

特集

呼吸管理における最近のモニタリング

肺エコー診断：気胸、無気肺のモニタリング

鈴木昭広¹⁾・野村岳志²⁾

キーワード：肺エコー，lung sliding，lung pulse，lung point，stratosphere sign

I. はじめに

肺の超音波診断（以後「肺エコー」とする）は、20年ほど前から取り組まれていた¹⁾。しかし、肋骨に囲まれ、かつ気体を含有する肺組織の観察は一般には受け入れられず、知る人ぞ知る技術、という印象が強かった²⁾。その理由は、用いる超音波機器自体が現在のものと比べて解像度が優れなかったことも一因である。

近年、コンピュータ技術の結晶ともいえる超音波機器は大きな発展を見せている。特に、高周波型プローブはMRI、CTをも凌駕する解像度を有し、低侵襲でリアルタイムに動きの観察が行え、かつガイド下インターベンションの実施などを容易とするため、運動器疾患の診療においては例えばリウマチの炎症の診断など、従来のモダリティの在り方を一変させるほどの「革命」ともいえる変化を起こしている。

肺エコーは2011年のNew England Journal of Medicine³⁾で紹介されたのち、世界中で呼吸器内科医、放射線科医や救急・集中治療・麻酔科医などの間で爆発的な広まりを見せつつある。しかし、残念ながら本邦においてはまだまだ認知度が低い印象がある。本稿では、肺エコーの基礎と気胸、無気肺の観察について概説する。

II. 使用プローブと設定⁴⁾

肺エコーでは、リニア、セクター、コンベックス、

マイクロコンベックスなどの各種プローブを観察部位に応じて使い分ける。特に胸膜の観察が重要であり、高周波リニア型プローブが浅い部位の観察に適する。一方、セクター、マイクロコンベックスはむしろ深い部位の観察に、コンベックスプローブは浅い部位から深い部位まで比較的汎用に用いられる。肺エコーは他臓器の診断と共に実施する機会も多く、用いるプローブに応じて利用可能である。利用できるプローブが制限される場合は深度の調節である程度対応が可能となる。

モードとして重要なのはBモード、ついでMモードが主体となる。カラードプラは血管の同定の目的で用いることもある。描出設定は肺を目的としたプリセットがあればよいが、なければ骨軟部組織、あるいは心臓や腹部内臓器で行い、ゲインなどの調整を加えることよい。

III. 知っておくべき肺エコーの原理⁵⁾

肺エコーで知っておくべき重要な原理として、音響インピーダンスを挙げておこう。組織には固有の音響インピーダンス値(Z)があり、単位は $\text{kg/m}^2/\text{s} \times 10^6$ で表わされる。脂肪(1.38)、血液(1.61)、筋肉(1.7)、骨(7.8)を含め人体の組織はほとんどが一桁のオーダーだが、空気だけは0.0004と桁違いに小さな値をとる。接し合う2つの媒質のインピーダンス差が大きい境界面において超音波は反射する。つまり、空気を含む肺組織との境界面では超音波はほぼ100%反射し、「臓側」胸膜より内部を観察することはできず、

1) 旭川医科大学病院 麻酔科蘇生科

2) 横浜市立大学大学院医学研究科 麻酔科学

肺に相当する深部はすべてアーチファクト（虚像）となる。

逆に、肺実質部が観察されればすなわち異常な肺ということになるし、肺組織自体が存在しない気胸では、臓側胸膜は観察できず壁側胸膜のみしか見えない。以下紹介するように、肺エコーは空気と組織がおりなすアーチファクトで成り立つことを念頭に観察していただきたい。

IV. 肺エコー正常所見

まず、正常の所見をリニアプローブで観察してみよう。肋骨の走行に対し直行するようにプローブを前胸壁にあてると、図1のような画像が見える。肋骨を画面にあえて描出するのは、高輝度線状陰影を呈する胸膜の高さの目安にするためである。2本の肋骨を結ぶように胸膜が描出されるこの所見は、コウモリが羽を広げたように見えるため bat sign と呼ばれる。コツとして、観察中にプローブがずれないように持ち手の一部はしっかりと体表に接触させる。

ここで、Bモードでは胸膜に2つの特徴的な動きが認められる。① lung sliding⁶⁾とは肺が呼吸性に伸縮し、胸膜が地すべりのように横方向に大きく移動するもので、肺が観察部位直下に存在し、かつ換気されていることを意味する。② lung pulse⁷⁾とは心臓の拍動に呼応して肺が揺さぶられるように小さく動く様子である。右よりも左肺で認めやすく、呼吸を止めさせることで①との違いを把握しやすい。肺実質が観察部位

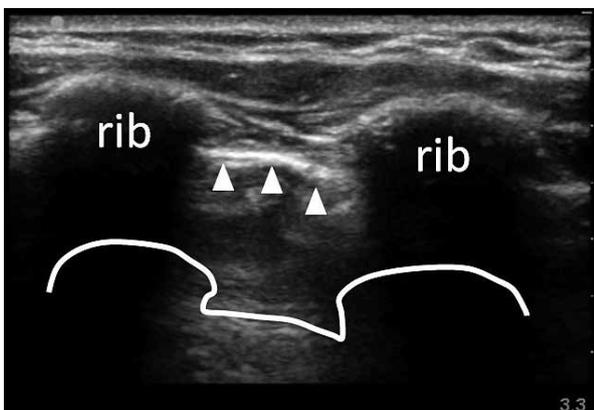


図1 肺エコーの正常所見

基本のBモード。肋骨上縁と白い胸膜を結ぶ線がコウモリが羽を広げたように見える（画面下半分に白い線として表示）。この「bat sign」を参照に、胸膜部分（△）の動きの有無と性状を観察する。

直下に存在することを示すが、換気がなされていることは意味しない。

次にMモードを用いると、軟部組織部分は動きがほとんどないため横線を呈し打ち寄せる波のように、肺実質相当部分は胸膜の動きに伴いアーチファクトも変化するため砂をちりばめた浜辺のように見える。これを③ seashore sign と呼ぶ（図2左）。

V. 気胸の超音波所見

気胸肺においては胸壁を裏打ちしている壁側胸膜と、肺実質の外側を包む臓側胸膜との間に気体が介在するようになる。この結果、超音波は壁側胸膜と気胸部分の音響インピーダンス差により100%反射する。すると、正常肺で認められたような臓側胸膜の lung sliding、lung pulse は当然観察できなくなり、胸膜部分は静止して見える。また、胸膜で反射した超音波が再度プローブ表面で反射して胸膜に向かいそこでまた反射し……と無限に繰り返すことでできる等間隔の横線（A-line artifact）を呈しやすい。ただし、強い呼吸困難を訴えて努力性呼吸を呈する患者では、胸筋や肋間筋の動きも大きくなるため、プローブの皮膚面への接着が甘くなり観察が難しくなることがあることに注意されたい。なお、気胸肺でMモードを用いると、全体が横線＝波のように見える。この所見は成層圏を意味する stratosphere sign⁸⁾と正式には命名されている。あるいは barcode sign というニックネームで呼ばれる（図2右）。

なお、これらの所見は気胸を強く疑う所見であるが、ブラなどでも観察されることがあり、確定診断には至らない。これに対し、気胸の確定診断となる所見に lung point⁹⁾がある。Lung point は lung pulse や lung sliding を認めない部分からスキャン部位をずらしていった際に画面内に呼吸性に膨らんだ肺が描出でき、呼気時にしぼんで見えなくなる場所のことである。ただし、肺の虚脱率が高く、正常肺がほぼ完全にしぼんでいる高度な気胸では lung point を認めないこともあることは覚えておきたい。

このように、気胸の所見は胸壁を複数個所スキャンして総合判断することが必要であることがX線と異なる。また、X線写真は1枚で虚脱率などの重症度を評価できるが、超音波での重症度判断はプローブをあてている範囲での気胸の有無でしか判断できない。気

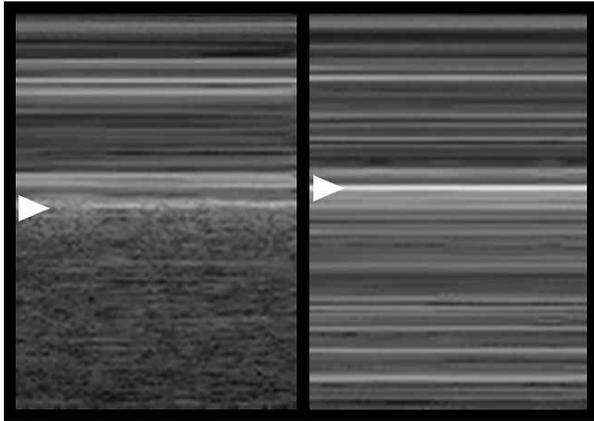


図2 正常肺と気胸肺での M-mode 所見の違い

まず、気胸では基本の B モード「bat sign」で胸膜部分の動きを認めなくなる。M モードでは正常肺（左）が胸膜（△）を境に軟部組織が線状陰影、肺実質相当部分が砂をちりばめたような seashore sign を呈するが、気胸（右）では stratosphere sign (barcode sign) とも呼ばれる層状陰影を呈する。

胸範囲の把握には前胸壁など気体が貯留しやすい部分から始め、胸壁全体をスキャンする必要もある。また、重症度の判定には、前胸部少なくとも 4 ヶ所での測定が必要とされる¹⁰⁾。

それでも、X 線と比べた場合、超音波による気胸検索は感度、特異度ともに高く、occult pneumothorax の診断力に優れるといわれる⁸⁾。気胸の伸展を経時的にモニターし、ドレーンを入れるかどうか迷う場合に経過を追うことも可能ではないかという意見もある¹¹⁾。本邦でも超音波による気胸の診断が報告されるようになり、また所見の習得に全身麻酔下の開胸手術を利用する試みなどが行われている¹²⁾。

Ⅵ. 無気肺の超音波所見

無気肺では肺実質の観察を妨げる気体の含有量が減るため、肺自体の観察を行えるようになる。超音波上、虚脱した肺は低輝度で均一に観察され、肝臓様に見えることから hepatization、あるいは組織様 (tissue like) とも表現される。無気肺には胸水など周囲からの圧迫で生じた圧迫性無気肺と、分泌物の増加で気道が閉塞して生じる閉塞性無気肺とに分けられる。圧迫性無気肺はしばしば胸水と一緒に観察され、胸水中に浮遊し、呼吸運動や心拍動に連動して独特な動きを呈し、jelly fish sign とも呼ばれる (図 3)。

閉塞性無気肺では、肺内は空気ではなく分泌物である液体で満たされる。肺葉内に低輝度の円形構造ある

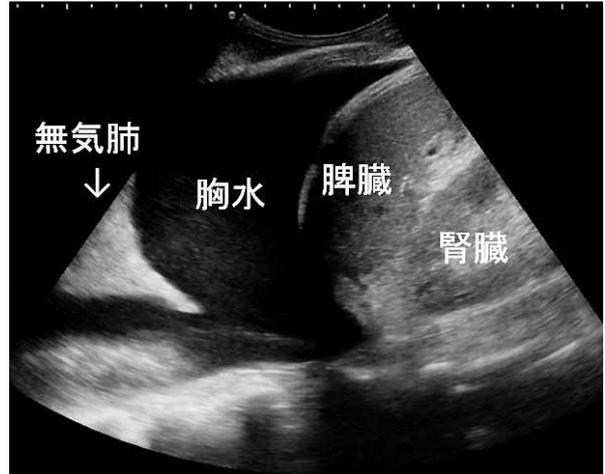


図3 無気肺の超音波画像

胸水の中に固質化した肺実質を認める。



図4 無気肺と air bronchogram

肺内に白い点状の高輝度陰影が散見され、空気がトラップされている様子が分かり、air bronchogram 像である。左側の三日月状の低輝度領域は胸水。

いは管状構造を認め、fluid bronchogram¹³⁾ と呼ばれる。B モードのみでは血管と鑑別しにくいので、カラー Doppler で血流の有無を判断し、流れが検出できなければ fluid bronchogram と判断する。一方、図 4 は無気肺の中に高輝度陰影が散りばめられたような像が観察され、air bronchogram と呼ぶ。

Ⅶ. おわりに

以上、肺エコーの基本と気胸、無気肺、胸水の観察

について解説した。無気肺に至る前には肺の水分含有量が増加するにつれて B-line と呼ばれる縦線を認めることも知られており、近年では心原性肺水腫と急性呼吸促進症候群（acute respiratory distress syndrome: ARDS）の鑑別にも用いられている。また、市中肺炎診断や肺塞栓の観察、横隔膜運動の観察を人工呼吸器からのウィーニングに利用するなど、肺エコーは年々新しい知見が生まれて続けている領域である。温故知新の諺にある通り、肺エコーの初期を築いた論文をもとに、進歩した超音波装置を用いて新たなエビデンスの発信が期待できるため、呼吸療法医学会の会員諸氏の皆様もぜひ積極的に肺エコーに取り組んでいただきたい。

本稿の全ての著者には規定された COI はない。

参考文献

- 1) 鈴木昭広: 肺エコーの可能性. こんなに役立つ肺エコー (第3版). 鈴木昭広編. 東京, メジカルビュー, 2015, pp1-2.
- 2) 田中博志: 気胸の有無は肺エコーで診断. あてて見るだけ! 劇的! 救急エコー塾 (第3版). 鈴木昭広編. 東京, 羊土社, 2014, pp42-8.
- 3) Moore CL, Copel JA: Point-of-care ultrasonography. *N Engl J Med.* 2011; 364: 749-57.
- 4) 鈴木昭広: プローブの特徴と選択. 救急エコースキルアップ術. 鈴木昭広, 松坂 俊編. 東京, 羊土社, 2015, pp12-8.
- 5) 田中博志: ABCD sonography. Airway: 気道エコー. *LiSA.* 2015; 22: 480-1.
- 6) Lichtenstein DA, Menu Y: A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. *Lung sliding.* *Chest.* 1995; 108: 1345-8.
- 7) Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, et al: The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med.* 2003; 29: 2187-92.
- 8) Lichtenstein DA, Mezière GA: Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest.* 2008; 134: 117-25.
- 9) Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, et al: The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med.* 2000; 26: 1434-40.
- 10) 三澤賢治, 西 智史, 西田保則, ほか: 超音波検査による自然気胸の重症度安定の試み. *日本呼吸器外科学会雑誌.* 2010; 24: 8-11.
- 11) Oveland NP, Lossius HM, Wemmelund K, et al: Using thoracic ultrasonography to accurately assess pneumothorax progression during positive pressure ventilation: a comparison with CT scanning. *Chest.* 2013; 143: 415-22.
- 12) 田中博志, 鈴木昭広, 岩崎 寛, ほか: 超音波を用いた気胸診断—分離肺換気下の手術患者での検討—. *麻酔.* 2013; 62: 128-33.
- 13) Dorne HL: Differentiation of pulmonary parenchymal consolidation from pleural disease using the sonographic fluid bronchogram. *Radiology.* 1986; 158: 41-2.