

흉부외과 수술을 위한 폐초음파

안현주

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 마취통증의학교실

Lung ultrasonography for thoracic surgery

Hyun Joo Ahn

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Received December 5, 2018
Accepted December 20, 2018

Corresponding author

Hyun Joo Ahn, M.D., Ph.D.
Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Samsung Medical Center, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 06351, Korea
Tel: 82-2-3410-0784
Fax: 82-2-3410-6626
E-mail: hyunjooahn@skku.edu
ORCID
https://orcid.org/0000-0003-1576-5308

Patients undergoing thoracic surgery show various lesions such as chronic obstructive lung diseases, pleural adhesion, pneumonia, acute respiratory distress syndrome, atelectasis, pleural effusion, pulmonary edema, and pneumothorax throughout preoperative, operative, and recovery periods. Therefore, lung ultrasonography has potential for perioperative use in thoracic surgery. Benefits of lung ultrasonography over conventional chest X-ray are convincing. First, ultrasonography has higher sensitivity than X-ray in various lesions. Second, it can be performed at bed side to obtain diagnosis immediately. Third, it does not expose patients to radiologic hazard. If anesthesiologists can obtain necessary skills and perform lung ultrasonography as a routine evaluation process for patients, territory of anesthesia would become broader and patients would obtain more benefit.

Keywords: Pneumothorax; Pulmonary atelectasis; Thoracic surgery; Ultrasonography.

서 론

흉부외과 수술에서 폐초음파가 필요한 이유는 폐수술 후 환자들은 일상 진료 프로토콜대로 중환자실에서 하루 두 차례 흉부 X선 촬영을 받고 병실로 이동해서도 퇴원 시까지 매일 흉부 X선 촬영을 받아야 하기 때문이다. 만약 환자의 상태가 나쁘다면 그 빈도는 더 늘어난다. 폐초음파를 시행하면 이런 잦은 방사선 노출에 의한 위험과 비용을 줄일 수 있다[1]. 또한, 촬영을 위해 환자가 이동해야 하는 번거로움과 이에 필요한 인력의 낭비, 촬영과 판독까지의 지체와 간혹 저장된 영상이 제때 확인되지 않아 중요한 진단이 늦어지는 경우를 피할 수 있다. 다른 예로 중환자실에서 인공호흡기에 의존하고 있는 환자가 쇼크 증상을 보일 때 기흉이 의심된다면 현재는 응급으로 흉부 X선 촬영을 신청한다. 일초가 아쉬운 순간에 초조한 마음으로 흉부촬영을 기다리는 상황을 떠올려 본다면 그와 다른 상황, 즉 그 자리에서 즉시

초음파 탐촉자를 의심되는 부위에 놓고 몇 초 만에 기흉을 진단해 낼 수 있는 상황은 폐초음파의 필요성을 대변한다. 이렇게 절약된 몇 분의 시간이 어떤 경우에는 환자의 예후에 엄청난 차이를 가져올 수도 있다.

폐초음파는 2012년에 이미 그 사용에 대해 국제적 합의가 도출되었다[2]. 이후 응급실과 중환자실을 중심으로 서서히 시행 빈도가 늘고 있지만, 아직도 임상에 널리 활용되지 못하고 많은 부분이 미개척 상태에 놓여 있다. 폐초음파가 진단 민감도가 높고 방사선 노출의 위험이 없으며 환자의 침상 곁에서 시행이 가능하고, 비침습적이며 빠르게 검사를 실시할 수 있다는 장점에 불구하고 아직도 임상에서 널리 사용되지 못하고 있는 이유는 무엇일까? 아마도 가장 큰 이유는 마취통증의학과 교육과정에 폐초음파에 대한 내용이 없고 따라서 우리들의 경험이 일천하기 때문일 것이다[3]. 초음파를 사용한 진단은 내과 의사, 산부인과 의사, 영상의학과 의사에게 속했던 일이었다. 그러나 심장

수술을 위한 경식도초음파도 처음에는 순환기 내과 의사에 의해서 수술장에서 시행되었다. 이후 마취통증의학과 내에 경식도 초음파에 대한 많은 자체 교육과정이 생겼고 경험이 축적됨에 따라서 수술장에서 마취통증의학과 의사가 직접 경식도초음파를 시행하는 것이 당연하게 되었다. 이렇게 되기까지 수십 년이 걸렸다. 이에 비해 초음파는 이미 마취통증의학과 통증 및 부위마취 파트에서 널리 사용되고 있고 혈관 확보에도 자주 사용되고 있기 때문에 진입장벽이 있다 하여도 높지는 않을 것이다. 선배 의사들의 의지와 적극적인 참여만 있다면 폐초음파를 이용한 진단은 마취통증의학과 내에서 급속하게 확산될 것으로 생각한다. 두 번째 이유는 기술적인 것으로 폐초음파 영상이 다른 영상과 너무 다르다는 것이다. 폐초음파에서 탐촉자를 통해 우리가 보는 것은 허상이다. 폐는 조직으로 딱 찬 복부와 달리 대부분이 공기로 가득 차 있다. 공기는 초음파를 모두 반사한다. 그래서 폐초음파는 다른 고형 기관을 위한 초음파와는 달리 폐 자체를 보는 것이 아니라 폐의 허상을 보고 진단한다. 현재까지 의미 있다고 알려진 폐의 허상은 몇 가지뿐으로 임상 양상과 몇 가지 허상의 분포 및 형태를 이용하여 진단한다. 그런 의미에서 폐초음파는 매우 단순하다. 그러나 탐촉자의 미세한 각도 변화만으로도 다른 진단을 내리게 되는 예민한 검사이며 허상을 다루다 보니 비교적 많은 경험을 필요로 한다. 현재까지 저자의 경험으로

는 폐초음파는 병명을 도출한다기보다는 폐의 상태를 묘사하는데 가깝다고 생각된다.

폐초음파가 사용된 지 오래되지 않았고 미개척 영역이 대부분이라는 것을 감안하면 흉부외과 수술 마취는 폐초음파의 교육과 사용의 확대에 크게 기여할 수 있다. 환자들은 수술 전 다양한 폐초음파 병변을 보여주고 그와 대조해 볼 수 있는 흉부 X선이나 컴퓨터단층촬영 영상이 항상 갖추어져 있다. 또한, 수술 후 다양한 폐합병증을 보일 수 있으므로 이러한 환자들의 병변을 자세히 관찰하고 기존의 다른 영상 등과 대조해 가며 공부하면 빠른 시일 내에 폐초음파에 대해 학습할 수 있다.

본 저자는 이번 종설을 통해 흉부외과 수술 마취 전 후 관찰되는 몇 가지 주요 폐초음파 병변을 간단히 요약하고 향후 폐초음파에 대해 독자들의 관심을 유도하고자 한다.

폐초음파에서 사용하는 탐촉자

Convex transducer와 microconvex transducer가 가장 많이 사용된다. 다만 기흉을 보기 위해서는 linear transducer가 선호된다. 폐초음파를 위해 가장 적합한 gain, grey scale 등에 대해 합의된 바는 없으나 초음파장비의 setting이 폐초음파에 크게 영향을 미치지 않는다.

Table 1. Various Transducer Positions

Author	Division of each hemithorax
Volpicelli et al. [2]	Four areas delineated by the parasternal, anterior axillary and posterior axillary lines, and by a horizontal line passing approximately in the second-third inter-costal space
Lichtenstein and Mezière [4]	Six areas: anterior upper half, anterior lower half (supine patient); lateral upper half, lateral lower half (semirecumbent patient); posterolateral upper half, posterolateral lower half
Cattarossi [5] (for children)	Three major areas (anterior, lateral and posterior) delineated by the parasternal, anterior axillary and posterior axillary line
Picano et al. [6]	Twenty-eight scanning sites delineated by parasternal, mid-clavicular, anterior axillary and midaxillary lines, from the second to the fifth (on the left side to the fourth) inter-costal space

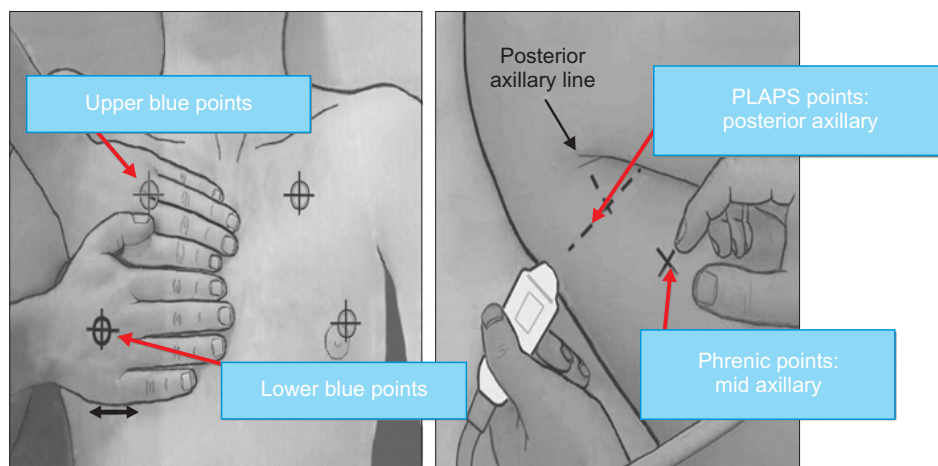


Fig. 1. Position of transducer, Lichtenstein method. PLAPS: posterolateral alveolar and/or pleural syndrome.

탐촉자 위치

Table 1과 같은 여러 위치가 제안되고 있고 Lichtenstein 방법이 최초로 제시된 방법이다[4-6]. 마취통증의학과 의사의 입장에서 Lichtenstein이 제창한 upper blue point, lower blue point, phrenic point, PLAPS (posterolateral alveolar and/or pleural syndrome) point 네 군데를 살펴보는 것이 빠른 검사를 위해 적합해 보인다(Fig. 1).

Lichtenstein 방법은 양손을 검사하는 쪽 전 흉부에 그림(Fig. 1)과 같이 펼쳤을 때 upper blue point는 위쪽 손 3-4번째 손가락 사이, lower blue point는 아래쪽 손 장심, phrenic point는 아래쪽 손 새끼손가락 아래 라인을 mid axillary line과 연결하는 점, PLAPS point는 lower blue point를 posterior axillary line과 연결하는 점이다. PLAPS point는 하부 폐의 기저를 관찰하기 위한 것으로 환자 상체를 살짝 앞으로 기울이게 하여 침상과 환자의 상체가 뜨게 한 후 침상에 탐촉자를 왼 손의 손등을 갖다 대고 탐촉자를 사선방향으로 위를 향하게 한다. 이곳에서 경화와 흉막삼출을 잘 관찰할 수 있다. Upper blue point에서는 기흉이 잘 관찰된다.

폐초음파 기본 영상

· BAT sign: 탐촉자를 늑간에 수직으로 두면 늑골이 화면의 좌우에 나타나고 그 사이에 하얗게 빛나는 흉막을 볼 수 있다. 박쥐가 날개를 펼친 모양과 비슷하여 BAT sign으로 부른다. 폐초음파의 출발점이다(Fig. 2).

· Lung sliding: 장측 흉막이 벽측 흉막에 마찰하면서 호흡에 따라 움직일 때 발생하는 흉막이 미끄러지는 모양으로 정상 소

견이다.

· A line: 고에코성 흉막이 탐촉자에 반사되어 생긴 허상으로 탐촉자 접촉면과 흉막 간의 거리만큼의 간격으로 흉막의 아래에 나타난다. 첫 번째 A line 아래로 몇 개가 더 나타날 수 있다. 폐 실질질이 균일함을 나타내는 정상 소견이다.

· B line: Interbronchiolar septum에 수분이 찬 것으로 흉막에서 시작하여 직각으로 아래로 뻗는다. 한 개의 늑간에 적어도 3개 이상 나타나야 의미가 있다. 이에 더하여 갖추어야 하는 특징은 lung sliding과 함께 움직여야 하고 화면의 끝까지 뻗지는 고에코성 라인이어야 한다(Fig. 3). B line처럼 보이는데 흉막에서 시작하지 않고 더 위에서 시작하는 경우는 피하기중에서 볼 수 있으며 그 길이가 짧은 경우는 만성폐쇄성폐질환 환자에서 흔히 볼 수 있다.

폐초음파에서 관찰할 수 있는 병변

폐초음파는 매우 민감도(sensitivity)가 높은 진단 방법이다. 일 예로 환자 침상에서 촬영하는 흉부 X선은 폐렴, 무기폐, 종양, 횡격막상승, 흉막삼출을 구별하기 어려우나 폐초음파를 이용하면 이 모든 병변을 구별할 수 있다. 또한, 중심정맥도관 삽입 등의 술기 후 기흉이나 수흉증 등의 발생을 평가하기 위해 일상적으로 흉부 X선을 시행하지만 이런 술기 후 생기는 소량의 기흉이나 수흉증을 발견하기에는 흉부 X선의 민감도는 매우 낮다[7]. 폐초음파는 극소량의 기흉, 무기폐, 폐렴, 흉막삼출 등도 진단이 가능하다. 이것은 한편으로는 폐초음파의 단점이 되기도 하는데 임상적 의미가 없는 소량의 병변들을 너무 많이 발견하기 때문이다. 다른 단점으로는 폐 전체를 한 화면에 볼 수 없고 초음파가 반사되는 좁은 영역에 진단이 한정되어 병변의 전체적 양상

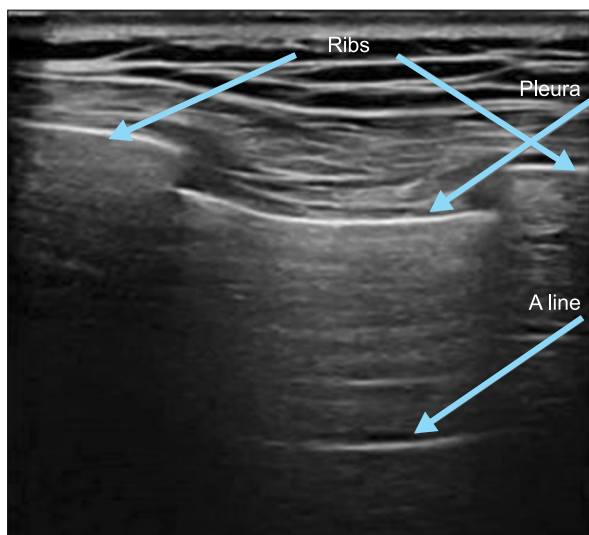


Fig. 2. BAT sign and A line.

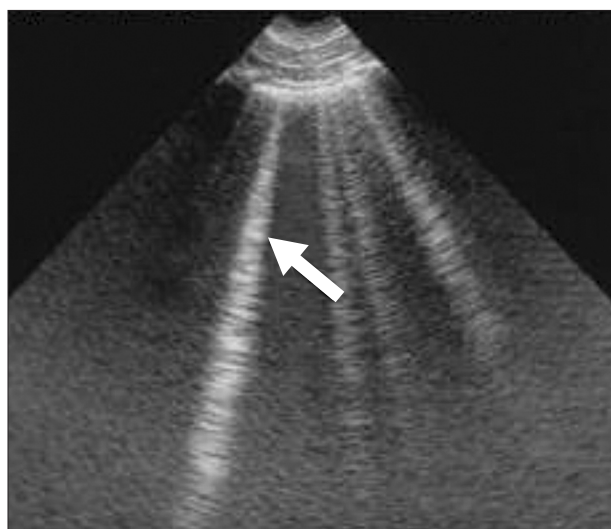


Fig. 3. B line found in pulmonary edema.

을 파악하는 데 한계가 있다. 더 큰 문제는 초음파 탐촉자의 각도에 따라 진단을 놓치거나 정상 부위를 병변으로 진단할 수 있고 같은 병변이라도 환자마다 에코성이 달라 시행자의 많은 경험이 필요하다는 것이다.

기흉(Pneumothorax)

기흉의 진단을 위해서는 고주파(8-10 MHz) linear transducer가 가장 유용하다. 흉막은 대개는 늑골의 0.5 cm 아래쪽에 고에코성 선으로 나타나 금방 찾을 수 있다. 기흉이 발생하면 흉막에서 lung sliding이 없어진다. Lung sliding은 호흡하는 동안 장측 흉막이 벽측 흉막과 마찰하면서 움직일 때 발생하고 흉막선에서 호흡과 일치하여 미끄러지는 움직임이다. 일단 lung sliding이 없어지면 B line과 lung pulse (폐가 심장과 연하여 있기 때문에 심박동에 따라 흉막이 가볍게 움직이는 현상)를 확인한다. B line과 lung pulse가 없다면 기흉의 가능성이 높아지고 (반대로 B line과 lung pulse가 있다면 기흉은 배제된다) 이후부터는 본격적으로 늑간을 한 칸씩 이동해 가며 lung point를 찾

는다. Lung point는 장측 흉막이 찢어진 지점으로 lung point를 중심으로 한쪽은 lung sliding이 없고 한쪽은 lung sliding이 보인다. Lung point까지 발견했다면 거의 기흉의 진단이 확실하다. 예외는 매우 큰 기포(bulla)인데 이런 기포가 있으면 그 막 좌우로 기흉에서 볼 수 있는 lung point가 발견될 수 있다. 기흉의 부가적 진단으로 M mode를 시행하면 정상 폐에서는 seashore sign을 기흉에서는 barcode sign을 볼 수 있다. Barcode sign은 폐실질의 움직임이 없기 때문에 나타난다(Fig. 4).

경화(Consolidation)

폐포에서 공기가 사라지면 폐가 간이나 비장 같은 조직의 밀도로 보이게 된다(tissue like change). 경화는 무기폐와 폐렴에서 주로 관찰되나 폐경색이나 폐암, 외상으로 인한 폐손상도 동일하게 보일 수 있다. 무기폐와 폐렴의 차이는 만약 경화지역 내에 공기가 남아 있고 공기가 움직인다면 폐렴이고(dynamic air bronchogram), 정지해 있다면 무기폐이다(static air bronchogram). 경화주변으로 정상 폐조직이 종이가 찢겨진 것처럼

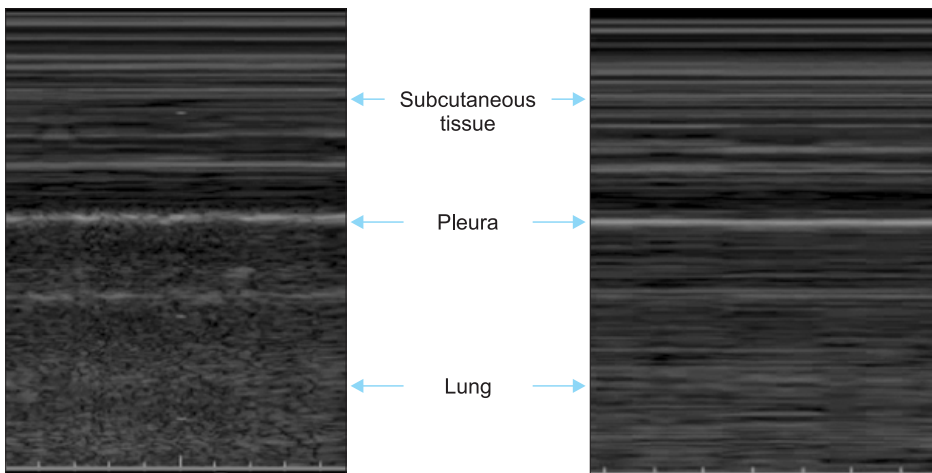


Fig. 4. Seashore sign (left) and barcode sign (right) by M mode.



Fig. 5. Subpleural consolidations are usually less than 1 cm lesions under the pleura. It's also called C line (arrow).

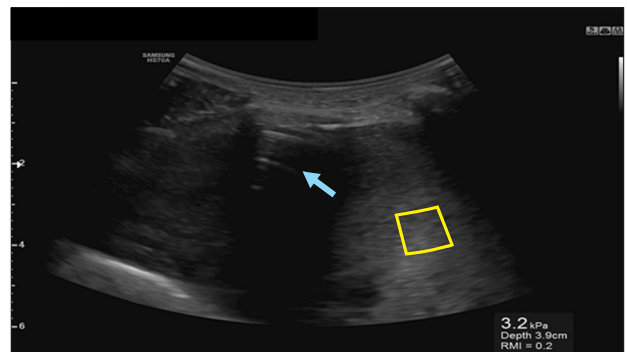


Fig. 6. Large consolidation (box). Normal lung tissue is seen on the left side (A line exist, arrow).

보이는 현상을 shred sign이라고 한다(Figs. 5-7).

폐부종(Pulmonary edema)

폐부종의 경우 B line이 특징적이다(Fig. 3). B line의 개수와 폐 내 수분의 양, 혹은 폐모세혈관폐기압은 상관관계에 있다[8]. 다만 B line이 있다고 하여 모두 폐부종인 것은 아니다. B line은 초기 무기폐와 폐렴에도 나타나고 급성호흡부전 시에도 보이는 비특이적 영상으로 interbronchiolar septum에 여하간 이유로 수분이 축적되었다는 것을 의미한다. 폐부종의 경우 양측으로 나타나는 경우가 많고 다른 병변에 수반된 B line의 경우 병변측에 국한되어 나타난다.

흉막삼출(Pleural effusion)

흉막삼출은 폐초음파가 최초로 이용되었던 병변이고 현재 폐초음파를 가장 많이 사용하는 적응증이다. 흉부 X선으로는 측와위와 양와위를 함께 찍어야 진단할 수 있다. 폐초음파는 흉막삼출의 진단에 흉부 X선보다 더 높은 민감도와 신뢰도를 보여준다[9]. 흉부 X선은 작은 양의 삼출액은 진단할 수 없으며 심지어 500 ml의 삼출액도 진단하지 못하는 경우가 있다[10]. 반면 폐초음파는 93%의 높은 진단율을 보이며 이것은 컴퓨터단층촬영과 맞먹는 것이다[11].

흉막삼출은 아래쪽에 먼저 고인다. 그래서 PLAPS point를 우선 검사한다. 만약 위쪽 흉부에도 삼출액이 보인다면 흉막삼출의 양이 무척 많은 것이다. 흉막삼출이 존재하면 삼출액이 폐조직을 밀어올려 장축 흉막이 떠 있게 된다(Fig. 8). 삼출액 아래로 보이는 폐조직은 눌러져 고에코성을 띠며 무기폐에서 보는 tissue like change나 shred sign을 보이는 경우도 있다.

흉막이 삼출액의 움직임에 따라 함께 출렁거리면 삼출액이 누

출액(transudate)이며 흉막유착이 없을 가능성이 높다. 또한, 누출액일 경우 삼출액이 검게 즉 저에코성으로 보인다. 반면 농흉이나 혈흉인 경우 삼출액의 운동성이 줄어들거나 없어지고 따라서 흉막의 움직임도 줄어들고 심하면 유착을 보이기도 한다. 이 경우 농흉이나 혈흉은 에코성을 띠거나 심한 경우 조직 같은 밀도를 보인다. 확실치 않은 경우 M mode를 시행해보고 이때 sign wave를 보이면 유착이 없는 누출액일 가능성이 높아진다(Fig. 9).

삼출액의 양을 측정하는 방법에는 아직 일치된 바가 없으며 다양한 저자들에 의해 다양한 계산식으로 구해지고 있다[10,12-14]. 제일 간단한 공식은 환자의 양와위에서 흉막이 떨어져 있는 거리를 mm로 잰 다음 20을 곱하여 삼출액의 양을 추측한다. 즉 20 mm가 떨어져 있으면 400 ml의 흉막삼출량이 된다[10]. 측정은 호기말에 시행한다.

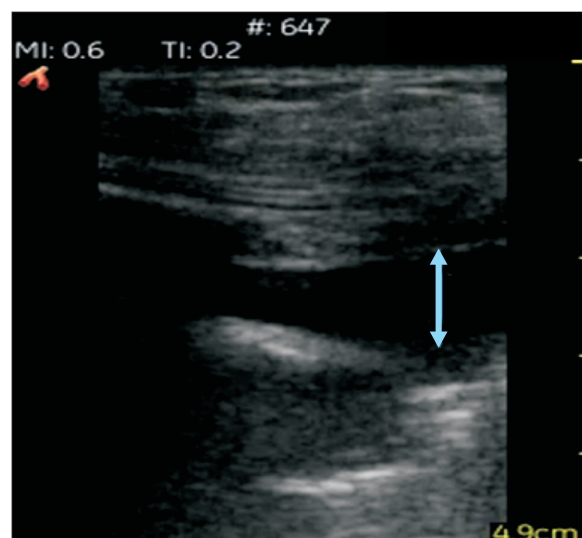


Fig. 8. Pleural effusion. Hyperechoic pleura and atelectatic lung tissue (tissue like change + shred sign) are seen under the effusion.

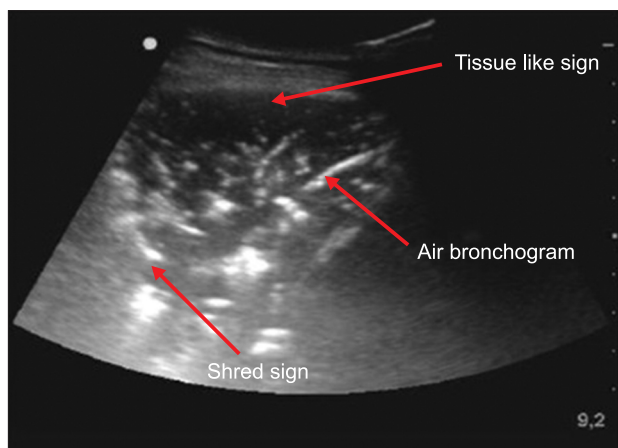


Fig. 7. Various signs shown in consolidation.

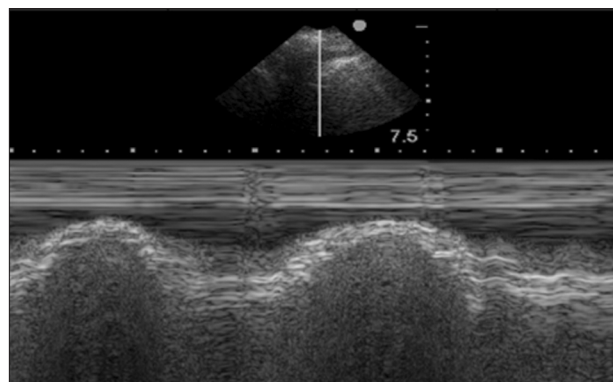


Fig. 9. Sine wave of pleural effusion by M mode.

횡격막 운동

마취통증의학과에서는 마취 후 호흡근이 충분히 회복되었는지 알아보거나, 부위마취 후 횡격막 신경의 마비가 의심되거나, 장기간 인공호흡기에 의존하고 있던 환자의 인공호흡기 이탈 가능성을 확인하기[15] 위해 호흡에 따른 횡격막의 이동거리(excursion)나 횡격막의 두께 변화를 측정할 수 있다.

횡격막의 움직임을 판단하기 위한 장비로는 초음파, sonomicrometry, electromyography, nuclear magnetic resonance, video-fluoroscopy 등이 있는데 이 중 초음파는 가장 간단하게 사용할 수 있다. 초음파를 사용하는 경우 호흡에 따라 폐가 횡격막을 가리는 것이 문제인데 간 크기 때문에 우측 횡격막(간을 window로 함)이 좌측 횡격막(비장을 window로 함)에서 측정하는 것보다 성공률이 높다.

탐촉자는 가로로 하여(coronal plane) 검상돌기 아래에 두거나[3] 간과 비장 쪽으로 이동하여 좌우 횡격막을 관찰할 수 있다(Fig. 10). 2D mode로 관찰한 다음 횡격막 이동거리(excursion)의 정량적 측정을 위해 M mode를 시행한다[16]. 탐촉자를 잡는 법은 탐촉자 머리를 환자의 머리쪽으로 향하여 초음파 빔이 횡격막에 수직으로 떨어지도록 방향을 조절하고 탐촉자 머리로 배를 누르면서 관찰한다. 횡격막의 이동거리가 정상인지 감소되어있는지 소실되었는지 혹은 역방향으로 움직이는지 판단한다.

횡격막 운동이 소실되거나 역방향으로 움직인다면 횡격막 마비를 시사한다. 횡격막 마비는 생각보다 진단이 쉽지 않고 환자가 증상이 없는 경우가 많으며 흉부 X선 촬영 시 한쪽 횡격막이 올라간 것으로 주로 발견된다.

기존 보고에 의하면 평균 횡격막 이동거리는 편안한 호흡 시 1.6-1.8 cm이며 하한치는 남자 1.0 cm, 여자 0.9 cm이다. 깊은 호흡 시 정상치는 6.4-7.5 cm이며 하한치는 남자 4.7 cm, 여자

3.7 cm이다. 환자에게 빨리 코로 숨을 들이쉬게 하면(sniffing) 횡격막이 급격하게 아래로 내려오는데 이때 측정한 평균 이동거리는 2.7-3.1 cm이며 하한치는 남자 1.8 cm, 여자 1.6 cm이다[17]. 하한치 이하인 경우 횡격막 마비나 호흡근 저하를 진단할 수 있다. Sniffing 시 역방향 움직임이 나타나면 횡격막 신경 마비에 특징적이다.

호흡에 따른 횡격막의 두께 변화를 측정하여 호흡근의 강도 및 근이완에서 회복 정도를 측정할 수 있다. 횡격막의 호흡에 따른 두께 변화는 간과 폐가 만나는 지점(the zone of apposition)에서 linear transducer로 측정한다. 간과 폐가 만나는 지점이 바로 phrenic point이다[15]. 환자에게 깊게 숨을 들이쉬게 하고 흡기 말에 측정 시 평균 두께가 4.5 mm, 깊게 내쉬게 하고 호기 말에 측정 시 평균 두께가 1.7 mm이다[18]. 중환자실 환자인 경우 횡격막의 이동거리를 측정하는 것보다 두께 변화를 측정하는 것이 인공환기 이탈의 예측도가 높다고 하였다[15].

흉막유착(Pleural adhesion)

흉막이 유착된 경우 lung sliding이 사라진다. 수술 전 미리 lung sliding을 확인하여 lung sliding이 소실된 환자는 흉막유착을 의심하고 흉강경 수술을 위해 트로카 삽입 시 주의해야 한다. 또한, 개흉술의 가능성을 염두에 두면 좋다. 흉막유착이 심한 환자는 흉강경으로 수술하였어도 개흉술 못지않게 통증을 호소하는 경우가 많다. 이 경우 흉강경 수술이지만 수술 전 미리 경막외도관을 삽입하는 등 좀 더 적극적인 통증 조절을 계획할 수 있다. Lung sliding의 여부를 판단하는데 고려할 것은 상부 폐가 하부 폐보다 lung sliding이 적어 흉막유착 위양성의 경우가 많고 만성폐쇄성폐질환 환자들도 lung sliding이 줄어들어 있어 흉막유착 위양성의 경우가 흔하다.

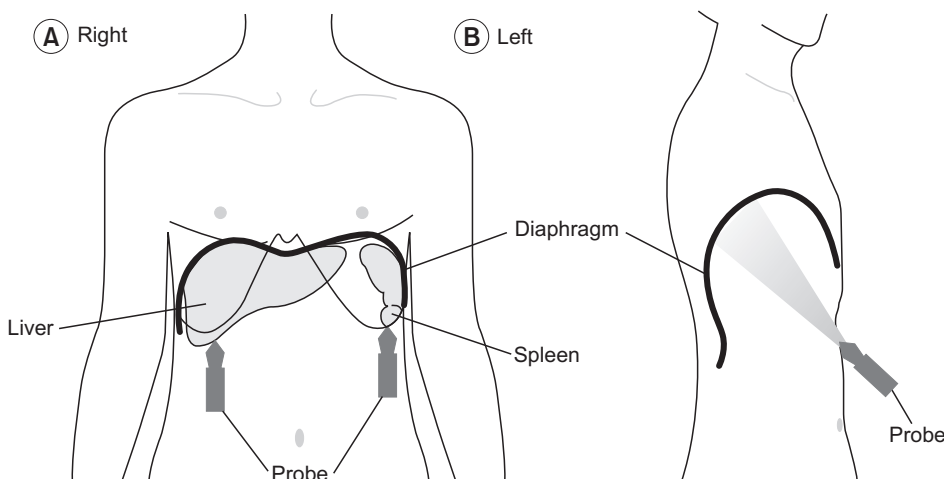


Fig. 10. Transducer position for diaphragm excursion measurement. (A) For the right side, the transducer is positioned below the right costal margin between the midclavicular and anterior axillary lines. For the left side, the transducer is positioned at a left low intercostal or below the subcostal margin between the midclavicular and anterior axillary lines. (B) The probe angle: the ultrasound beam reached perpendicularly the posterior part of the diaphragm.

결론

폐초음파는 흉부외과 수술 후 환자 관리에 중요한 역할을 할 수 있다. 아직은 폐초음파의 이용이 잘 이루어지지 않는데 이를 해결하기 위해서는 마취통증의학과 전공의 때부터 폐초음파 교육과정이 만들어져 훈련되어야 한다. 아직 개척되지 않은 영역이 많으므로 다양한 연구가 이루어져야 하고 향후에는 초음파가 의사의 오감이나 청진기와 같은 역할을 할 것으로 기대한다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

- Picano E, Vañó E, Rehani MM, Cuocolo A, Mont L, Bodi V, et al. The appropriate and justified use of medical radiation in cardiovascular imaging: a position document of the ESC Associations of Cardiovascular Imaging, Percutaneous Cardiovascular Interventions and Electrophysiology. *Eur Heart J* 2014; 35: 665-72.
- Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, 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.
- Cantinotti M, Giordano R, Volpicelli G, Kutty S, Murzi B, Assanta N, et al. Lung ultrasound in adult and paediatric cardiac surgery: is it time for routine use? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2016; 22: 208-15.
- Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 2008; 134: 117-25.
- Cattarossi L. Lung ultrasound: its role in neonatology and pediatrics. *Early Hum Dev* 2013; 89 Suppl 1: S17-9.
- Picano E, Frassi F, Agricola E, Gligorova S, Gargani L, Mottola G. Ultrasound lung comets: a clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 356-63.
- Reissig A, Kroegel C. Accuracy of transthoracic sonography in excluding post-interventional pneumothorax and hydropneumothorax. Comparison to chest radiography. *Eur J Radiol* 2005; 53: 463-70.
- Agricola E, Bove T, Oppizzi M, Marino G, Zangrillo A, Margonato A, et al. "Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 2005; 127: 1690-5.
- Kocijancic I, Vidmar K, Ivanovi-Herceg Z. Chest sonography versus lateral decubitus radiography in the diagnosis of small pleural effusions. *J Clin Ultrasound* 2003; 31: 69-74.
- Balik M, Plasil P, Waldauf P, Pazout J, Fric M, Otahal M, et al. Ultrasound estimation of volume of pleural fluid in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 2006; 32: 318.
- Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004; 100: 9-15.
- Remérand F, Dellamonica J, Mao Z, Ferrari F, Bouhemad B, Jiaxin Y, et al. Multiplane ultrasound approach to quantify pleural effusion at the bedside. *Intensive Care Med* 2010; 36: 656-64.
- Usta E, Mustafi M, Ziemer G. Ultrasound estimation of volume of postoperative pleural effusion in cardiac surgery patients. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2010; 10: 204-7.
- Vignon P, Chastagner C, Berkane V, Chardac E, François B, Normand S, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med* 2005; 33: 1757-63.
- Umbrello M, Formenti P, Longhi D, Galimberti A, Piva I, Pezzi A, et al. Diaphragm ultrasound as indicator of respiratory effort in critically ill patients undergoing assisted mechanical ventilation: a pilot clinical study. *Crit Care* 2015; 19: 161.
- Epelman M, Navarro OM, Daneman A, Miller SF. M-mode sonography of diaphragmatic motion: description of technique and experience in 278 pediatric patients. *Pediatr Radiol* 2005; 35: 661-7.
- Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest* 2009; 135: 391-400.
- Ueki J, De Bruin PF, Pride NB. In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax* 1995; 50: 1157-61.