1. Ultrasonografinin Temel Özellikleri ve Ultrason Fiziği ve Artefaktlar

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YEŞİLYURT, Prof. Dr. Fatih ALPER

Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Erzurum

ÖZET

Ultrason muayenesi geleneksel olarak güvenli ve tekrarlanabilir bir muayene olarak kabul edilir, ancak kullanımı büyük ölçüde operatöre bağlıdır. Bu nedenle, yeterli operatör becerisinin olmaması, gereksiz testler veya girişimsel işlemlere, hatalı tanılara ve gereksiz müdahalelere yol açabilir. Ultrason fiziğini anlamak tanısal ultrasonun temelini oluşturur. Transdüserler ve görüntü işleme dahil olmak üzere enstrümantasyon, uygun sonografik görüntülerin elde edilmesinde önemlidir. Bu kavramların birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini anlamak, uygulayıcıların mümkün olan en iyi görüntüleri elde etmelerini sağlar.

GİRİŞ

Ultrason görüntülerini doğru bir şekilde yorumlamak için, ultrason görüntüsü oluşturmada yer alan fiziksel prensiplerin temel anlayışı esastır. Genellikle basit bir yatak başı teknolojisi olarak kabul edilmesine rağmen, bu prensipler biraz karmaşık olabilir. Radyografi görüntülemesiyle ilgili bir karşılaştırma bunu göstermektedir. Çoğu klinisyen radyografik görüntülemeye aşinadır. Bu teknikte, x-ışınları, x-ışını tüpü ve dedektör arasında düz çizgiler halinde hareket eder. Dedektördeki x-ışını demetinin yoğunluğu, büyük ölçüde demetin geçtiği dokuya bağlıdır. X-ışını vücuttan geçerken dağılsa da, bu dağılma görüntüye yalnızca artmış arka plan olarak yansır. Ultrasonda ise, ses dalgaları vücuda iletilir; daha sonra çeşitli iç yapılar sesi farklı şekilde yansıtıp dağıttığı için, geri dönen yankılar toplanır ve bir yapının görüntüsünü oluşturmak için kullanılır.

ULTRASON FİZİĞİ GENEL PRENSİPLERİ

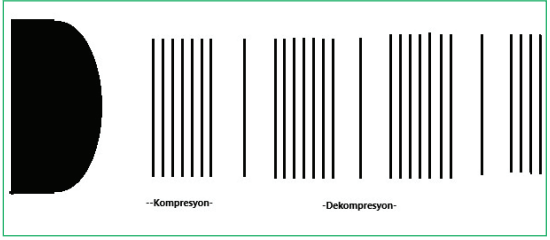
Ultrason, bir ortamda dönüşümlü yüksek basınç (kompresyon) ve düşük basınç (dekompresyon) fazları ile hareket eden mekanik bir dalgadır (Resim 1) (1). Ses parçacıkları, hava, su veya katı ortamda hareket eden hem enine hem de boyuna dalga formlarından oluşur. Ses dalgaları boşlukta ilerlemez ve yayılmak için bir ortama ihtiyaç duyarlar. İlerleyen ses dalgası, içinden geçtiği ortama göre bazı fiziksel değişikliklere uğrar.

Ultrason görüntülemede tanımlanan önemli niceliklerden bazıları şunlardır: frekans, periyot, dalga boyu, amplitüd, yayılma hızı, darbeli ultrason.

Frekans

Bir ultrason dalgasının frekansı, bir saniyede meydana gelen döngü sayısından oluşur. Birimler saniye başına döngü veya hertz'dir. Frekans yalnızca ses kaynağı tarafından belirlenir ve sesin içinde hareket

Resim 1. Ses dalgalarının yayılımındaki basınç değişimleri.



ettiği ortamdan etkilenmez. Her ultrason probunun, tipik olarak 1 ila 20 MHz arasında değişen karakteristik bir frekansı vardır. Bu frekanslar, insanların duyulabilir ses aralığını (20 Hz ila 20 kHz) çok aşar (1).

Frekans, çözünürlüğü belirleyen temel etmendir. Çözünürlük frekansla doğru orantılıdır, bu nedenle yüksek frekanslı problarla elde edilen doku detayı daha üstündür. Aynı zamanda frekans arttıkça ses dalgasının doku ile etkileşimi artacağı için penetrasyon azalır (Resim 2). Bundan dolayı da derin dokuların yüksek frekanslı problarla değerlendirilmesi mümkün olmayacaktır.

Periyot

Tam bir dalga döngüsünün oluşması için gereken süreye periyot (msec) denir. Periyot ve frekans birbirinin tersidir.

Dalga Boyu

Bir dalga döngüsünün tekrarlanan birimleri arasındaki mesafeye dalga boyu denir. Daha kısa dalga boyları, artmış çözünürlüğe ancak azalmış penetrasyona yol açar (2). Dalga boyu ve frekans da ters orantılıdır (2).

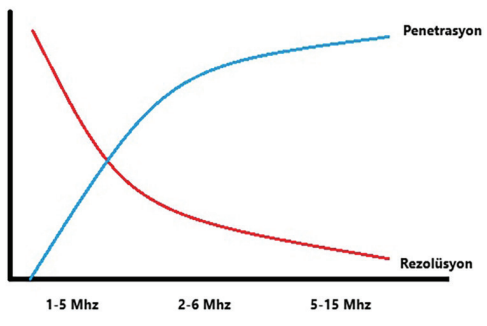
Amplitüd (dB)

Akustik bir değişkenin ortalama ve maksimum değerleri arasındaki farktır. Ses dalgasının gücünü tanımlar. Artan amplitüd, dokudan yansıyan sinyallerin ekojenitesinin veya parlaklığının artmasına neden olur (3). Amplitüd, sinyalin yoğunluğuna karşılık gelir ve ses yüksekliğini veya gücünü gösterir, ancak ortamdaki ses hızını etkilemez.

Yayılma Hızı

Ultrason dalgalarının bir ortamdan geçme hızıdır ve frekanstan bağımsızdır. Yumuşak dokuda bir ultrason dalgasının hızı 1540 m/s'dir. Yayılma hızı, ortamın özelliklerine bağlıdır. Genel olarak, ortamdaki daha yüksek sertlik, yayılma hızının artmasına neden olurken, artan yoğunluk, ultrason dalgalarının yayılma hızını yavaşlatma eğilimindedir (1). Genel olarak, ses katılarda en hızlı, sıvılarda daha yavaş ve gazlarda en yavaş hareket eder.

Resim 2. Çeşitli frekanslarda çözünürlük ve penetrasyon arasındaki ilişki.



Pulse (Darbeli) Ultrason

Darbeli ultrason, bir ultrason kaynağından ses dalgalarını yayma yöntemi olarak bilinir. Klinik kullanımlar için gereken çözünürlükteki derinliğe ulaşmak için darbeli-titreşen ışınlar kullanılır. Tipik olarak, darbeler bir milisaniye veya daha uzundur ve saniyede birkaç bin tane yayılır.

ULTRASON PROBU

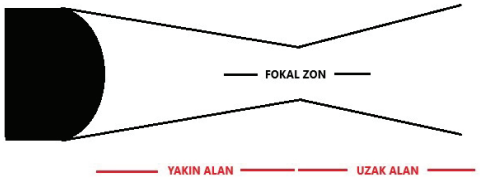
Ultrasonografide ses dalgası probun içindeki transdüser tarafından üretilir. Enerjiyi bir formdan diğerine dönüştüren cihaza transdüser (dönüştürücü) denir. Ses dalgaları, ultrason transdüserinde piezoelektrik kristallerden yayılır. Piezoelektrik kristaller, elektrik sinyallerini mekanik titreşimlere ve mekanik titreşimleri elektrik sinyallerine dönüştüren malzemeden üretilir (4). Elektrik enerjisi uygulandığında prob kristalleri titreşir, yani elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek bir ses dalgası üretir. Bu olaya "piezoelektrik etki" denir.

Piezoelektrik kristaller, geri dönen ekoları tekrar elektrik enerjisine ve ardından görüntülere dönüştürebilir (5). Piezoelektrik kristal, ultrason dalgalarını iletme ve alma arasında geçiş yapar ve zamanının %99'unu ekoları almaya harcar ve ekolar daha sonra görüntülere dönüştürülür (6).

Probun ürettiği ultrason dalgası "ışın" olarak adlandırılır. Işın, proba yakın alanda silindiriktir ve uzak alanda konik şekle dönüşür. Daha yüksek çözünürlük için ışının kesit kalınlığı dar ve yakın alanın uzun olması gerekir (2). Yakın alanı uzatmak için frekans artırılmalı ve dalga boyu azaltılmalı veya probun boyutu artırılmalıdır. Işın, istenilen derinlikte odaklanıp daraltılabilir, bu da artmış çözünürlükle sonuçlanır (Resim 3).

Belirli bir probun bant genişliği, probun çalışacağı frekans aralığıdır. Problar, bir pulsun başlangıcından sonuna kadar geçen süre olan (yani puls süresi) belirli bir süre boyunca ses dalgası darbeleri yayar, buna "iletim süresi" denir (5). Pulslar arasındaki aralıkta, prob bu yansıyan pulsların geri dönüşünü dinler, buna da "alma süresi" denir. Daha kısa pulslar daha küçük detayların ayırt edilmesini sağlayarak daha yüksek çözünürlük sağlar.

Resim 3. Ultrason ışınının tanımı.



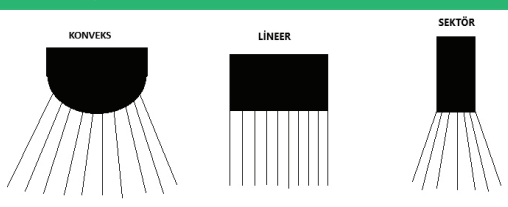
Mekansal puls uzunluğu her bir pulsun uzunluğudur. Puls tekrarlama periyodu (PRP), 2 pulsun başlangıcı arasındaki zamandır ve iletim süresi ile alma süresini içerir. Puls tekrarlama frekansı (PRF), tek bir saniyede üretilen puls sayısıdır. PRF ve PRP ters orantılıdır. Daha yüksek bir PRP, daha derin görüntüleme sağlayan daha uzun bir dinleme süresiyle karakterizedir. Daha derin yapıların daha uzağa gitmesi gereken ses dalgalarına ihtiyacı vardır, bu nedenle geri dönmeleri daha uzun sürer ve daha uzun dinleme süreleri gerektirir. Daha yüksek PRF, saniyede daha fazla puls, daha fazla çevrim ve dolayısıyla daha kısa dinleme süreleri anlamına gelir ve yüzeyel dokularda daha iyi görüntü çözünürlüğü sunar.

Klinik ultrasonda kullanılan tipik problar arasında, ihtiyaç duyulan uygulamaya bağlı olarak birden fazla konfigürasyon ve frekansa sahip konveks dizi, lineer dizi ve fazlı dizi bulunur (Resim 4).

Ultrason dalgaları transdüserin yüzeyine dik olarak yayılır. Belirli bir uygulama için en uygun transdüserin seçilmesindeki pratik hususlar yalnızca mekansal çözünürlük gereksinimlerini değil, aynı zamanda hedef nesnenin transdüserden uzaklığını da içerir çünkü ultrasonun penetrasyonu frekans arttıkça azalır. Genel olarak, ilgi duyulan derinliğe penetrasyona izin veren en yüksek ultrason frekansı seçilmelidir.

Transdüserin yüzeyinin konveks olması değerlendirilen derin sonografik alanın geniş olmasını sağlar. Konveks problar, eğri bir şekilde düzenlenmiş kristaller içerirler.

Resim 4. Farklı prob türleri ve ses dalgalarının ilerleme yönü.



Lineer problar, bir çizgi halinde düzenlenmiş piezoelektrik kristal dizisine sahiptirler. Prob yüzeyi düz olduğunda dalgalar birbirine paralel olacaktır. Bu problar genellikle yüzeysel yapılar için kullanılır ve daha yüksek frekans ve daha yüksek çözünürlük üretmek üzere tasarlanmıştır.

Fazlı dizi veya sektör probları, dar bir zeminde minik küme halinde gruplanmış kristaller içerir. Transdüserin yüzeyini küçültmek ve yelpaze şeklinde sektörler kullanmak, muayene eden kişinin kaburgalar arasındaki torasik yapıyı görselleştirmesini sağlayacaktır (7). Fazlı dizi probları, lineer problardan daha düşük frekanslara sahip olma eğilimindedir ancak yüksek zamansal çözünürlüğe sahiptir.

SES DALGASININ DOKU İLE ETKİLEŞİMİ

Ultrason ışını farklı dokulardan geçerken enerjisinin azalmasına ve zayıflamasına neden olan süreçlerden geçer (3). Zayıflama, bir ses dalgasının bir ortamda yayılırken yoğunluğunda ve amplitüdünde kademeli bir azalmaya işaret eder (8). Ses, daha uzun mesafeler kat ettikçe, örneğin daha derin dokulara gittiğinde ve daha yüksek frekanslarda yayıldığında daha fazla zayıflar. Bu nedenle, daha derin görüntüleme ve daha yüksek frekanslar en fazla zayıflarken, yüzeyel doku görüntülemesi ve daha düşük frekanslar daha az zayıflamaya yol açar.

Ses dalgası demeti bir dokudan geçerken çeşitli etkileşimlere uğrar. Ortaya çıkabilecek temel fiziksel olaylar yansıma, emilim, kırılma, saçılma ve soğrulmadır.

Yansıma (Refleksiyon)

Yansıma, dalgaların prob kaynağına doğru geri sıçrama sürecini tanımlar. Yansıma açısı ultrason dalgalarının herhangi bir yapıyla etkileşime girdiği açıdır. Dik bir yansıma açısı idealdir, bu durumda yansıyan dalgalar en yüksek konsantrasyonda proba geri döner (8). Tüm yansımalar görüntü oluşturmaya yardımcı olmaz. Bazı ses dalgaları, probdan farklı yönlerde yansır, bu da görüntü oluşturma esnasında zayıfladıkları veya kayboldukları anlamına gelir.

Yansımayı etkileyen üç temel faktör vardır:

1. Doku yoğunluğu: Farklı doku yoğunlukları farklı yansıma derecelerine neden olur. Daha yüksek yoğunluğa sahip dokular daha fazla ses yansıtır ve bu da hiperekoik veya daha parlak görüntülerle sonuçlanır (örneğin, kemik, taş, yabancı cisimler) (2). Sıvı gibi düşük yoğunluklu bir ortam, zayıf yansıma gösterir ve bu da ekosuz (anekoik) ultrason görüntüleri ile sonuçlanır.

2. Arayüz türü: Pürüzsüz arayüzler, proba daha yüksek oranda dalga gönderir. Buna karşılık, düzensiz arayüzler ses dalgalarının probdan uzağa dağılmasına neden olur ve yalnızca bir kısmı proba geri döner ve bu da görüntü kalitesini düşürür (2).

3. Akustik empedans: Dokuların ses dalgasına olan direnci akustik empedans olarak adlandırılır ve dokunun yoğunluğu ile ses dalgası hızının çarpımı ile belirlenir. Ses dalgası akustik empedansı farklı iki doku arayüzüne ulaştığında ses dalgasının bir kısmı iletilir, bir kısmı ise geri yansır. İki doku aynı akustik empedansa sahipse yansıma gerçekleşmez. Akustik empedans farkı küçükse, zayıf bir yansıma meydana gelir ve ultrasonik ses dalgalarının çoğu ikinci ortamdan geçer. Ancak akustik empedans farkı büyükse, güçlü bir yansıma gerçekleşir. Akustik empedans farkı çok büyükse, ses dalgaları tamamen yansıtılır. Tablo 1'de farklı arayüzlerdeki ses dalgasının yansıma yüzdesi gösterilmiştir.

Hava ve kemik gibi büyük akustik empedans farkı gösteren arayüzlerde, gelen ses demetinin büyük bir kısmı geri yansır. Operatörün tekniğinin önemli hale geldiği yer burasıdır, çünkü operatör bu tür alanlardan kaçınmalı ve daha derin yapıları görüntülemek için bunları önleyen belirli pencereleri kullanmalıdır. Aynı zamanda hava empedansından kaçınmak için ultrason incelemesinde jel kullanılır.

Emilim (Absorpsiyon)

Ultrason dalgaları dağıldığında ve enerjileri dokular tarafından emildiğinde, titreşim enerjisi ve ısı üretir. Emilim, artan prob frekansı ve daha büyük derinliklerle artar. Normal tanısal tarama koşulları altında, üretilen ısı miktarı önemli bir sıcaklık değişikliğine neden olmaz (5).

Kırılma (Refraksiyon)

Kırılma, 2 ortamın farklı sertliğe sahip olması nedeniyle bir dalganın orijinal düz yolundan sapmasını ifade eder ve bu da yayılma hızlarında değişikliğe neden olur (9).Dalganın geliş açısı ve 2 ortamdaki yayılma hızındaki fark, kırılmanın açısını belirler. Sapma miktarı, 2 ortam arasındaki sertlik farkıyla orantılıdır (5).

Tablo 1. Arayüzlerde ses dalgasının yansıma yüzdesi.

Arayüz	% Yansıma
Yağ/kas	1,08
Yumuşak doku/su	0,25
Kemik/yağ	47
Kemik/kas	41
Yumuşak doku/hava	99

Dağılma (Saçılma)

Ses dalgaları heterojen yüzeye sahip bir ortamla karşılaştığında, orijinal dalganın çoğu orijinal yolunda ilerlemeye devam eder ancak küçük bir kısmı rastgele yönlere dağılır. Doku arayüzü, aldığı ses dalgalarının dalga boyundan daha küçük olduğunda ses dağılır. Akciğer dokusu, hava dolu alveoller nedeniyle sesi dağıtır. Genel olarak, dağılma miktarı frekansla doğru orantılıdır. Yani, daha yüksek frekanslı ses, daha düşük frekanslı sesten daha fazla dağılır. Tanısal ultrasonda amaç, en iyi görüntüleri sağlamak için mümkün olan en yüksek frekansı kullanmaktır, ancak ses dalgalarının daha fazla dağılmasıyla sonuçlanır.

GÖRÜNTÜ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

Çözünürlük, ses dalgalarının birbirine yakın 2 nesneyi ne kadar iyi ayırt edebildiğini ifade eder. Tanısal ultrasonda 2 tür çözünürlük tanımlanır: uzaysal ve zamansal.

Uzaysal Çözünürlük

Eksenel (ışına paralel) veya yanal (ışına dik) çözünürlük olarak ayrılır. Eksenel çözünürlük, ışının ana ekseni boyunca olan yapıları ayırt eder. Yanal çözünürlük, 2 yapının ışına dik olduğunda ayrıldığı minimum mesafeyi ifade eder.

Zamansal Çözünürlük

Zamansal çözünürlük, bir görüntü oluşturmak için gereken zamandır ve saniyede oluşturulan kare sayısıyla ölçülür. Ayrıntılı nesneler, her kareyi oluşturmak için gereken daha uzun süre nedeniyle kare oluşturma hızını yavaşlatır. Sığ görüntüler, ışınlar daha kısa bir mesafeyi kat ettiğinden daha az zaman gerektirir, bu da daha hızlı kare hızı ve iyileştirilmiş zamansal çözünürlükle sonuçlanır. Derinliğin artmasıyla, ultrason probu görüntüyü görüntülemeden önce veri toplamak için dinlemeye daha fazla zaman harcar, bu da daha düşük kare hızı ve daha düşük zamansal çözünürlükle sonuçlanır.

ARTEFAKTLAR

Artefakt, görüntülemedeki bir hatadır. Artefakt, görüntü oluşumu sırasında oluşan ancak incelenen anatomik yapıya ait olmayan bir görüntü bileşenidir. Ultrasonografi, artefaktlar açısından zengin bir görüntüleme yöntemidir. Ancak diğer görüntüleme yöntemlerinin aksine, bazı artefaktlar tanıya katkı-

da bulunabilir. Artefaktlar aşağıdaki başlıklar altında kategorize edilebilir:

1. Ses demeti artefaktları
2. Zayıflama (atenüasyon) artefaktları
3. Yön ve hız artefaktları

1. Ses Demeti Artefaktları

Ses dalgası yalnızca odak noktasında en ince ve homojendir. Odak dışı alanlardan yansıyan yankılarla oluşan görüntüler her zaman ana görüntüye dahil edilir. Bu görüntüler bir artefakt kaynağıdır.

Yan lob artefaktları: Transdüser tarafından iletilen ses dalgalarının çoğu ses ışınının merkezinde toplanır. Yan loblar, merkezi ultrason ışınının etrafındaki ikincil ışınlardır ve piezoelektrik elemanların eksenel olmayan titreşimleri tarafından üretilir. Bu ışınlar çoğunlukla dokuda yansıma olmadan dağılır. Ancak bu yan lob enerji yolunda güçlü bir reflektör (teller, kalsifikasyonlar, perikard) tarafından yansıtıldığında, bu yansımalar tarayıcı tarafından merkezi ışından kaynaklandığı şeklinde yorumlanır (10). Bu artefakt, görüntü nesnesinin bulanıklaşmasına neden olur (Resim 5).

Demet kalınlık artefaktları: Kesiti oluşturan ses demeti, transdüserden transdüserle yaklaşık olarak aynı genişlikte çıkar, odak bölgesine yaklaştıkça daralır ve odak bölgesinin distaline doğru genişler (11). Distal ışın, transdüserin gerçek genişliğinin ötesinde genişleyebilir. Transdüserin kenarının ötesindeki distal ışındaki oldukça yansıtıcı bir nesne, algılanabilir ekolar üretebilir. Ultrason görüntüsü, bu ekoların dar görüntüleme düzleminden kaynaklandığını varsayar ve bunları olduğu gibi görüntüler. Böylece, tanısal ikilemler ortaya çıkar (12). Bu artefakt tanınırsa, odak bölgesi ilgi alana ayarlanarak ve transdüser ilgili alanın merkezine yerleştirerek görüntü kalitesi iyileştirilebilir.

2. Zayıflama (Atenüasyon) Artefaktları

Ses dalgasının enerjisi dokuda emilim ve saçılma nedeniyle azalır. Bu zayıflama cihaz üzerindeki gain ayarlarıyla ortadan kaldırılmaya çalışılır. Ultrason cihazında ses dalgasının dokulardaki zayıflamasının homojen olduğu varsayılır. Ancak farklı dokular nedeniyle gerçekte durum böyle değildir. Emilim ve yansımanın artması başlı başına bir artefakt kaynağıdır.

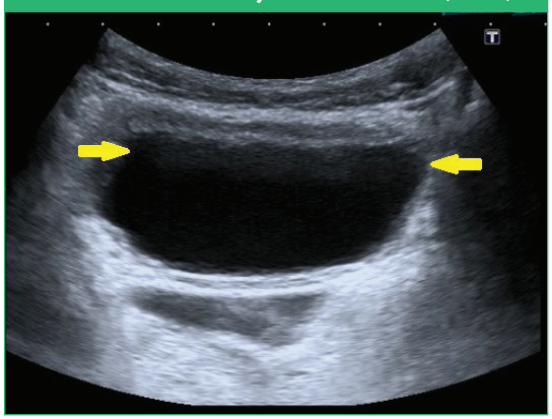
Akustik güçlenme artefaktı: Ses dalgaları dokudan geçerken zayıflar. Sıvı içeren yapılar ses dalgalarını katı dokulara göre daha az zayıflatır. Bu nedenle kistik yapıların derinliklerindeki dokular ses dalgasını daha güçlü yansıtarak daha parlak bir görünüm oluşturur (Resim 6,7). Bu özelliğe posterior güçlenme (enhancement) denir. Bu özellik sayesinde kistik ve katı yapılar birbirinden ayrılır.

Akustik gölgelenme artefaktı: Ses dalgası yağ dokusu ve fibröz dokular gibi yüksek emilim özelliklerine sahip dokuların arkasına daha az ulaştığı için, bu dokuların derinliklerinde gölgelenme meydana gelir. Bu artefaktın yüksek emilimden başka bir önemli nedeni ise güçlü yansımadır. Güçlü yansıma nedeniyle, ses dalgası reflektörün derinliğine hiç ulaşamaz ve gölgelenme meydana gelir. Bu durumun tipik örnekleri, yansıtıcı taşların ve yumuşak doku-hava arayüzlerinin arkasındaki gölgelenmedir (Resim 7,8).

3. Yön ve Hız Artefaktları

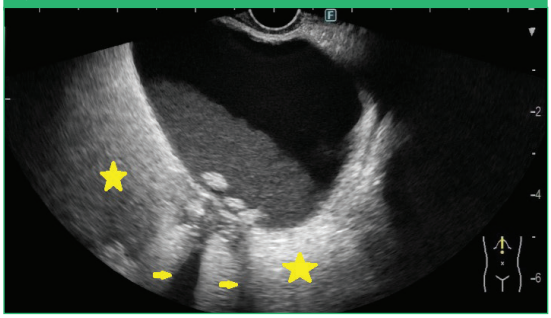
Bu artefaktlar, ultrason cihazının tüm dokulardaki ses dalgası hızının aynı yani 1540 m/s olduğu temel varsayımından kaynaklanır. Görüntü işlemcisi, bir

Resim 5. Transabdominal ultrasonografide mesane anterior kesiminde yan lob artefaktı (oklar).

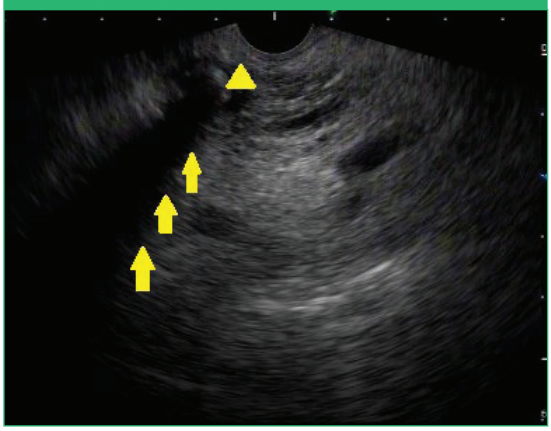


Resim 6. Endoskopik ultrasonda safra kesesi distalinde akustik güçlenme artefaktı.

Resim 7. Endoskopik ultrasonda safra çamuru ve safra taşı içeren safra kesesi görüntüsü. Taşlar nedeniyle distale akustik gölge (oklar) ve sıvı safra içeriği nedeniyle distale akustik güçlenme (yıldızlar) artefaktları.



Resim 8. Endoskopik ultrasonda distal koledok taşı (ok başı) ve distale akustik gölgelenme artefaktı (oklar).



nesnenin derinliğini ses demeti ve geri dönüş ekosu için gidiş-dönüş süresinden hesaplar. Ses hızının 1540 m/s'den az olduğu dokularda, yüzeyel nesneler daha derin olarak görülecektir; ses hızının 1540 m/s'den fazla olduğu dokularda ise daha derindeki nesneler yanlış bir şekilde daha yüzeyel olarak görülecektir. Ayrıca ses dalgasının dokular içindeki hareketinin doğrusal olduğu öngörülmektedir. Ancak dokular ses dalgasını bir mercek gibi kırmaktadır. Yansıma özelliği göz önüne alındığında, ses dalgasının doğrusal olmadığı anlaşılmaktadır.

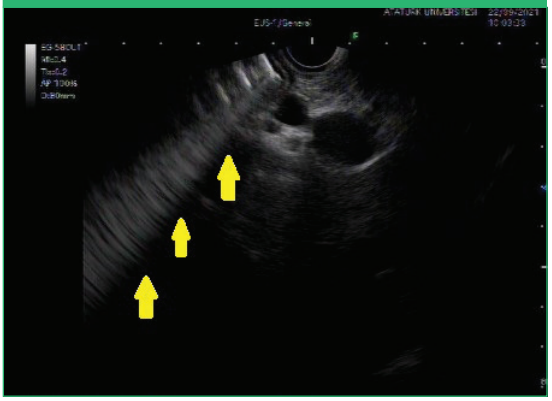
Reverberasyon artefaktı: Bu artefakt, güçlü yansıtıcı yüzey lineer proba paralel olduğunda oluşur. Ultrason sinyali genellikle transdüserin yakınında bulunan, ancak her zaman olmayan, yüksek yansıtıcı arayüzler arasında tekrar tekrar yansıdığında ortaya çıkar. Prob ile yansıtıcı yüzey arasındaki ses dalgasının bu tekrarlayan hareketi yansıtıcı yüzeyin derinliğinde ve ona paralel çoklu doğrusal ekojenite şeklinde görülür, lineer ekojenitelerin yoğunluğu derinleştikçe azalır (Resim 9).

Reverberasyon artefaktı, artefakta katkıda bulunan paralel arayüzlerden kaçınmak için tarama açısını veya transdüserin yerleşimini değiştirerek genellikle ortadan kaldırılabilir.

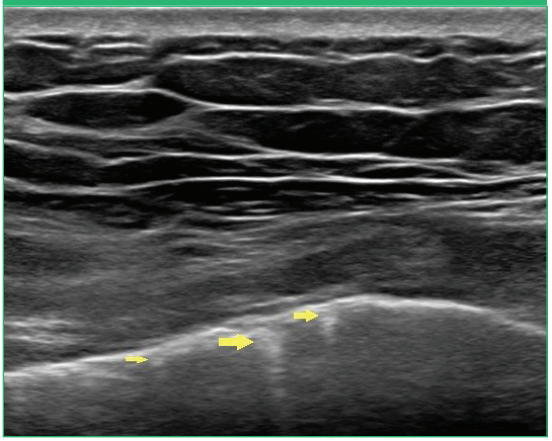
"Kuyruklu yıldız artefaktı" da yansıtıcı yüzeyin noktasal olduğu bir çeşit reverberasyon artefaktıdır (Resim 10). Safra kesesi duvarındaki kolesterol kristalleri ve parankimal organlardaki mikrokistler kuyruklu yıldız artefaktına neden olabilir. Ayrıca gastrointestinal sistemde perforasyonu sonucu oluşan ekstralüminöz hava kabarcıkları da kuyruklu yıldız artefaktı verir. Özellikle endoskopik ultrasonda perforasyon açısından bir uyarı olmalıdır.

Ayna görüntüsü artefaktı: Bu artefakt, güçlü yansıtıcı yüzey doğrusal olduğunda ancak proba paralel

Resim 9. Endoskopik ultrasonda bağırsak gazı kaynaklı reverberasyon artefaktı (oklar).



Resim 10. Torasik ultrasonda plevral boşlukta meydana gelen kuyruklu yıldız artefaktları (oklar).

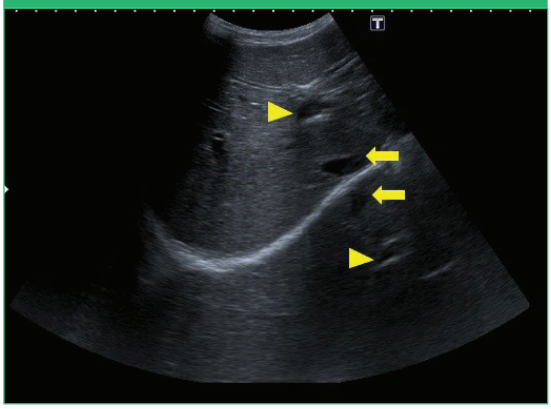


olmadığında meydana gelir. Ultrasonografide ayna görüntüsü artefaktı, birincil ışının yolunda yüksek yansıtıcı bir yüzey olduğunda görülür. Birincil ışın böyle bir yüzeyden yansır ancak transdüser tarafından doğrudan alınmak yerine, yolunda başka bir yapıyla karşılaşır ve yüksek yansıtıcı yüzeye geri yansır. Daha sonra tekrar transdüsere doğru yansır. Ultrason makinesi, geri dönen yankının bir kez yansıtıldığı yönünde yanlış bir varsayımda bulunur ve bu nedenle gecikmiş yankılar daha derin bir yapıdan geri dönüyormuş gibi değerlendirilir ve böylece yansıtıcı yüzeyin diğer tarafında bir ayna artefaktı oluşur (Resim 11).

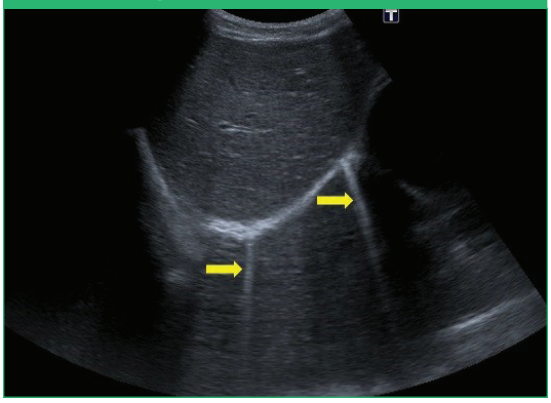
Ring down artefaktı: Geçmişte, bu artefakt, kuyruklu yıldız artefaktının bir çeşidi olarak düşünülüyordu. Bu fikir, iki artefaktın büyük ölçüde benzer görünümüne dayanıyordu. Bu artefakt, iletilen ses dalgasının, hava kabarcıklarından oluşan bir tetrahedron arasında sıkışmış sıvıda rezonans titreşimlerine neden olduğu teorisinden türemiştir. Bu titreşimler, transdüsere geri dönen sürekli bir ses dalgası oluşturur. Bu artefakt, gaz koleksiyonunun arkasına uzanan bir dizi paralel ekojenik bant olarak görüntülenir (Resim 12). Sonografik görünümleri benzer olsa da, bu iki artefaktın ayrı mekanizmaları vardır. Bu artefakt, anormal hava (apseler, pnömoperiton, portal venöz gaz, amfizematöz enfeksiyonlar, pnömobili) ve normal hava (bağırsak ansları) ile karşılaşıldığında ortaya çıkabilir.

Refraksiyon (kırılma) artefaktı: İletilen bir ultrason ses dalgası arayüze dik olmayan bir açıyla çarptığında kırılma artefaktı oluşabilir. İki doku arasındaki yayılma hızlarındaki fark da kırılmaya neden olabilir. Ses dalgası hızı yağ dokusunda en az (1450 m/s) ve

Resim 11. Abdominal ultrasonda plevral yüzey nedeniyle oluşan ayna artefaktı. Akciğer tarafında karaciğer dokusu, portal ven (ok başı) ve vena kava inferior (ok) görülmekte.



Resim 12. Abdominal ultrasonda plevral yüzeyde oluşan ring down artefaktı (oklar).



yumuşak dokuda en yüksek (1540 m/s) olduğundan, refraksiyon artefaktı bu iki doku arasında sıklıkla görülür. Transdüser, ses dalgası arayüze dik olacak şekilde hareket ettirilirse kırılma artefaktı ortadan kaldırılabilir.

TORASİK ULTRASON

Torasik ultrason (US) son on yılda önemli ölçüde popülerlik kazanmıştır ve rutin olarak hasta yatağının başında, özellikle acil serviste ve yoğun bakım ünitesinde (YBÜ) gerçekleştirilmektedir. Kostal arkların, plevral boşlukların ve akciğer parankimasının taranması da dahil olmak üzere göğüs duvarı değişikliklerinin sonografik değerlendirmesi doğru nitel ve nicel veriler sağlayabilir (13).

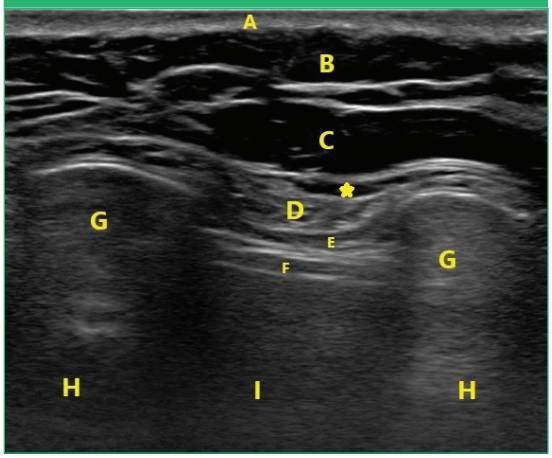
Torasik Ultrasonun Temel Özellikleri

Torasik US'nin fiziği karmaşıktır. Torasik US, anatominin doğrudan görselleştirildiği diğer US incelemelerinin aksine, baskın olarak artefakta dayalı olması nedeniyle diğer US incelemelerinden farklıdır.

Sağlıklı bir göğüs duvarına yerleştirilen bir ultrason probu, deri, fasya ve kasları doğru bir şekilde görüntüler ancak ayrıntı, kaburgaların konveks korteksle-rinde ve aralarındaki plevral çizgide aniden sona erer (Resim 13). Kemiklerin yüksek atenüasyon katsayısı, iletilen US enerjisinin yaklaşık %60'ının emilmesine ve kalan %40'ının proba doğru yansıtılmasına neden olur. Bu, kortikal yüzeyin distalinde koyu bir akustik kaburga gölgesi oluşmasına neden olur ve bunun ötesinde hiçbir şey görüntülenemez.

Parietal ve visseral plevranın silinmesini temsil eden plevral çizgi, kaburga yüzeylerinin yaklaşık 1 cm altında kaburga gölgeleri arasında görülebilir. Visseral plevranın sabit parietal plevraya karşı solunum ve kardiyak kaynaklı hareketi, akciğerlerin kaymasına

Resim 13. Sağ hemitoraks 5. interkostal aralıktan alınan görüntü. Cilt (A), cilt altı yağlı doku (B), pektoralis majör kası (C), eksternal interkostal kas (D), internal interkostal kas (E), innermost interkostal kas (F), interkostal yağ doku (yıldız), kostalar (G), kostalara bağlı distalde akustik gölge artefaktı (H) ve akciğer dokusu (I) görülmekte.



neden olur. Akciğer kaymasının varlığı, o noktada bir pnömotoraks olmadığını gösterir. Plevral çizginin üstündeki yumuşak dokular ile altındaki hava dolu akciğer arasındaki yüksek akustik empedans, ses enerjisinin %99,9'unun yansımasına neden olur ve yumuşak doku, sıvı veya konsolidasyon sağlıklı akciğerin yerini almadığı sürece plevra çizgisinin ötesinde görüntüleme yapılmasını engeller. Bu nedenle, hava dolu akciğerde, plevra çizgisinin derinliklerindeki US görüntüsü, geri dönen US sinyalinden gelen gerçek bilgilerden ziyade tamamen artefaktan kaynaklanır. Geçmişte, bu artefaktların akciğerin görüntülenmesini imkânsız hale getirdiği düşünülüyordu. Ancak, artık bunları akciğerin normal ve patolojik durumlarını çıkarmak için kullanıyoruz. Bu nedenle, torasik US, çeşitli artefakt biçimlerinin anlaşılmasını gerektirir.

Endikasyonlar

Akciğer US'nin endikasyonları şunlardır: akut solunum yetmezliği veya göğüs ağrısının ana klinik tablo olduğu farklı durumların tanısı, kantifikasyonu ve takibi (14).

Akciğer ultrasonunun uygulama alanı şunlardır:

- İnterstisyel, alveolar ve plevral patolojiler,
- Tanısal ve terapötik torasentez için rehberlik,
- Torakostomi tüplerinin yerleştirilmesi,
- Tanısal biyopsi için rehberlik.

Avantajları

Kritik hastalar için, yatağın başında torasik ultrason daha hızlıdır, hastaların transferini gerektirmez ve bilgisayarlı tomografi (BT) taramasından daha az kaynak gerektirir (15). Ayrıca, plevranın geleneksel radyografik görüntülemesine göre radyasyon olmaması, daha iyi taşınabilirlik, gerçek zamanlı görüntüleme ve dinamik görüntüleme yapma yeteneği gibi çeşitli avantajları vardır. US, plevral sıvının yerini belirlemek, plevral sıvıyı akciğer konsolidasyonundan ayırmak, plevral kalınlaşma ve plevral kitlelerin teşhisi için fiziksel muayeneden önemli ölçüde daha iyidir ve torasentez sırasında daha düşük komplikasyon oranı ile ilişkilidir.

Dezavantajları

Genel faydası göz önünde bulundurulduğunda torasik US'nin sınırlı olduğu durumlar da bilinmelidir. Torasik US operatöre bağlıdır ve kalitesi uygulayıcıya göre değişir. Operatörün gelişmiş teknik becerisi ve klinik bilgisi tanı verimini artırır; ancak çalışmalar modalitenin temel becerilerinin nispeten kolay öğrenilebileceğini göstermiştir. Torasik US'nin göğüs radyografisine kıyasla bir sınırlaması da, incelemeyi gerçekleştirmek için gereken zamandır. İncelemenin kapsamlılığına bağlı olarak tam torasik US'nin gerçekleştirilmesi 20 dakika sürebilirken, göğüs radyografisi birkaç dakika içinde tamamlanabilir. Torasik US'deki bir diğer sınırlama, A-çizgileri ve B-çizgileri gibi bulguların çeşitli koşullarda görülebilmesidir. Örneğin; bronşiyolitli pediatrik hastalarda, çalışmalar atelektazi ve pnömoninin torasik US bulgularının örtüştüğünü göstermiştir. Ancak bu US'ye özgü bir sorun değildir, çünkü özgüllükle ilgili benzer sorunlar hem göğüs radyografisinde hem de daha az ölçüde BT'de mevcuttur. Torasik US, esas olarak artefakt temelinde bir görüntüleme yöntemidir ve tipik olarak plevra hattına bitişik anormallikleri görüntüler. Daha derin torasik yapıların tam bir incelemesi için göğüs radyografisi ve/veya BT görüntüleme tercih edilir.

Normal Plevranın Ekogram Paterni

Plevranın normal koşullar altında ürettiği eko, solunum hareketleriyle eş zamanlı olarak kayan hiperekoik bir çizgi olarak görünür. Akciğer kayması veya akciğer kayması işareti olarak da bilinen bu işaret, solunum sırasında parietal ve visseral plevranın hareketiyle oluşturulan bir işarettir. Akciğer kayması, visseral plevranın parietal plevraya temas ettiğini gösteren dolaylı bir işarettir. Pnömotoraks veya plevral efüzyonlarda olduğu gibi hava veya sıvı iki plevra tabakasını ayırdığında, kayma işareti kaybolur (16).

Bu çizgi ve ilgili artefaktlar, torasik patolojilerin sonografik tanısı için dönüm noktasıdır. Bu artefaktların incelenmesi için transdüserin ve farklı ön ayar veya görüntü optimizasyon yazılım paketlerinin seçimi bulguları etkileyebilir. Esasen, 3-5 MHz'de çalışan abdominal prob plevranın daha geniş bir görüş alanını sunarken, yüksek frekanslı probun (7-12 MHz) kullanımı plevra ve subplevral patolojik değişikliklerin üstün bir şekilde tespit edilmesini sağlar. Ayrıca, muayene koşulları belirlenirken hastaların yaşı dikkate alınmalıdır. Pediatrik hastalarda, göğsün küçük boyutu, plevra ve akciğer yüzeylerinin net bir şekilde görüntülenmesi için 7 ila 12 MHz doğrusal probların kullanımını en iyi seçim haline getirir. Tüm interkostal boşluklar taranır; hasta, sırttan inceleme için yatakta yeniden konumlandırılır.

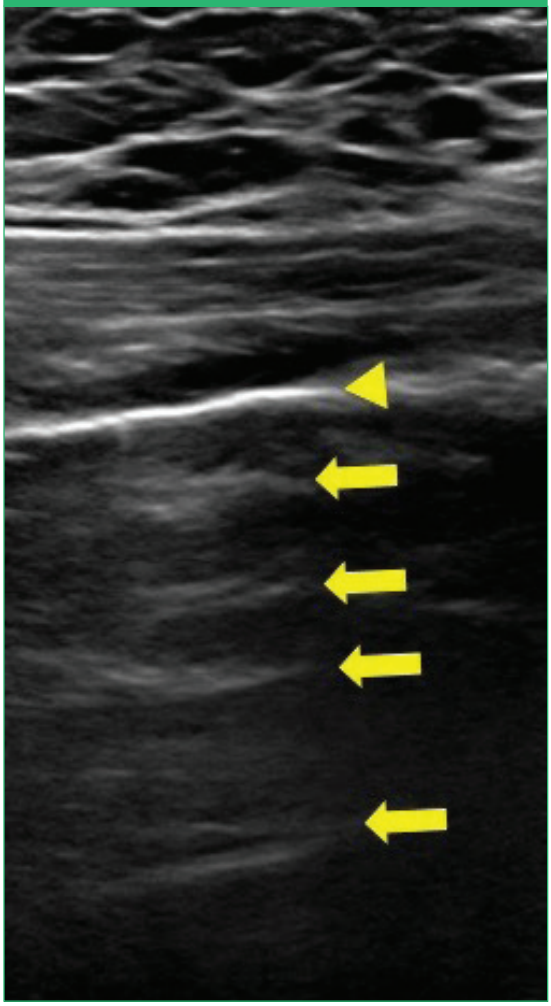
A çizgileri: Sağlıklı akciğer, %99'un üzerinde bir hava içeriğine sahiptir. Normal akciğerdeki hava dolu akciğer dokusu ile torasik duvar dokusu arasındaki yüksek empedans farkı nedeniyle, ses dalgalarının tam yansıması vardır ve bu da sağlıklı hava dolu akciğer dokusunun ultrason kullanılarak görüntülenmesini imkânsız hale getirir. Tam yansımanın olduğu yerde, akciğer ultrasonunda akciğer yüzeyinde ekojenik bir yansıma çizgisi görülebilir ve buna "hava-arayüz çizgisi" denir. Hava-arayüz çizgisindeki yankılanma fenomeni nedeniyle akciğer yüzeyinin dorsalinde düzenli paralel yatay tekrarlama yankıları belirir ve akciğer boşluğuna yansıtılarak sözde "A-çizgileri" oluşturur (Resim 14).

A çizgileri reverberasyon artefaktını temsil eder. A-çizgileri birbirine paraleldir ve her çizgi arası mesafe sabittir, ancak yoğunluk yüzeyden aşağıya doğru azalır. Bu çizgiler genellikle sağlıklı bireylerde görülür. B çizgileriyle silinebilir veya pnömotoraks gibi patolojilerin varlığında artabilir (15). Atelektazi veya konsolidasyon A-çizgisi artefaktını ortadan kaldırır ve parankimin doğrudan görüntülenmesine olanak tanır.

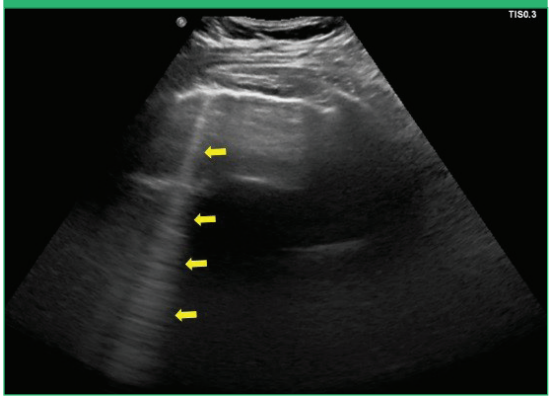
B çizgileri: B çizgileri (daha önce "kuyruklu yıldız artefaktları" olarak tanımlanmıştır) plevradan kaynaklanan, ekranın altına kadar solmadan uzanan ve akciğer kaymasıyla senkronize olarak hareket eden ayrı lazer benzeri dikey hiperekoik reverberasyon artefaktları olarak tanımlanır. A çizgilerini silebilir. Bu çizgilerden bir veya ikisi sağlıklı bireylerin %30'unda özellikle akciğere temas eden kısımda interkostal boşlukta görülebilir (Resim 15).

B çizgileri intralobüler veya interlobüler septaların dolduğunu gösterir ve sıklıkla pulmoner ödem ve interstisyel akciğer hastalıklarında görülür (17). Kalınlaşmış B çizgileri, yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı tomografide (BT) görülen periferik akciğer buzlu cam opasitelerini temsil eden birleşen B çizgileri oluşturmak üzere birleşebilir (18).

Resim 14. Torasik ultrasonda plevra-hava ara yüz çizgisi (ok başı) ve A çizgileri (oklar).



Resim 15. Torasik utrasonda B çizgisi (oklar).

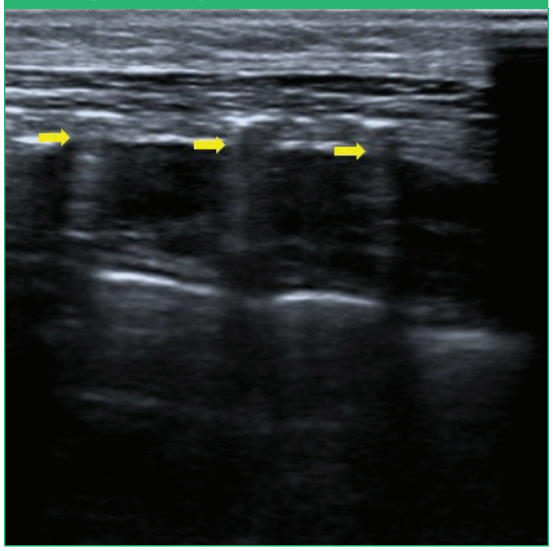


C çizgileri: C çizgileri, visseral plevra çizgisi boşluğu olmadan yoğunlaştırılmış akciğer dokusu tarafından oluşturulan hipoekoik subplevral fokal görüntüler olarak tanımlanır. C çizgileri gerçek çizgiler değildir, ancak isimlendirme standartlarıyla tutarlılık adına bu şekilde belirtilir

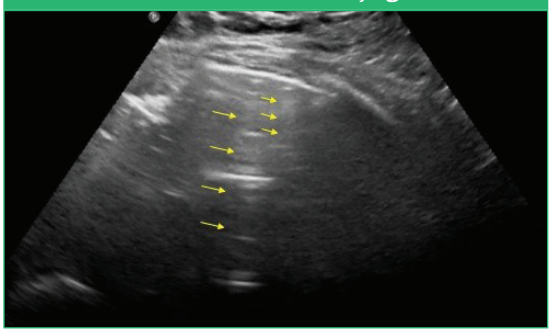
E çizgileri: "E çizgileri" deri altı amfizemi anlamına gelir. E çizgileri deri altı boşluğunda gaz sıkıştığında görülen dikey çizgilerdir. Bu çizgiler plevral çizgiden değil deri altı dokudan kaynaklanır; gaz hareket etmediği için solunum hareketleriyle senkronize değildirler. E çizgileri iyi tanımlanmıştır ve A çizgilerini de siler ve bu nedenle gerçek B çizgileriyle karıştırılabilirler (Resim 16) (19).

Z çizgileri: Z çizgileri nüfusun %80'inden fazlasında görülen yaygın artefaktlardır ve yukarıda açıklanan birleşen B çizgileriyle karıştırılabilir. Z çizgileri, plevral çizgiden kaynaklanan ancak ekranın distal kenarına ulaşmayan dikey, demet benzeri çizgilerdir; ancak iyi tanımlanmamışlardır. A çizgilerini silmezler ve solunum hareketleriyle senkronize değildirler (15). Z çizgileri sağlıklı kişilerde bulunur ve anormal bir bulguyu temsil etmez (Resim 17).

Resim 16. Torasik ultrasonda cilt altı amfizemi olan olguda E çizgileri (oklar).



Resim 17. Torasik ultrasonda Z çizgileri (oklar).



KAYNAKLAR

1. *Grogan SP, Mount CA. Ultrasound physics and instrumentation. 2021.*
2. *Lawrence JPJCcm. Physics and instrumentation of ultrasound. 2007;35:S314-S22.*
3. *Ma OJ, Mateer JR, Reardon RF. Ma and Mateers emergency ultrasound: McGraw Hill Professional; 2020.*
4. *Hangiandreou NJJR. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in US: B-mode US: basic concepts and new technology. 2003;23:1019-33.*
5. *Shriki JJCcc. Ultrasound physics. 2014;30:1-24.*
6. *Shokoohi H, Duggan NM, Adhikari S, et al. Point-of-care ultrasound stewardship. 2020;1:1326-31.*
7. *Whittingham TJPib, biology m. Medical diagnostic applications and sources. 2007;93:84-110.*
8. *Shokoohi H, Chu D, Al Jalbout NJEmcoNA. Ultrasound Physics. 2024;42:711-30.*
9. *Nielsen T, Lambert MJEuNYM-H. Physics and instrumentation. 2003:45-66.*
10. *Laing FC, Kurtz AJR. The importance of ultrasonic side-lobe artifacts. 1982;145:763-8.*
11. *Bushberg JT, Boone JM. The essential physics of medical imaging: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.*
12. *Goldstein A, Madrazo BLJJocu. Slice-thickness artifacts in gray-scale ultrasound. 1981;9:365-75.*
13. *Lichtenstein DA, Meziere GAJC. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure*: the BLUE protocol. 2008;134:117-25.*
14. *Filopei J, Siedenburg H, Rattner P, et al. Impact of pocket ultrasound use by internal medicine housestaff in the diagnosis of dyspnea. 2014;9:594-7.*
15. *Wongwaisayawan S, Suwannanon R, Sawatmongkorngul S, Kaewlai RJR. Emergency thoracic US: the essentials. 2016;36:640-59.*
16. *Lichtenstein DA, Menu YJC. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically III: lung sliding. 1995;108:1345-8.*
17. *Lichtenstein DAJC. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. 2015;147:1659-70.*
18. *Dietrich CF, Mathis G, Blaivas M, et al. Lung B-line artefacts and their use. 2016;8:1356.*
19. *Francisco MJ, Rahal A, Vieira FAC, et al. Advances in lung ultrasound. 2016;14:443-8.*