BI. Ultrasound diagnosis of the abdomen. 3rd ed. Seoul: Ilchokak, 2015; 47-55.
2. Feldman MK, Katyal S, Blackwood MS. US artifacts. RadioGraphics 2009; 29:1179-1189.
3. Merritt CRB. Physics of ultrasound. In: Rumack CM, Wilson SR, Charboneau JW, eds. Diagnostic ultrasound. 3rd ed. St. Louis: Mosby, 2005:3-55.
4. Baad M, Lu ZF, Reiser I, Paushter D. Clinical significance of US artifacts. Radiographics 2017;37:1408-1423.