



5. Yoğun Bakımda Torasik Ultrasonografi

Doç. Dr. Uğur ÖZDEMİR

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Yoğun Bakım Bilim Dalı, Ankara

ÖZET

Torasik ultrasonografi iyonize radyasyona maruziyete sebep olmayan, yatak başı hızla uygulanabilen, ucuz tekrar edilebilir, kesitsel görüntüleme yöntemidir. Yoğun bakımda özellikle solunum yetmezliğinin etyolojisinin tespitinde, mekanik ventilatör ile takip edilen hastaların yönetiminde, toraks ile ilgili girişimsel işlemlerde, diafram fonksiyonlarının değerlendirilmesinde oldukça faydalı modern steteskop olarak tanımlanan bir tanı yöntemidir. Yoğun bakımda torasik ultrasonografi kullanımı direkt akciğer grafisine ve akciğer tomografisine olan gereksinimi azaltır. Büyük doğruluk ile birlikte klinisyene hızlı tanısal destek sağlar. Torasik ultrasonografi sırasında çok sayıda artefakt ile karşılaşılmaktadır. Bu nedenle etkili bir şekilde tanı sürecinde kullanılması artefaktların iyi tanımlanması ve yorumlanması ile mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda çok sayıda artefaktın birlikte görülmesi torasik ultrasonografiye özel çok sayıda görüntü bulgularının tanımlanmasına neden olmuştur. Bu bölümde torasik ultrasonografinin iyi tanımlanmış görüntü bulguları ve bu görüntü bulgularının klinik kullanımına dair ip uçları sergilenmiştir. Bunun dışında özellikle yoğun bakım pratiğinde önemli yer tutan akut solunum yetmezliği, akut respiratuvar distres sendromu ve weaning süresindeki kullanımına ayrıca başlıklar altında tartışılmıştır.

GİRİŞ

Torasik ultrasonografi (TUS) veya diğer bir ismi ile akciğer ultrasonografisi iyonize radyasyon içermeyen, yatak başı hızlı uygulanabilir, gerçek zamanlı kesitsel görüntü verebilen ve tekrar edilebilir bir tanı yöntemidir (1). Bir defa temin edildikten sonra ultrasonografi cihazları belirli bir maliyeti olmadan yıllarca hizmet vermeye devam edebilmektedirler, bu da onların görece ucuz bir tanı yöntemi olarak tanımlanmasına neden olur. Ultrasonografi cihaz-

ları günümüzde çoğu yoğun bakımçı tarafından modern steteskop olarak tanımlanmaktadır (2). Hasta transportunun mümkün olmadığı solunum yetmezliği ile takip edilen hastalarda torasik ultrasonografi ayırıcı tanıda fizik muayene veya direkt akciğer filmine nazaran daha fazla klinik bilgi verir (3). Aynı zamanda yatak başı yapılan torasik ultrasonografi uygulaması direkt akciğer filmi veya diğer ileri akciğer görüntüleme tetkiklerine olan ihtiyacı azaltır. Akut solunum yetmezliği olan hastalarda plevral effüzyon, interstisyel sendrom, pnömoni,

pnömotoraks ve pulmoner ödem varlığı yüksek tanısal doğruluk ile birlikte yatak başı torasik ultrasonografi yapılarak tespit edilebilir (4). Aynı zamanda yoğun bakımda invaziv mekanik ventilasyon ile takip edilen hastalarda torasik ultrasonografi kullanımı terapötik süreçlerde alınan kararlar üzerinde önemli etkiye sahiptir (4). Torasik ultrasonografi özellikle son 20 yılda yaşanan gelişmelerle birlikte solunum yetmezliğinin ayırıcı tanısı ve yönetiminde kullanılan BLUE (The bedside lung ultrasound in emergency) ve FALLS (Fluid administration limited by lung sonography) protokolleri içerisinde yerini almıştır (5). Bunun dışında torasik ultrasonografi ile diafram disfonksiyonu veya paralizi tanısı konulabilir/desteklenebilir (6). Yine ultrasonografi ile ekstübasyon öncesi dönemde weaning (ventilörden ayırma) açısından uygun hastaların tespiti için diafram fonksiyonu, akciğer parankimi, plevral effüzyon, kardiyak pompa fonksiyonu, üst hava yolu obstrüksiyon bulguları değerlendirilebilir (7). Gerçek zamanlı kesitsel bir görüntüleme yöntemi olması sebebiyle yatak başı torasentez, subklavyen ve/veya juguler ven kataterizasyonu ve toraks tüp yerleştirilmesi gibi girişimsel işlemler sırasında klinisyene fayda sağlaması diğer avantajları arasındadır. Ultrasonografi cihazları yukarıda sayılan olumlu özellikleri nedeniyle torasik ultrasonografi yapma amacıyla özellikle yoğun bakım, acil servis, göğüs hastalıkları ve göğüs cerrahisi branş hekimlerince sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Torasik ultrasonografi sırasında elde edilen görüntüler hem gerçek anatomik yapılardan hem de artefaktlardan kaynaklanır. Ultrasonografi ile görüntülenebilen gerçek anatomik yapılar cilt, cilt altı yağ

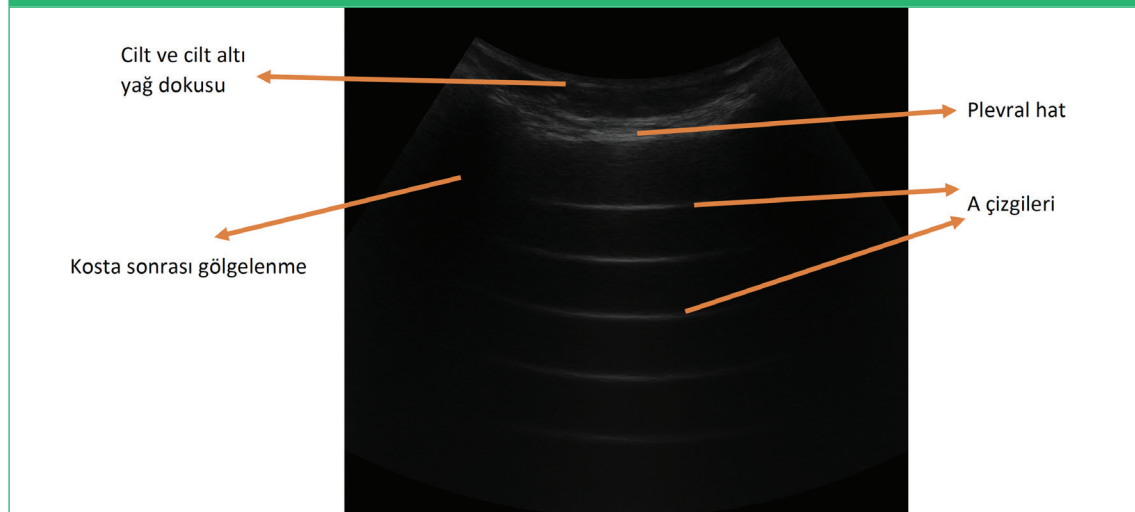
dokusu, plevra, kostaların ön yüzeyleri, trakea ön yüzeyi, interkostal kaslar, diyafram kası, subklavyen ven/arter, varsa plevral effüzyon, parankimal patolojiler (atelektazi, konsolidasyon) olarak özetlenebilir. Bunun dışında görüntüye dahil olan artefaktlar genel olarak plevradan ve kostalardan kaynaklanırlar. Gerçek görüntü ve artefaktlar birleşerek bazı görüntü bulgularına neden olurlar. Bu bulguların özel isimlerle anılması ve tanınması bizlere spesifik bazı patolojileri tespit etmemiz açısından veya normal dokuyu tanımamız açısından yardımcı olur. Torasik ultrasonografi yapılırken sıklıkla karşılaşılan bazı görüntü bulguları aşağıda özetlenmiştir. Bu görüntü bulgularının isimleri literatürde geçtikleri halile İngilizce olarak da paylaşılmıştır. Bu görüntü bulgularını takiben torasik ultrasonografinin yoğun bakımda sıklıkla kullanılan yönleri başlıklar halinde anlatılacaktır.

YARASA BULGUSU (BAT SIGN)

Yarasa bulgusu ultrason probunun kaburgalara ve plevraya dik olarak sagittal ekseninde göğüs duvarında yerleştirilmesi sonucu B mod ile elde edilen temel görüntüdür (Resim 1) (Video 1,2). Yarasa bulgusunu oluşturan B mod kesitsel görüntüsü aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Cilt ve cilt altı yağ dokusunu takiben görüntünün sağ ve solunda yer alan kostal yüzeylere ait hiperekojen parlama ve hemen altında gölgelenme artefaktına ait görünüm.
- Her iki kosta arasında interkostal kaslar ve hemen altında hiperekojen/parlak düzgün bir hat boyunca ilerleyen plevraya ait görünüm.

Resim 1. Konveks prob ile yapılan B-mod ultrasonografi görüntülemesinde “Yarasa bulgusu”.



- c. Plevranın altında normal havalanan akciğer dokusu var ise reverberasyon (yankılanma artefaktı) nedeniyle oluşan A çizgileri.

A çizgileri prob ile plevra arasında sesin yankılanması sebebiyle oluşur. Plevradan kaynaklanarak her bir yankılanma sonrası gecikerek proba geri gelen ses hüzmeleri, ultrason cihazının prob-plevra arası mesafe ile uyumlu aralığa sahip adımlarla derinleşen mesafelere plevral hattı yineleyerek çizmesine neden olur. Sağlıklı bir akciğer parankiminde plevra altında hava olduğu için, “plevra-hava birleşim yüzeyi” ses için yansıtıcı yüzey olarak davranır (yüksek akustik empedans) ve plevranın altındaki dokularda ses ilerleyemez. Ancak plevra ile komşu akciğer dokusunun hava içeriği azalmaya başladıkça ses plevra altına ilerleyerek A çizgilerinin silinmesine ve farklı görüntüler oluşmasına neden olur. Normal parankimal yapıya sahip bir akciğer dokusunda linear prob ile B mod görüntüleme yapılsa elde edilen “yarasa bulgusu” görünümü içerisinde plevra ile başlayarak kısa bir mesafe derinleştikten sonra kaybolan bir-kaç adet hiperekoik beyaz çizgilenmeler görülür. Bu çizgilenmeler bir kuyruklu yıldızın kuyruğu gibi zamanla sönümlendiği için “comet tail” olarak isimlendirilmiştir. Comet tail bulgusu düşük frekans problemler ile (konveks veya phase-array prob) ile genellikle görülemezler ve visseral ve pariyetal zarların iyi bir şekilde temas halinde olduğunu gösterirler. Comet-tail’ler plevral kayma hareketine eşlik ederler ve pnömotoraks durumunda kaybolurlar (Video 3) (8).

Plevra altındaki akciğer dokusunu oluşturan alveoller içerisinde hava ile birlikte sıvı var olduğunda B mod ultrasonografi görüntülemesinde “Ring Down” artefaktları veya diğer ismi ile B-çizgileri görülmeye başlanmaktadır (9). Bu artefakt prob tarafından oluşturulan ve dokuda ilerlemekte olan titreşimin hava-sıvı karışımını titreştirmesi ve oluşan bu titreşimin ana kaynak prob’daki titreşimin sonlanmasına rağmen devam etmesi neticesinde oluşmaktadır. Dolayısıyla plevra altındaki alveollerde sıvı içeriği arttıkça ses dalgaları plevra altına geçebilmekte ve alveol içerisindeki hava-sıvı karışımı titreşimi devam ettirerek ikincil bir kaynak olarak davranmakta ve ses hüzmelerinin ilerleyebildiği ses koridoru oluşmaktadır. Bu koridor B-mod görüntülemeye plevradan başlayarak görüntünün sonuna kadar uzanım gösteren beyaz hiperekojen çizgi olarak kendini göstermektedir. Etkilenen alveol sayısına göre B-çizgileri ince, kalın veya tüm görüntüyü kaplayacak kadar geniş ve birleşmiş (konflue b çizgileri) olabilir. B çizgileri plevral kayma hareketine eşlik ederler ve pnömotoraks durumunda

kaybolurlar. Ancak çok nadiren adezyonların eşlik ettiği loküle pnömotoraks, akciğer fibrozunun eşlik ettiği pnömotoraks durumlarında B çizgileri pnömotoraksa eşlik edebilir (10). Normal durumda B çizgilerinin sayısı her bir B-mod görüntüsünde 2’den fazla değildir ve A çizgileri görünmeye devam eder. Ancak B çizgisi sayısı 3 veya daha fazla olunca A çizgi görünümü kaybolur. B çizgilerinin sayımı dinamik görüntülemeye tam bir solunum döngüsü sırasında kesite giren tüm plevral hat boyunca yapılması gerektiği unutulmamalıdır. B çizgilerinin artması herhangi bir hastalığa spesifik değildir ve kardiyojenik pulmoner ödem, akut respiratuvar distres sendromu, pulmoner fibrozis, kronik interstisyel akciğer hastalığı, pulmoner kontüzyon, parankimal enflemasyon gibi durumlarda patolojik B çizgileri görülmektedir (8).

PLEVRAL KAYMA HAREKETİ (LUNG SLIDING)

Plevrayı oluşturan visseral ve pariyetal plevra yapraklarının birbiri üzerinde kayarken elde edilen B-mod görüntü üzerindeki plevral hat üzerinde karınca yürüme benzeri bir hareket gözlenmesidir (Video 4). Eğer bu kayma hareketi tespit edilebiliyorsa veya hiperekojen plevral çizginin üzerine M-mod hattı konulduğunda plevral hattın altında kumsal ve plevral hattın üzerinde deniz benzeri görüntü elde ediliyorsa (Deniz-kumsal bulgusu/Seashore sign) probun konulduğu plevra bölgesinde pnömotoraks olmadığı tespit edilebilir (Video 5). Eğer plevral kayma hareketi yok ise (ventilasyon yoksa) M-mod görüntüsü içerisinde plevral hattın altında plevraya paralel düz çizgilenmeler (Stratosfer bulgusu, Stratosphere sign) görülecektir. Bu çizgilenmeler uzun bir çizdirme periyodunu takiben barkoda benzer bir görünüm alır (Barkod bulgusu). Hem “Stratosfer bulgusu” hem de “Barkod bulgusu” pnömotoraksın belirlenmesi açısından önemlidir.

AKCİĞER ATIMI (LUNG PULSE)

Kalbin akciğere olan anatomik komşuluğu sebebiyle kalbin her vurusu ile birlikte akciğer dokusunda atım benzeri küçük yer değiştirme hareketleri özellikle B mod ultrasonografi görüntülemesinde plevral hat üzerinde görülebilir. Ancak bu özellikle plevral kayma hareketinin kaybolduğu (ventilasyonun olmadığı) bazı klinik durumlarda daha belirgin hale gelir (Video 6). Dolayısıyla akciğer atım bulgusu atelektazi, plevral yapışıklık, hiperinflasyon, bül gibi durumlarda belirgin hale gelir.

AKCİĞER NOKTASI (LUNG POINT)

B-mod dinamik ultrasonografi görüntüsü elde edilirken aynı görüntü içerisinde plevral hat boyunca

kayma hareketinin olan ve olmayan alanın birlikte olması durumudur. Dolayısıyla “Akciğer noktası” pnömotoraksın tam başladığı noktayı ifade etmektedir. Bu bulgu M-mod içerisinde kendini ard arda değişen “Stratosfer bulgusu” ve “Deniz-kumsal bulgusu” olarak da belli edebilir.

HEPATİZASYON

Değerlendirilen akciğer bölgesinde parankimin tamamen havalanmasını kaybetmesi sonucu plevra altında solid organ benzeri görünüm oluşması durumudur. Pnömoniler, atelektaziler bu şekilde görünüm verebilirler. Aynı zamanda bu hepatizasyon alanı içerisinde cidarı hiperekojen/parlak tüpe benzer milimetrik görünümde elde edilebilir, bunlar içi hava ile dolu bronş ağacına ait görünümüdür ve hava bronkogramı olarak isimlendirilirler (Video 7). Eğer hava bronkogramı görünmüyorsa o bölgede hava yolunun kapalı ve havanın tamamen absorbe olduğu düşünülür. Eğer hava bronkogramı statik ise o bölgede hava yolunun kapalı olduğu ancak içerisindeki havanın tamamen absorbe olamadığı anlaşılır. Eğer hava bronkogramı içerisinde her solunum döngüsü ile birlikte hareket eden hava yolu sekresyonlarına ait izoekoik/ekoik yapı görünüyorsa ise hava yolunun açık olduğu anlaşılır (dinamik hava bronkogramı). Dinamik hava bronkogramı pnömoni tespiti için önemli bir bulgudur.

PELVRAL EFFÜZYON İLE İLİŞKİLİ BULGULAR

Süper pozisyonunda yatan bir hastada mid-aksiller hat üzerine sagittal eksenle ultrason probu konulduğunda akciğer parankimi, plevral effüzyon, diyafram, karaciğer/dalak ve böbrek ardışık yapılar olarak sırasıyla daha iyi değerlendirilebilmektedir. Plevral effüzyon olmadığında mid-aksiller hat üzerinden apikalden kaudale doğru prob kaydırıldığında devam eden plevral çizgi kaybolarak hastanın sağında karaciğer solunda ise dalak görülmeye başlanır (diyaframın lateral kısmı genellikle görülmez veya zorlukla tespit edilebilir), bu bulgu perdelenme bulgusu (Cortain sign) olarak isimlendirilmiştir (Video 8). Plevral effüzyon oluştuğu ve arttıkça diyafram görünür hale gelmeye başlar ve belirgin plevral effüzyon varlığında diyaframın posterior kısmı dahil görülmeye başlar. Plevral effüzyon miktarı belirgin arttığında diyafram ile birlikte vertebral kolon görünür hale gelir (Spine sign) (Video 9). Yine plevral effüzyon miktarı arttığında kollabe olmuş atelektatik akciğer parankimi sıvı içerisinde yüzen denizanası görünümüne neden olmaktadır (11) (Video 10). Bu bulgu plevral effüzyonun çok yoğun içeriğe sahip olmadığı hakkında bilgi verir. Yoğun içerikli bir sıvı olsa idi atelektatik akciğer

dokusu solunum döngüsü ile birlikte rahatça hareket edemeyecekti. Bu bulgu aynı zamanda pasif basınç etkisiyle kollabe olmuş akciğer parankimine işaret eder ve pnömoninin dışlanması faydalıdır (8). Toraks ultrasonografi aynı zamanda var olan plevral effüzyonun vasfı hakkında da yorumda bulunmamızı sağlar. Plevral effüzyon kan veya fibrin açısından zengin ise plankton bulgusu (Plankton sign) olarak isimlendirilen, hipoeoik sıvı içerisinde yüzen heterojen yapıda (izo-hiperekojen) çok sayıda yüzen küçük yapılar tespit edilebilmektedir.

PAÇAVRA BULGUSU (SHRED SIGN)

Subplevral düzensiz zayıf ve değişken ekojeniteye sahip heterojen parankimal görünüm olarak tanımlanır. Subplevral konsolidasyon alanları ile birlikte etkilenmemiş plevral alanların birlikte bulunması düzensiz hiperekoik sınırların oluşumuna neden olur. Genellikle subplevral dağınık yerleşimli konsolidasyonlar, pulmoner trombo-embolizm, diffüz parankimal akciğer hastalıkları ile ilişkilendirilmektedir (12).

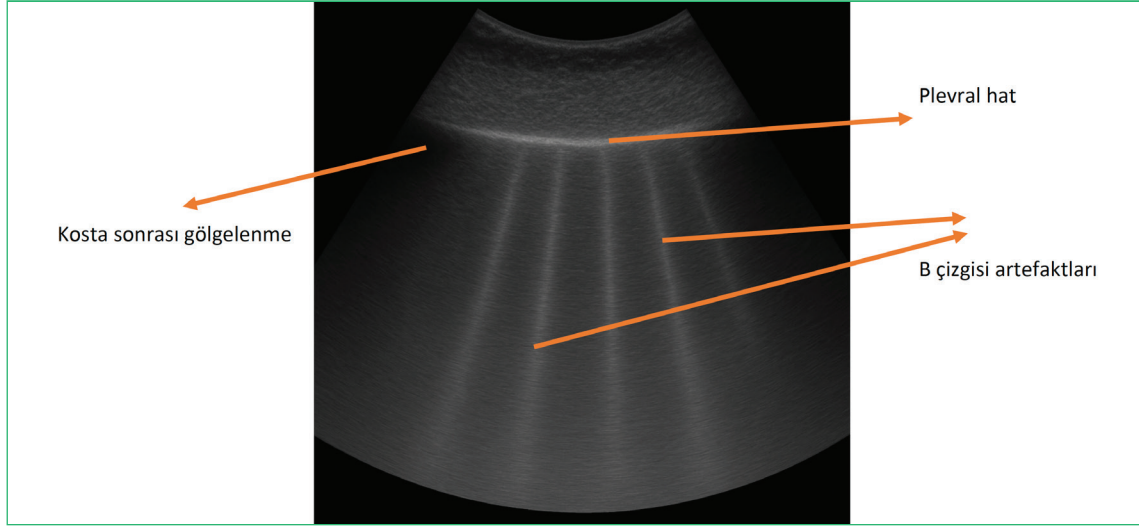
KONSOLİDASYON

Konsolidasyon durumunda alveol içerisindeki hava yerini sıvı, inflematuvar eksuda veya hücrel infiltrasyona bırakmıştır (Video 6). Dolayısıyla plevra-hava birleşimine ait akustik direnç ortadan kalkarak plevra altındaki patolojik akciğer dokusu görünür hale gelmeye başlar. Eğer yeni başlangıçlı ve periferik yerleşimli bir konsolidasyon durumu var ise kendisini plevral düzensizlik olarak gösterebileceği gibi ilerleyen parankimal hasar ile birlikte paçavra bulgusu, hepatizasyon, hava bronkogramları, para-pnömonik effüzyon, parankim içi abse bulguları torasik ultrasonografi ile birlikte tespit edilebilir. Konsolidasyon akciğer parankimini ilgilendiren birçok hastalığın son noktası olup pnömoni, atelektazi, parankim enfarktı veya tümör infiltrasyonları gibi hastalıkların seyri sırasında sıklıkla tespit edilirler.

İTERSTİSYEL SENDROM

İnterstisyel sendrom B-mod ultrasonografi görüntülemesinde iki kosta arasında ve plevral çizgi altında iyi tanımlanmış ikiden daha fazla B-çizgisinin olması olarak tanımlanmaktadır (13) (Resim 2) (Video 11). Ancak burada B çizgilerinin iyi tanımlanması oldukça önemlidir. Comet-tail’ler interstisyel sendrom tanısı için kullanılmamalıdır. Aynı şekilde hiçbir klinik anlamı olmayan Z-çizgileri yanlışlıkla B-çizgisi olarak değerlendirilebilirler ve bu sık yapılan bir hatadır. Z-çizgileri A çizgilerini silmezler, plevra hareketi ile birlikte senkron hareket göstermezler. İnterstisyel

Resim 2. Konveks prob ile yapılan B-mod ultrasonografi görüntülemesinde interstisyel sendromun şematik görünümü.



sendrom tanısı için tespit edilecek olan B-çizgisi artefaktların aşağıda sıralanan temel özelliklere sahip olması gerekmektedir; plevradan başlarlar, plevral kayma hareketi ile tamamen senkron bir şekilde hareket ederler, uzundurlar (görüntünün en derinine kadar uzanırlar), A çizgilerini silerler, hiperekojen yapıda net olarak tespit edilebilen verikal uzanım gösterirler (13). İnterstisyel sendrom tanımı lokalize veya diffüz olabilir ve elde edilen bulgular herhangi bir hastalığa spesifik değildir. Fokal interstisyel sendrom pulmoner kontüzyon, fokal fibrozis, pnömoni veya atelektazide görülebilir. Diffüz interstisyel sendrom kardiyojenik pulmoner ödem, ARDS, diffüz pulmoner fibrozis’de görülebilir.

AKUT SOLUNUM YETMEZLİĞİNDE TORASİK ULTRASONOGRAFİ KULLANIMI

Akut solunum yetmezliği sıklığı son 10 yılda artma eğiliminde olup, kabaca toplumun her yıl %1’i akut solunum yetmezliği ile yüzleşmektedir (14). Akut solunum yetmezliğinin hastane içi mortalite hızı azalmakla beraber %23 olarak devam etmektedir (15). Akut solunum yetmezliği tüm yaşlar için daha çok alt solunum yolu enfeksiyonu ile ilişkili hipoksemik tip ile karşımıza çıkmaktadır (15). Ancak 45 yaş altı bireyler için diğer nedenler olarak ARDS, sepsis, astım, ilaç zehirlenmeleri ve travma sıralanabilirken, yaşlı hastalarda diğer nedenler olarak kalp yetmezliği, KOAH, ARDS ve sepsis sıralanabilir. Akut solunum yetmezliği ile başvuran hastalarda yatak başı ultrasonografi kullanımı ile kısa sürede pnömotoraks, konsolidasyon, pulmoner ödem, plevral effüzyon, diaphragmatik disfonksiyon tanıları konulabilmektedir (16).

Dolayısıyla akut solunum yetmezliği ile takip edilen çoğu hastada altta yatan tanının torasik ultrasonografi yapılarak belirlenmesi mümkündür. Ancak akut solunum yetmezliğinde ultrasonografi cihazından beklenen bu olumlu etkiler tamamen operatörün tecrübesine, teknik becerisine bağlıdır. Akut solunum yetmezliğinde erken tanı sonuçları iyileştirmektedir. Yatak başı çekilen portabl direkt akciğer grafisi akut solunum yetmezliği ayırıcı tanısında yeterli duyarlılığa sahip değildir. Akut solunum yetmezliği ile takip edilen hastaların altın standart görüntüleme yöntemi olan akciğerin bilgisayarlı tomografi (BT) ile değerlendirilmesi klinik instabilite nedeniyle her zaman mümkün olmamaktadır. Bunun dışında tomografi ile karşılaşılan radyasyon veya kontrast madde maruziyetine bağlı riskler göz ardı edilemez. Tüm bu sebeplerle özellikle acil servislerde veya yoğun bakımlarda akut solunum yetmezliği ile takip edilen hastalarda tanı koymada ve spesifik tedavi başlama da gecikmeler yaşanabilmektedir. Dolayısıyla akut solunum yetmezliğindeki hastaların klinik durumundaki instabilite nedeniyle ileri radyolojik görüntülemelere götürülemediklerinde ultrasonografi tanı koyma ve tedavi yönetimi açısından iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Diğer görüntüleme yöntemlerinde olduğu gibi sadece ultrasonografi ile elde edilen görüntülere bakılarak pnömoni tanısı konulamaz ve mutlaka muayene bulguları, laboratuvar testleri ve anamnez bilgileri tanı için gereklidir. Torasik ultrasonografinin pnömoniyi tespit etmekteki tanısal güvenilirliği direkt akciğer grafisinden daha iyi olup, akciğer tomog-

rafisine yakındır (17). Torasik ultrasonografinin tomografi ile kıyaslandığında pnömoniye tespit etmedeki sensitivitesi %91.7 ve spesifitesi 97.4 olarak tespit edilmiştir (17). Ultrasonografi ile subplevral yerleşimli milimetrik konsolidasyon alanları, non-translober veya lobar konsolidasyon alanları tespit edilebilir. Ultrasonografi ile dinamik hava bronkogramının tespit edilmesi pnömoni tanısı için belirleyici özelliktedir. Konsolide alan üzerinde renkli Doppler görüntüleme ile çalışılarak damarsal yapılar değerlendirilebilir, pnömonide vasküler yapıların düzgün dağılması ve düzenli seyretmeleri beklenir (18). Pnömoni varlığında B-çizgileri oluşabilir, özellikle subplevral milimetrik dağınık yerleşimli konsolidasyon alanları fokal b-çizgisi artefaktları oluşturabilir. Torasik ultrasonografi pnömoni teşhisi dışında takipte de önemlidir, pnömoni tanısı konulan bir hastada iyileşme dönemi ile paralel olarak aralıklı yapılan toraks ultrasonografisinde subplevral doku benzeri dokunun zamanla havalanmaya başladığı tespit edilebilir (19). Bazen pnömoni seyri sırasında abse formasyonu oluşabilir, bu durumda konsolide alan içerisinde içerisi anekoik görünümde oval görünümde elde edilebilir. Bu abselerin dış sınırları hiperekojen bir hat olarak görülebilir veya içerlerinde milimetrik hava artefaktları oluşabilir (hiperekojen sınır ve altında gölgelenme).

Emboliye bağlı olarak pulmoner arteriyel dal içerisinde kan akımındaki duraksama periferik yerleşimli parankimal enfarkt ve bu bölgede kanama veya kanjesyona bağlı havalanmada azalma ile kendini gösterir. Eğer bu enfarkt alanı göğüs duvarına komşu ve periferik yerleşimli ise ultrasonografik görüntüleme ile tespit edilebilir. Bir meta analizde torasik ultrasonografinin pulmoner tromboemboliye tespit etmede sensitivitesinin %82 ve spesifitesinin ise %89 olduğunu belirtmiştir (20). Ancak aynı meta-analizde değerlendirilen çalışmalar ile ilgili pulmoner emboli olma olasılığı yüksek olan hastaların seçilerek çalışmaya alınmış olabileceğinden bahsetmektedir, bu nedenle sonuçların dikkatli değerlendirmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Dolayısıyla torasik ultrasonografi ile pulmoner embolizm bulguları elde edilmediğinde tanı dışlanamaz ancak torasik ultrasonografi pulmoner tromboembolizm için kabul edilebilir bir tanı aracı olarak kabul görmektedir. Aynı zamanda pulmoner emboli tanısı için altın standart yöntem olarak kabul edilen akciğer tomografisinin çekilemediği durumlarda tecrübeli operatör varlığında torasik ultrasonografi uygulaması hasta için faydalı olacağı düşünülebilir. Subplevral yerleşimli enfark

alanı ultrasonografi ile genellikle hipoekoik yapıdadır ve kama şeklinde görülür veya yuvarlak, poligonal şekilli olabilirler. Bazı olgularda enfark alanının merkezinde hava bornkogramına ait görünüm tespit edilebilir. Ultrasonografik bulgular sıklıkla hastaların plörotik göğüs ağrısı tarif ettikleri yere lokalizedir. Enfark alanına sıklıkla ilk başta lokal effüzyon eşlik eder ve enfark alanının büyüklüğüne göre bazal plevral effüzyon eşlik edebilir. Enfark alanı içerisinde yapılan renkli Doppler incelemesinde kanlanmanın tespit edilememesi bir diğer ultrasonografik bulgudur. Pulmoner tromboembolizm vakalarının %30-50'sine aynı zamanda alt ekstremitte derin venöz trombozu (DVT) ve %5-12'sine hemodinamik instabilite eşlik etmektedir (21). Bundan dolayı pulmoner embolizm tanısını desteklemek için kardiyak ultrasonografi ve alt ekstremitte venöz ultrasonografisinin kullanımı ayrıca gerekmektedir (21).

Ekokardiyografik olarak sağ atriyum, sağ ventrikül, ana pulmoner arter veya proksimal dalları içerisinde trombus görünümü tespit edilebilir, sağ ventrikül boyut artışı, fonksiyon bozukluğu tespit edilerek akut sağ kalp yetmezliği bulguları tespit edilebilir. Pulmoner tromboembolizm şüphesi olan bir hastada D-Dimer pozitif sonuçlandıysa veya klinik şüphe yüksek ise pulmoner BT anjiyografi çekilmelidir. Eğer tomografi çeşitli sebeplerle çekilemiyorsa, kontrendike ise veya gecikme söz konusu ise tecrübeli operatör varlığında torasik ultrasonografi, alt ekstremitte venöz ultrasonografisi ve kardiyak ultrasonografi yapılmalıdır. Eğer ultrasonografi ile pulmoner embolizm ve/veya DVT açısından bulgular tespit edildiyse antikoagülasyon tedavi erkenden başlanmalıdır. Yine tomografi çekilerek pulmoner embolizm dışlandıysa torasik ultrasonografi ayrıncı tanı için kullanılmalıdır.

Pnömotoraks plevra yaprakları arasında hava birikimi netcesinde solunum sistemi ve kardiyovasküler sistem fonksiyon bozukluğu yaparak hayati risk oluşturan acil bir durumdur. Primer pnömotoraksın yıllık görülme hızı erkeklerde yüzde 7.4 ve kadınlarda 1.2 iken, sekonder pnömotoraks erkeklerde 6.3 ve kadınlarda 2'dir (22). Erken teşhisi ve tedavisi hayati öneme sahiptir. Direkt radyografi ile pnömotoraks vakalarının %20'si gözden kaçmaktadır (23).

Pnömotoraks tespiti açısından torasik ultrasonografi direkt radyografiden üstündür. Akciğer ultrasonografisinin pnömotoraksı göstermedeki sensitivitesinin %83 ve spesifitesinin %99 olduğu bir meta analizde belirtilmiştir (24). Torasik ultrasonografi ile pnömotoraks varlığında plevral kayma hareketi

gözlenmez, B çizgisi artefaktı gözlenmez, “Comet-tail” artefaktları gözlenmez, tespit edilebilirse “akciğer noktası bulgusu” gözlenir. Şüpheli bir pnömotoraks bulgusunda bu bulguların görüntülenebilen tüm akciğer yüzeyi boyunca taranmış olması tanının atlanmaması adına önemlidir. Akciğer kayma hareketinin olmaması pnömotoraksı kesin olarak dışlamaz çünkü akciğer kayma hareketinin olmaması ventilasyonun olmadığını gösterir. Dolayısıyla plörodez, ciddi parankimal akciğer hastalığı, düşük tidal hacim ile ventile olan ARDS hastaları, büyük büller, bronşial tıkanıklık gibi durumların varlığında plevral kayma hareketi görülmeyebilir. Burada özellikle “akciğer noktası” nun tespiti pnömotoraks için tanısaldır ancak özellikle akciğerin tamamen komprese olarak hilusa çekildiği durumlarda (komple pnömotoraks) “akciğer nokta bulgusu” nun görülmeyeceği unutulmamalıdır.

Pulmoner ödem tablosunda karşılaşılan ultrasonografik bulgu intersitisyel sendromdur. Ancak intersitisyel sendrom yukarıda da açıklandığı gibi hastalığa spesifik değildir. Ancak özellikle anterior alanlarda non-homojen dağılım gösteren interstitiyel sendrom varlığında ARDS ön planda düşünülmeye başlanabilir. Non-homjenden kasıt her iki akciğeri etkilemiş ancak bazı yerlerde B çizgisi sayısı daha az, bazı yerlerde daha çok veya konfle görünümde olabilir, hatta bazı alanlarda normal havalanma özelliği gösteren bulgular elde edilebilir.

ARDS’de posterior alanlarda ise genellikle bölgeler arasında daha homojen dağılım gösteren ve beyaz akciğer olarak isimlendirilen tamamen birleşmiş geniş B-çizgisi artefaktları kendisini gösterir. ARDS’de plevral effüzyon eşlik edebilir, ancak miktar olarak genellikle azdır. Akut kardiyojenik pulmoner ödem (AKPÖ)’de ise interstitiyel sendrom anterior ve posterior akciğer bölgeleri dahil homojen dağılım gösterir. AKPÖ’de ARDS’de olduğu gibi korunmuş alanlar gözlenmez. AKPÖ’de plevral hat düzgündür ve irregülarite mevcut değildir. Aynı zamanda plevral effüzyon sıklıkla eşlik eder ve ARDS’ye kıyasla daha geniş effüzyon tespit edilir.

Tek başına akciğer ultrasonografisi yaparak ARDS ve AKPÖ ayırımını yapmak zordur ancak kardiyak ultrasonografik değerlendirmenin dahil edilmesi pulmoner ödemin kardiyojenik olup olmadığının ayırıcı tanısında yer alır. Kardiyak ultrasonografik olarak bozulmuş sol ventrikül fonksiyonların gösterilmesi, artmış sol ventriküler diyastolik basıncın ve artmış sol atriyal basıncın gösterilmesi AKPÖ tanısı açısından değerlidir.

AKUT RESPIRATUVAR DİSTRES SENDROMUNDA TORAKS ULTRASONU KULLANIMI

Akut respiratuvar distres sendromu (ARDS) enfeksiyon, travma, şok, aspirasyon gibi tetikleyici bir faktör neticesinde gelişen parankimal şiddetli enflemasyon sonucu alveolokapiller membran hasarı ve non-kardiyojenik pulmoner ödemi ifade eder (25). ARDS yoğun bakımlarda genel olarak %10 görülme sıklığına sahiptir ve ARDS gelişen hastalarda mortalite %30-50 arasında beklenmektedir (26). ARDS tanısı için Berlin tanı kriterleri 2012 yılında tanımlanmıştır (27). Berlin tanı kriterleri içerisinde ultrasonografi kullanımı sadece kardiyak durumu belirlemek için önerilmekteydi. Ancak Berlin tanı kriterleri 2023 yılında revize edilerek pulmoner ödemi belirlemek için direkt akciğer filmi veya akciğer tomografisi ile değerlendirmenin mümkün olmadığı durumlarda torasik ultrasonografinin de kullanılabileceği belirtilmiştir (28). Buradaki güncellenmiş ARDS kriterleri içerisinde ultrasonografi ile bilateral B çizgilerinin ve/veya konsolidasyon tespit edilmesi akciğer ödemi ve/veya infiltratlarının tespiti için birer delil olarak belirtilmiştir. Burada özellikle ultrasonografi operatörünün torasik ultrasonografi konusunda iyi eğitilmiş ve yeterli tecrübeye sahip olması gerektiği ayrıca vurgulanmaktadır. ARDS hastalarında sıklıkla çok sayıda yer çekiminden bağımsız dağılım gösteren non-homojen B çizgileri mevcuttur ve bu B çizgilerine sıklıkla korunmuş plevral alanların yanısıra plevral kalınlaşma, azalmış veya bozulmuş plevral kayma hareketi ve subplevral/lober konsolidasyon alanları eşlik etmektedir (29). Bu şekilde geniş dağılım alanı bulan non-homojenik sonografik patern non-kardiyojenik pulmoner ödeme işaret etmektedir. Ancak bu sonografik bulguların ARDS için spesifik olmadığı diffüz parankimal akciğer hastalığında da plevral kalınlaşma, plevral hat düzensizliği, fragmentasyonu, çok sayıda birleşmiş B çizgisi artefaktları görülebileceği unutulmamalıdır (30). Dolayısıyla torasik ultrasonografi ile elde edilen bulguların klinik bulgular ile birlikte değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

ARDS’de torasik ultrasonografi tanı haricinde hastaların takibinde de faydalı olmaktadır. ARDS ile takip edilen hastalarda tedaviye yanıtı değerlendirmek için torasik ultrasonografi ile birlikte akciğerlerin ventile olma (havalanma) derecesi tespit edilebilmektedir. ARDS’de klasik olarak akciğerlerin havalanmasını değerlendirmek için akciğer ultrasonografi skoru (Lung Ultrasound (LUS) Score) kullanılmaktadır. LUS skoruna göre değerlendirilen her bir akciğer bölgesi ha-

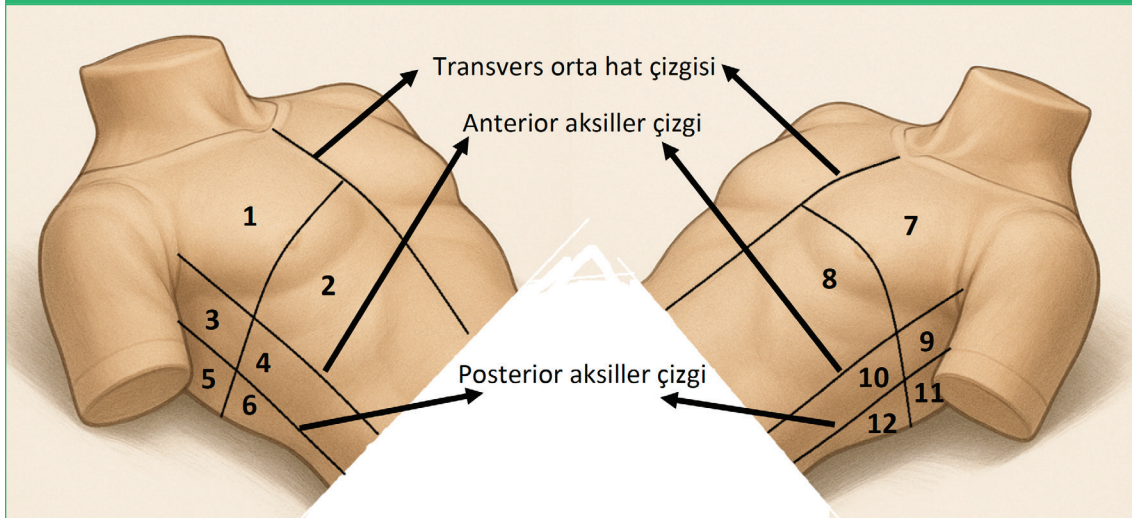
valanma kaybı açısından 4 aşamada incelenmektedir (31). Bu inceleme için her iki hemitoraksta tanımlı 6 farklı toplamda ise 12 bölge değerlendirilmekte ve her bir bölgedeki havalanma derecesine göre puan verilerek toplam puan hesaplanmaktadır (Resim 3). Bölgelerin belirlenmesi için her iki hemitorakstaki sternum kenarları ön aksiller çizgi, arka aksiller çizgi ve transvers orta hat çizgisi kullanılmaktadır. Klasik LUS skoru daha sonra modifiye edilerek kantitatif LUS skorlama sistemi geliştirilmiştir (32). Hem klasik hem de kantitatif LUS skorlama sistemine göre her bir torasik bölge için havalanmanın derecelendirilmesi Tablo 1'de gösterilmiştir. LUS skorlama sistemlerinde her bir bölgeden en fazla 3 puan alınabilmektedir, dolayısıyla toplam skor 0-36 arasında değişmektedir.

Klasik LUS skorlama sisteminde konveks veya phase array probe kullanılabilmekte ve prob longitudinal olarak toraks duvarına yerleştirilmektedir. Bu yöntemle elde edilen görüntü üzerinde kostaların altındaki plevra bölgesi gözlemlenmemektedir, bu

durum plevrayı bir bütün olarak değerlendirmeyi engellemektedir. Kantitatif LUS skorlama sisteminde ise linear prob kullanılmakta ve prob daha iyi bir değerlendirme için transvers olarak kostaların arasına yerleştirilmektedir. Bu durumda plevranın bir bütün olarak daha iyi değerlendirileceği ve ARDS, akciğer kontizyonu ve ventilatör ilişkili pnömoni takibinde daha iyi bilgi vereceği düşünülmektedir (32). Ancak bu bulguların ileri klinik çalışmalar ile desteklenmesi gerekmektedir.

LUS skorlama sistemine göre elde edilen toplam puanın traspulmoner termodilüsyon yöntemi ile hesaplanan ekstrasvasküler akciğer sıvısı ile linear korelasyona sahip olduğu gösterilmiştir (33). Başka bir çalışmada ise artan LUS skorları ile akciğer tomografisi ile değerlendirilen doku dansitesinin iyi korele olduğu tespit edilmiştir (34). Dolayısıyla ARDS hastalarında toplam LUS skoru arttıkça akciğerin havalanması azalmakta ve ağırlığı artmaktadır. LUS skorunun ARDS hastalarının takibinde kullanılması tedavi yanıtını değerlendirmede önemli bir araç

Resim 3. LUS skoru hesaplanırken kullanılan bölgelerin numaralandırılması.



Tablo 1. Klasik ve kantitatif LUS skorlama sistemine göre havalanma derecesinin değerlendirilmesi.

Sınıflama	Klasik sınıflama	Kantitatif sınıflama	Puan
Normal havalanma	A çizgileri görülebiliyor En fazla 2 adet B çizgisi var	A çizgileri görülebiliyor En fazla 2 adet B çizgisi var	0
Havalanmada ılımlı azalma	B çizgi sayısı ≥ 3 aralıkları belirgin	B çizgileri plevral alanın %50'sinden azını kaplıyor	1
Havalanmada ciddi azalma	Birleşmiş B çizgileri (konflue)	B çizgileri plevral alanın %50'si veya daha fazlasını kaplıyor	2
Havalanmanın tamamen kaybı	Hepatizasyon (Doku benzeri görünüm)	Hepatizasyon (Doku benzeri görünüm)	3

olarak görülmektedir. LUS skrolama sistemi aynı zamanda havalanmadaki azalmanın bölgesel olup olmadığını değerlendirilmesinde önemli olmaktadır. Süpin pozisyonda mekanik ventilatör ile takip edilen hastalarda posterior alanlarda havalanmanın azalmış ve anterior alanlarda ise havalanmanın normal tespit edilmesi arttırılacak PEEP (pozitif ekspirasyon sonu basınç) değerleri ile normal havalanan akciğer bölgelerindeki aşırı gerilme durumunu önceden tahmin edebilir ve bu hastalarda prone pozisyonlamanın hastalar için daha iyi olabileceği kararı verilebilir (35,36). LUS skrolama sistemi ilerleyen süreçte modifiye edilerek ARDS tanı koyma aracı olarak kullanımı önerilmiştir (37). Bu modifikasyon ile birlikte LUS-ARDS skrolama sistemi geliştirilmiştir (37). LUS-ARDS skrolama sisteminde klasik 12 bölgedeki havalanma durumunun değerlendirmesine ilave olarak anterolateral tanımlanmış 8 torasik bölgede bazı plevral anormallikler (anormal plevral hat, subplevral konsolidasyonlar, dinamik hava bronkogramları ve plevral efüzyon) araştırılarak toplamda 0-91 arası puanlama yapılabilmektedir. Yüksek (> 27) ve düşük (< 8) LUS-ARDS skorları hastaların büyük bir kısmında ARDS'yi doğru bir şekilde teşhis edebilme ve dışlayabilme açısından faydalı olduğu düşünülmektedir (32). Elde edilen bu bulguların büyük ölçekli çalışmalar ile desteklenmesi gerekmektedir.

ARDS hastalarında torasik ultrasonografinin bir diğer faydası ise komplikasyonların taranmasıdır (38). ARDS hastalarında gelişen yeni tedavi yöntemleri ve akciğer koruyucu ventilasyon stratejilerine rağmen pnömotoraks hayati tehlike oluşturan önemli bir komplikasyon olarak hala görülmeye devam edilmektedir (39). Dolayısıyla ARDS tanısı ile takip edilen hastalarda klinik şüphe oluştuğunda veya rutin değerlendirme sırasında torasik ultrasonografi yapılarak pnömotoraks varlığı tespit edilebilir veya dışlanabilir. Bunun dışında yeni yayınlanan bir meta-analizde ARDS hastalarında LUS skorundaki artışın hastane içi mortalite artışı için bağımsız bir risk faktörü olduğu belirtilmiştir (40).

WEANING'DE TORAKS ULTRASONOGRAFİSİNİN KULLANIMI

Spontan solunum denemesi gibi ekstübasyona uygunluğu belirlemeye yönelik yapılan testler başarısız olduklarında nedene yönelik herhangi bir açıklama yapmadan hastalarda sıklıkla nörolojik, solunumsal ve kardiyovasküler sistem üzerinde stres oluşturmalar. Weaning sürecindeki başarısızlık ve hasta üzerinde meydana gelen stres durumu yoğun bakım

hastalarında sık karşılaşılmaktadır. İnvaziv mekanik ventilasyon ile takip edilen hastalarda weaning başarısızlığı %15,6 olarak görülmekte ve hastaların %35'inde weaning başarısı ilk denemede sağlanamamaktadır (41). Dolayısıyla weaning süreci uygun hastalar üzerinde başlatılmalıdır. Bunun dışında weaning süreci sonunda hastaların değerlendirilerek weaning başarısızlığına neden olan problemin tespit edilmesi ve çözüme ulaştırılması önemlidir. Ultrasonografi ile weaning başarısızlığına sıklıkla neden olabilecek bazı spesifik durumlar tespit edilebilir. Bunlar azalmış havalanma/ventilasyon, pulmoner ödem, diyafragmatik disfonksiyon, geniş plevral efüzyonun varlığı ve larengeal ödemdir (7).

İnvaziv mekanik ventilasyon ile takip edilen hastalarda spontan solunum denemeleri sırasında intratorasik pozitif basınç ortandan kalkarak negatif intratorasik basınç gelişmektedir. Bu durum sağ ventriküle dönen kan miktarını arttırmakta ve sağ ventrikülün atım hacmini arttırmaya zorlamaktadır. Aynı zamanda spontan solunum denemeleri sırasında sedasyonun azalması ve artmış sempatik tonus ile birlikte kalbin ardyükü artmaktadır (42). Spontan solunum denemeleri sırasında artan solunum iş yükü ve artan oksijen gereksinimi kalp hızında ve kontraktilitesinde artışa neden olur. Dolayısıyla tüm bu faktörler spontan solunum denemeleri sırasında hem sağ hem de sol ventrikül üzerinde ek bir yük gelişmesine neden olur. Bu artmış kardiyak yük eğer bozulmuş kardiyak fonksiyon nedeniyle karşılanamaz ise (hem sistolik hem de diyastolik ventriküler disfonksiyon nedeniyle) weaning ilişkili pulmoner ödem (WIPO) gelişebilmektedir. Spontan solunum denemeleri sırasında WIPO'nun hastaların yarısından çoğunda gelişebildiği gösterilmiştir (43). WIPO gelişimi için altta yatan kardiyak hastalıklar, kronik solunum yetmezliği ve obezitenin bağımsız risk faktörü olduğu gösterilmiştir (9). Spontan solunum denemesi yapılan hastalarda denemenin sonunda yapılan torasik ultrasonografi ile hesaplanan LUS skoru ile WIPO gelişimi belirlenebilir, hangi hastaların ekstübasyon sonrası başarısızlık ile karşılaşacağı hangi hastalarda ekstübasyonun başarılı olacağı belirlenebilir. Spontan solunum denemesi sonunda 12 alan üzerinden hesaplanan toplam LUS skoru < 13 olması ekstübasyon başarısını öngörebilirken, LUS skoru > 17 olması ekstübasyon sonrası solunum sıkıntısını öngörebildiği belirtilmektedir (44). Başka bir çalışmada ise toplam LUS skoru ekstübe edildikten sonra solunum sıkıntısı gelişen hastalarda 18 iken ekstübasyon başarılı olan hasta grubunda ise 10 olarak tespit edilmiştir

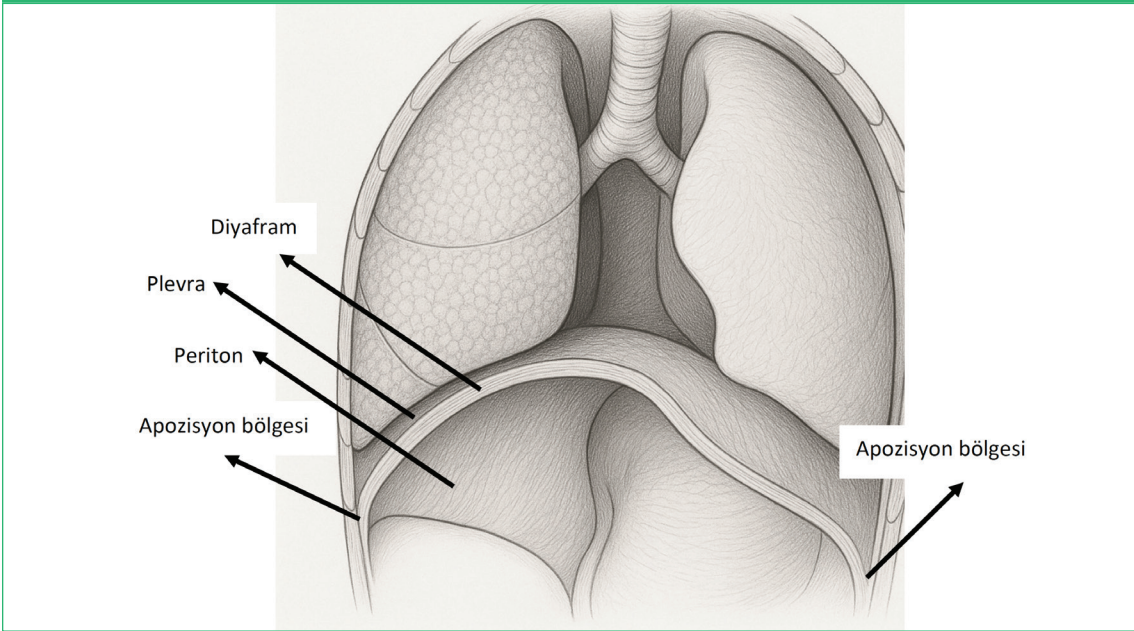
(45). WIPO'nun tüm akciğer alanlarında eşit bir etkiye sahip olacağı ön görmek mümkündür. Dolayısıyla yoğun bakımın iş akışı içerisinde her iki akciğerde toplam 12 alanın değerlendirilmesi mümkün değilse daha kısıtlı bir değerlendirme de yapılabilir. Bir çalışmada spontan solunum denemesi öncesi ve sonrasında akciğerin anterior 6 alanını kapsayan LUS skor değerlendirmesine göre B çizgisi sayısında 6 veya daha fazla artışın tespit edilmesi WIPO tanısı için yeterli olacağı belirtilmiştir (46). Yukarıda anlatılan çalışmalarda olduğu gibi sadece WIPO'ya bakılarak ekstübasyon başarısızlığını tahmin etmek yerine ekokardiyografi ve diafragmatik ultrasonografinin de dahil edildiği daha detaylı bir değerlendirmenin ekstübasyon sonrası başarısızlığı öngörmeye daha başarılı olacağı belirtilmektedir (47). Spontan solunum denemesi yapılan hastalarda LUS skorlama sistemi ile yapılacak değerlendirme ekstübasyon başarısızlığını öngörmeye ve karar vermede klinisyene yardımcı olacaktır. Ancak LUS skorlama sistemi dahil, ekokardiyografik ve diyafragmatik ultrasonografi ile değerlendirme için iyi bir eğitim ve tecrübe gerektiği de unutulmamalıdır.

Weaning başarısızlığının önemli bir diğer nedeni diyafram disfonksiyonudur. Diyafram en önemli inspiratuvar kastır ve inspirasyon sırasında harcanan eforun büyük bir kısmından sorumludur. Yoğun bakımda çeşitli sebeplerle artmış enflemasyon ve oksidatif stres diyafram kasında proteolize neden olmakta bununla birlikte invaziv mekanik ventilatör (IMV) ile takip sırasında diyafram kasının kullanılmaması diyafram kasında ciddi ve hızlı (ventilatöre bağlandıktan sonraki ilk 6 ile 18 saat içerisinde) kas gücü kaybı ve zamanla atrofiye neden olabilmektedir (48). Bu durum ventilatör ile ilişkili diyafram disfonksiyonu (VIDD) olarak tanımlanmaktadır. Yoğun bakımda takip edilen hastaların yarısından fazlasının VIDD ile yüzleştiği düşünülmektedir (7). Yine IMV ile takip edilen hastalarda diyafram kasının kalınlığında günlük %6'lık bir azalma olduğu gösterilmiştir (49). VIDD alta yatan polinöropati/miyopati durumlarında daha belirgin hale gelebilir. Çizgili kas üzerinde olumsuz etkiye sahip steroid kullanımı, nöromusküler blokan ajan kullanımı, pnömoni ve sepsis gibi enflemasyonu arttıran durumlar VIDD gelişimine katkı sağlar. Yoğun bakımda IMV ile takipli olan ve VIDD gelişen hastaların yarısında sepsisin önemli katkı sağladığı düşünülmektedir (50). Dolayısıyla yoğun bakımda diyafram disfonksiyon gelişimi için iki önemli risk faktörü sepsis ve invaziv mekanik ventilasyon kullanımı olarak özetlenebilir. Yoğun bakımda

diyafram disfonksiyonu gelişimi prognostik öneme sahiptir, VIDD ile artmış ekstübasyon başarısızlığı, uzamış mekanik ventilatör gereksinimi ve artmış mortalite hızı ilişkilidir (51,52). Bununla birlikte IMV ile takip edilen hastaların VIDD gelişimi açısından monitorize edilmesi ve inspiratuvar eforun takip edilerek optimize edilmesi VIDD gelişimini engellenebilir (53).

Diyafram toraks boşluğu ve abdomen boşluğunu birbirinden ayıran içerisinde tendinöz kısım (santral tendon) da barındıran bir kastır. Torakal boşluğa bakan kısmı plevra abdominbal boşluğa bakan kısmı ise periton ile kaplıdır (54). Diyafram anteriorda sternum, lateralde 6. kaburga, anteromedial kısımda kostal kartilajlar ve posteriorda ise 3. lomber vertebra korpusunun süperioruna tutunmaktadır. Diyafram kas lifleri merkezde v şeklindeki santral tendona tutunmaktadır. Santral tendon tüm diafragmatik yüzeyin %10-35'ini oluşturur ve kontraksiyon özelliği yoktur (55). Santral tendon ince ancak sağlam yapıdadır ve içerisinde vena cava inferior, desenden aorta ve özofagusun geçişine izin veren hiatuslar bulunur. Diyaframın göğüs kafesinin alt kısmına tutunduğu bölgede diyafram kası ile göğüs kafesi paralel bir hal alarak birbirlerine temas halinde seyrederler, bu bölgeye apozisyon bölgesi (zone of apposition) denilmektedir (Resim 4). Apozisyon bölgesi nispeten kas kalınlığının istikrarlı seyrettiği ve ultrasonografik ölçümlerin yapılmasına olanak veren uygun bir bölgedir (Video12,13). Diyafram yapısı ve fonksiyonlarının ultrasonografi ile değerlendirilmesi için kullanılacak olan parametreler diyafram kalınlığı, diyafragmatik eksursiyon (DE), diyafragmatik kalınlaşma fraksiyonu (DKF) ölçümü ve RSBI (Rapid Shallow Breathing Index) ölçümü sırasında elde edilen parametreler olan DE-RSBI (frekans/DE), DKF-RSBI (frekans/DKF) olarak özetlenebilir (7). Bu parametrelerin ölçüm yöntemleri ve klinik önemleri sırasıyla açıklanacaktır.

Diyafram kalınlığı (DK) ve DKF apozisyon bölgesinden ölçülür. Bunun için hasta yarı yatar pozisyonda iken apozisyon bölgesine karşılık gelen bölge yani 8-11. interkostal aralık ve mid-aksiller hat ile orta aksiller hat dahil arasındaki bölge ölçüm için kullanılır. Ölçüm için linear prob kullanılır. Prob ön ayarı olarak muskuloskeletal preset seçilir. Bu bölgeye prob longitudinal olarak (kaudokraniyal) yerleştirilir. Cildin 1-5 santimere altında B-mod görüntüde yukarıda plevraya ait hiperekojen görüntü ve aşağıda ise peritona ait hiperekojen görüntü arasında yatay olarak seyretmekte olan diyafram kası görüntüsü araştırılır.

Resim 4. Apozisyon bölgesinin kesitsel görüntüsü (Zone of apposition).

Eğer diyafram kası görüntüde yere paralel olarak uzanıyorsa B-mod veya M-mod ile ölçümler alınabilir, ölçümler alınırken plevra ve peritona ait hiperekojen hat ölçümlere dahil edilmez. Eğer diyafram kası görüntüde yere paralel olarak uzanmıyorsa B-mod içerisinde diyafram kasının seyrine dik olarak ölçümler alınmalıdır. Bu durumda kası oblik keseceği için M-mod görüntüleme kullanılmaz. Ölçümler ekspiryum sonunda alınır. Diyafram kası kalınlığının yoğun bakımda hastalarında 2.4 (2.0-2.9) milimetre (mm) olduğu ve 1.7 mm'nin altındaki değerlerin patolojik olduğu daha önce yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (56,57). DKF ölçümü için benzer şekilde ölçümler hem inspiryum sonunda (DK_{insp}) hem ekspiryum sonunda (DK_{eksp}) olacak şekilde alınır. M-mod kullanımı uygunsa cihazın tarama hızı (sweep speed) azaltılarak hem inspiryumda hem de ekspiryumdaki diyafram kasının kalınlık değişimi yatay hat üzerinde aynı görüntü içerisinde gözlemlenebilir (Video14). Diyafram inspiryum sonunda kasılarak kalınlaşır ve ekspiryum sonunda inceler. DKF (%) = $[(DK_{insp} - DK_{eksp}) \times 100] / DK_{eksp}$ formülü ile diyafragmatik kalınlaşma fraksiyonu ölçülür. DKF kasın fonksiyonu açısından önemli bilgi verir. DKF'nin %20'den fazla olması ekstübasyon başarısını öngörmede kullanılabileceği belirtilmiştir (58). Yine DKF'nin %20'den az olması diyafram disfonksiyonu için bir belirteçtir. DKF'nin invaziv mekanik ventilasyon ile takipli hastalarda spontan solunum denemelerinin sonunda ekstübasyon öncesi dönemde ölçülebileceği gibi, günlük değişimler halinde basınç destek modunda azalan

basınç değerleri ile birlikte diyafragmatik fonksiyonları değerlendirmek için de kullanılabilir.

Diyafragmatik eksürsion ölçümü için hasta yarı oturur pozisyona alınır. Ölçümler phase-array veya konveks (abdominal) prob gibi düşük frekanslı (2-5 MegaHertz) probalar ile yapılır. Ölçümler için prob midklavikular hat üzerinde subkostal alana transvers olarak yerleştirilir ve probun ucu hastanın başına bakacak şekilde şekilde açlandırılır. Açılma sırasında diyaframa dik olarak kesitler alınmaya çalışılır. Elde edilen görüntüye bakılarak diyaframın kubbesinin görüntüye düşürülmesi sağlanır, bunun için prob açlandırılarak (tilt manevrası) prob ile diyafram kasının en uzak kısmı görüntüye düşürülmeye çalışılır. B-mod görüntülemeye diyafram açıklığı yukarı bakan hiperokejen bir yay olarak hemen karaciğerin veya dalağın altında görülür ve inspirasyon ile birlikte proba yaklaşırken (B-mod görüntüde aşağıdan yukarı doğru hareket eder) ekspirasyon ile birlikte probtan uzaklaşır (B-mod görüntüde yukarıdan aşağı doğru hareket eder). Sağ hemidiyafram daha rahat görüntülenebilirken sol hemidiyafram mide gazının akustik empedansı arttırması ve dalak ile diyafram komşuluğunun daha küçük anatomik bir bölgede gerçekleşmesi sebebiyle her zaman görüntülenemez. Kaliteli bir B-mod görüntüleme elde edildikten sonra M-mod'a ait hat diyafram kubbesini kesecek şekilde yerleştirilir (Video15). Tarama hızı (sweep speed) genellikle 10 mm/sn olarak ayarlanması uygun olacaktır. Aynı görüntüde mümkünse en

az ardışık 3 solunum döngüsünün girmesi sağlanır. Elde edilen görüntü üzerinden mesafe ölçümü kullanılarak diaframın her bir solunum döngüsünde proba yaklaşma miktarı ölçülür. IMV ile takip edilen hastalarda DE spontan solunum denemesi sırasında veya basınç destek modunda (minimal basınç desteği ile) ölçülmelidir. Ölçümler dinlenim halinde ve hasta kooperasyonu var ise maksimal efor sırasında veya sniff manevrası sırasında da yapılabilir. Bir çalışmada invaziv mekanik ventilasyon ve basınç destek modunda (10-12 cmH₂O'luk bir basınç desteği ile) takip edilen hastalarda dinlenim halinde DE'nin ≤ 1.1 cm olması weaning başarısızlığını öngörmeye kullanılabileceği bildirilmiştir (59).

Bilindiği üzere hızlı yüzeyel solunum indeksi (RSBI) weaning başarısızlığını öngörmek üzere yoğun bakım pratiğinde sıklıkla kullanılmaktadır (60). RSBI ölçümü sırasında tidal hacim yerine DE veya DKF ölçümleri kullanılarak modifiye edilmiş indeksler elde edilmiştir ve bunlar sırasıyla DE-RSBI ve DKF-RSBI olarak isimlendirilmektedir. Bir çalışmada 30 dakikalık ventilatör altındaki spontan solunum denemesini başarı ile atlatan hastalarda ölçülen solunum sayısı (f), DE ve DKF değerleri ile birlikte DE-RSBI= f/DE ve DKF-RSBI= f/DKF değerleri elde edilmiş ve DE-RSBI > 1.38 veya DKF-RSBI > 78.1 olması weaning başarısızlığı için birer belirteç olarak tespit edilmiş (61). Ancak DE-RSBI ve DKF-RSBI'nin yoğun bakımlarda weaning sürecinde kullanımına dair veriler son derece kısıtlıdır ve kesin kanıya varabilmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ultrasonografi ile weaning veya ekstübasyon başarısını ön görmek üzere çeşitli ölçümler tanımlanmış olsa da bunlar arasında güncel verilere göre tanısal etkinliği en iyi olan ve klinik kullanımda önerilebilecek yöntem spontan solunum denemesini takiben yapılan DKF ölçümüdür (62).

Weaning planlanan hastalarda plevral effüzyonun varlığı araştırılmalıdır. Bir çalışmada plevral effüzyonun yoğun bakım hastalarında sıklıkla tespit edilen bir durum olduğu ve olumsuz weaning sonuçları ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (63). Aynı çalışmada orta düzeyli plevral effüzyon (maksimal interplevral aralık ≥ 15 mm, 300 mL plevral effüzyona eşdeğer) hastaların yarısında tespit edilmiş ve orta düzeyli plevral effüzyon tespit edilen hastaların yarısında weaning başarısızlığı geliştiği tespit edilmiştir. Bir diğer çalışmada weaning sürecinde tek taraflı plevral effüzyonun boşaltılması ile diyafragmatik kontraktilitenin arttığı gösterilmiştir (64). Weaning sürecinde plevral effüzyon varlığının araştırılması ve altta yatan ne-

denin tedavi edilerek plevral effüzyonun giderilmesi veya gerekli durumlarda plevral effüzyonun direne edilmesinin weaning başarısını arttıracak aşıkardır. Plevral effüzyonun hem takip hem de direnaja aşamasında ultrasonografi yatak başı kolay kullanılabilir ve radyasyon içermeyen bir yöntem olarak tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Demi L, Wolfram F, Klersy C, et al. New International Guidelines and Consensus on the Use of Lung Ultrasound. *J Ultrasound Med* 2023;42:309-344. doi: 10.1002/jum.16088.
2. Campbell SJ, Bechara R, Islam S. Point-of-Care Ultrasound in the Intensive Care Unit. *Clin Chest Med* 2018;39:79-97. doi: 10.1016/j.ccm.2017.11.005.
3. Marini TJ, Rubens DJ, Zhao YT, et al. Lung Ultrasound: The Essentials. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2021;3:e200564. doi: 10.1148/ryct.2021200564.
4. Xirouchaki N, Kondili E, Prinianakis G, et al. Impact of lung ultrasound on clinical decision making in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2014;40:57-65. doi: 10.1007/s00134-013-3133-3.
5. Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest* 2015;147:1659-1670. doi: 10.1378/chest.14-1313.
6. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest* 2018;153:1040-1051. doi: 10.1016/j.chest.2017.08.1157.
7. Sepúlveda P, Gallardo A, Arriagada R, et al. Weaning failure from mechanical ventilation: a scoping review of the utility of ultrasonography in the weaning process. *Br J Anaesth* 2025;26:S0007-0912(25)00145-X. doi: 10.1016/j.bja.2025.02.024.
8. Lee FC. Lung ultrasound-a primary survey of the acutely dyspneic patient. *J Intensive Care* 2016;4:57. doi: 10.1186/s40560-016-0180-1.
9. Louvet A, Bourgeois JM. Lung ring-down artifact as a sign of pulmonary alveolar-interstitial disease. *Vet Radiol Ultrasound* 2008;49:374-7. doi: 10.1111/j.1740-8261.2008.00384.x.
10. Volpicelli G, Boero E, Stefanone V, Storti E. Unusual new signs of pneumothorax at lung ultrasound. *Crit Ultrasound J* 2013;5:10. doi: 10.1186/2036-7902-5-10.
11. Han J, Xiang H, Ridley WE, Ridley LJ. Jellyfish sign: Pleural effusion. *J Med Imaging Radiat Oncol* 2018;62 Suppl 1:33. doi: 10.1111/1754-9485.20_12785.
12. Mojoli F, Bouhemad B, Mongodi S, Lichtenstein D. Lung Ultrasound for Critically Ill Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 2019;199:701-714. doi: 10.1164/rccm.201802-0236CI.
13. Lichtenstein D. Novel approaches to ultrasonography of the lung and pleural space: where are we now? *Breathe (Sheff)* 2017;13:100-111. doi: 10.1183/20734735.004717.
14. Chen L, Rackley CR. Diagnosis and Epidemiology of Acute Respiratory Failure. *Crit Care Clin* 2024;40:221-233. doi: 10.1016/j.ccc.2023.12.001.

15. Kempker JA, Abril MK, Chen Y, et al. The Epidemiology of Respiratory Failure in the United States 2002-2017: A Serial Cross-Sectional Study. *Crit Care Explor* 2020;2:e0128. doi: 10.1097/CCE.0000000000000128.
16. Wallbridge P, Steinfort D, Tay TR, et al. Diagnostic chest ultrasound for acute respiratory failure. *Respir Med* 2018;141:26-36. doi: 10.1016/j.rmed.2018.06.018.
17. Nazerian P, Volpicelli G, Vanni S, et al. Accuracy of lung ultrasound for the diagnosis of consolidations when compared to chest computed tomography. *Am J Emerg Med* 2015;33:620-5. doi: 10.1016/j.ajem.2015.01.035.
18. Xirouchaki N, Pediaditis M, Proklou A, Georgopoulos D. Tree-like colour Doppler in diagnosing pneumonia in critically ill: a picture is worth a thousand words. *Intensive Care Med* 2018;44:494-495. doi: 10.1007/s00134-017-5019-2.
19. Bouhemad B, Liu ZH, Arbelot C, et al. Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reabsorption in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med* 2010;38:84-92. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181b08cdb.
20. Chen W, Xu K, Li Y, et al. Clinical value of thoracic ultrasonography in the diagnosis of pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Med Ultrason* 2022;24:226-234. doi: 10.11152/mu-3049.
21. Moya Mateo E, Muñoz Rivas N. Clinical ultrasonography in venous thromboembolism disease. *Rev Clin Esp (Barc)* 2020;220:126-134. English, Spanish. doi: 10.1016/j.rce.2019.05.014.
22. Sugibayashi T, Walston SL, Matsumoto T, et al. Deep learning for pneumothorax diagnosis: a systematic review and meta-analysis. *Eur Respir Rev* 2023;32:220259. doi: 10.1183/16000617.0259-2022.
23. Brar MS, Bains I, Brunet G, et al. Occult pneumothoraces truly occult or simply missed: redux. *J Trauma* 2010;69:1335-7.
24. Sheng B, Tao L, Zhong C, Gao L. Comparing the Diagnostic Performance of Lung Ultrasonography and Chest Radiography for Detecting Pneumothorax in Patients with Trauma: A Meta-Analysis. *Respiration* 2025;104:161-175. doi: 10.1159/000540777.
25. Wick KD, Ware LB, Matthay MA. Acute respiratory distress syndrome. *BMJ* 2024;387:e076612. doi: 10.1136/bmj-2023-076612.
26. Bellani G, Laffey JG, Pham T, Fan E, et al; LUNG SAFE Investigators; ESICM Trials Group. Epidemiology, Patterns of Care, and Mortality for Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome in Intensive Care Units in 50 Countries. *JAMA* 2016;315:788-800. doi: 10.1001/jama.2016.0291.
27. Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA*. 2012;307:2526-33. doi: 10.1001/jama.2012.5669.
28. Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, et al. A New Global Definition of Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 2024;209:37-47. doi: 10.1164/rccm.202303-0558WS.
29. Pesenti A, Musch G, Lichtenstein D, et al. Imaging in acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 2016;42:686-698. doi: 10.1007/s00134-016-4328-1.
30. Reissig A, Kroegel C. Transthoracic sonography of diffuse parenchymal lung disease: the role of comet tail artifacts. *J Ultrasound Med* 2003;22:173-80. doi: 10.7863/jum.2003.22.2.173.
31. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, et al; International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 2012;38:577-91. doi: 10.1007/s00134-012-2513-4.
32. Berry L, Rehnberg L, Groves P, et al. Lung Ultrasound in Critical Care: A Narrative Review. *Diagnostics (Basel)* 2025;15:755. doi: 10.3390/diagnostics15060755.
33. Anile A, Russo J, Castiglione G, Volpicelli G. A simplified lung ultrasound approach to detect increased extravascular lung water in critically ill patients. *Crit Ultrasound J* 2017;9:13. doi: 10.1186/s13089-017-0068-x.
34. Chiumello D, Mongodi S, Algieri I, et al. Assessment of Lung Aeration and Recruitment by CT Scan and Ultrasound in Acute Respiratory Distress Syndrome Patients. *Crit Care Med* 2018;46:1761-1768. doi: 10.1097/CCM.0000000000003340.
35. Bouhemad B, Mongodi S, Via G, Rouquette I. Ultrasound for "lung monitoring" of ventilated patients. *Anesthesiology* 2015;122:437-47. doi: 10.1097/ALN.0000000000000558.
36. Prat G, Guinard S, Bizien N, et al. Can lung ultrasonography predict prone positioning response in acute respiratory distress syndrome patients? *J Crit Care* 2016;32:36-41. doi: 10.1016/j.jcrc.2015.12.015.
37. Smit MR, Hagens LA, Heijnen NFL, et al; DARTS Consortium members. Lung Ultrasound Prediction Model for Acute Respiratory Distress Syndrome: A Multicenter Prospective Observational Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2023;207:1591-1601. doi: 10.1164/rccm.202210-1882OC.
38. Smit MR, Mayo PH, Mongodi S. Lung ultrasound for diagnosis and management of ARDS. *Intensive Care Med* 2024;50:1143-1145. doi: 10.1007/s00134-024-07422-7.
39. Teo YX, Geetha HS, Mishra AK, Lal A. Pneumomediastinum and pneumothorax in acute respiratory distress syndrome (ARDS) patients: a narrative review. *Mediastinum* 2023;8:3. doi: 10.21037/med-23-39.
40. Wang D, Qi Y. Lung ultrasound score and in-hospital mortality of adults with acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *BMC Pulm Med* 2024;24:62. doi: 10.1186/s12890-023-02826-5.
41. Pham T, Heunks L, Bellani G, et al; WEAN SAFE Investigators. Weaning from mechanical ventilation in intensive care units across 50 countries (WEAN SAFE): a multicentre, prospective, observational cohort study. *Lancet Respir Med* 2023;11:465-476. doi: 10.1016/S2213-2600(22)00449-0.
42. Santangelo E, Mongodi S, Bouhemad B, Mojoli F. The weaning from mechanical ventilation: a comprehensive ultrasound approach. *Curr Opin Crit Care* 2022;28:322-330. doi: 10.1097/MCC.0000000000000941.
43. Liu J, Shen F, Teboul JL, et al. Cardiac dysfunction induced by weaning from mechanical ventilation: incidence, risk factors, and effects of fluid removal. *Crit Care* 2016;20:369. doi: 10.1186/s13054-016-1533-9.

44. Soummer A, Perbet S, Brisson H, et al. Lung Ultrasound Study Group. Ultrasound assessment of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress*. *Crit Care Med* 2012;40:2064-72. doi: 10.1097/CCM.0b013e31824e68ae.
45. Jabaudon M, Perbet S, Pereira B, et al. Plasma levels of sRAGE, loss of aeration and weaning failure in ICU patients: a prospective observational multicenter study. *PLoS One* 2013;8:e64083. doi: 10.1371/journal.pone.0064083.
46. Ferré A, Guillot M, Lichtenstein D, et al. Lung ultrasound allows the diagnosis of weaning-induced pulmonary oedema. *Intensive Care Med* 2019;45:601-608. doi: 10.1007/s00134-019-05573-6.
47. Silva S, Ait Aissa D, Cocquet P, et al. Combined Thoracic Ultrasound Assessment during a Successful Weaning Trial Predicts Postextubation Distress. *Anesthesiology* 2017;127:666-674. doi: 10.1097/ALN.0000000000001773.
48. Khwaja SA, Habib MA, Gupta R, et al. Unraveling Ventilator-Induced Diaphragmatic Dysfunction: A Comprehensive Narrative Review on Pathogenesis, Diagnosis and Management of Ventilator-Induced Diaphragmatic Dysfunction. *Physiother Res Int* 2025;30:e70046. doi: 10.1002/pri.70046.
49. Grosu HB, Lee YI, Lee J, et al. Diaphragm muscle thinning in patients who are mechanically ventilated. *Chest* 2012;142:1455-1460. doi: 10.1378/chest.11-1638.
50. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact-a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;188:213-9. doi: 10.1164/rccm.201209-1668OC.
51. Nakanishi N, Oto J, Ueno Y, et al. Change in diaphragm and intercostal muscle thickness in mechanically ventilated patients: a prospective observational ultrasonography study. *J Intensive Care* 2019;7:56. doi: 10.1186/s40560-019-0410-4.
52. Dres M, Dubé BP, Mayaux J, et al. Coexistence and Impact of Limb Muscle and Diaphragm Weakness at Time of Liberation from Mechanical Ventilation in Medical Intensive Care Unit Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 2017;195:57-66. doi: 10.1164/rccm.201602-0367OC.
53. Goligher EC, Fan E, Herridge MS, et al. Evolution of Diaphragm Thickness during Mechanical Ventilation. Impact of Inspiratory Effort. *Am J Respir Crit Care Med* 2015;192:1080-8. doi: 10.1164/rccm.201503-0620OC.
54. Lessa TB, de Abreu DK, Bertassoli BM, Ambrósio CE. Diaphragm: A vital respiratory muscle in mammals. *Ann Anat* 2016;205:122-7. doi: 10.1016/j.aanat.2016.03.008.
55. du Plessis M, Ramai D, Shah S, et al. The clinical anatomy of the musculotendinous part of the diaphragm. *Surg Radiol Anat* 2015;37:1013-20. doi: 10.1007/s00276-015-1481-0.
56. Vivier E, Roussey A, Doroszewski F, et al. Atrophy of Diaphragm and Pectoral Muscles in Critically Ill Patients. *Anesthesiology* 2019;131:569-579. doi: 10.1097/ALN.0000000000002737.
57. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax* 2014;69:423-7. doi: 10.1136/thoraxjnl-2013-204111.
58. Laguado-Nieto MA, Roberto-Avilán SL, Naranjo-Junoy F, et al. Diaphragmatic Dynamics and Thickness Parameters Assessed by Ultrasonography Predict Extubation Success in Critically Ill Patients. *Clin Med Insights Circ Respir Pulm Med* 2023;17:11795484231165940. doi: 10.1177/11795484231165940.
59. Huang D, Song F, Luo B, et al. Using automatic speckle tracking imaging to measure diaphragm excursion and predict the outcome of mechanical ventilation weaning. *Crit Care* 2023;27:18. doi: 10.1186/s13054-022-04288-3.
60. Sterr F, Reintke M, Bauernfeind L, et al. Predictors of weaning failure in ventilated intensive care patients: a systematic evidence map. *Crit Care* 2024;28:366. doi: 10.1186/s13054-024-05135-3.
61. Song J, Qian Z, Zhang H, et al. Diaphragmatic ultrasonography-based rapid shallow breathing index for predicting weaning outcome during a pressure support ventilation spontaneous breathing trial. *BMC Pulm Med* 2022;22:337. doi: 10.1186/s12890-022-02133-5.
62. Mahmoodpoor A, Fouladi S, Ramouz A, et al. Diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Anaesthesiol Intensive Ther* 2022;54:164-174. doi: 10.5114/ait.2022.117273.
63. Razazi K, Boissier F, Neuville M, et al. Pleural effusion during weaning from mechanical ventilation: A prospective observational multicenter study. *Ann Intensive Care* 2018;8:103. doi: 10.1186/s13613-018-0446-y.
64. Umbrello M, Mistraletti G, Galimberti A, et al. Drainage of pleural effusion improves diaphragmatic function in mechanically ventilated patients. *Crit Care Resusc* 2017;19:64-70.