



集中治療超音波画像診断テキスト

一般社団法人 日本集中治療医学会 | 編集

中外医学社

I 総論

1

超音波診断（検査）の基礎

【到達目標】

- 超音波診断の基礎を学ぶ意義について説明できる
- 集中治療医にとって必要な音響工学の知識について説明できる
- プローブとオリエンテーションについて説明できる
- 超音波装置の取り扱いについて説明できる
- 代表的なアーチファクトについて説明できる
- 超音波診断に関連する医療安全について説明し実践できる

1 超音波診断の基礎を学ぶ意義

超音波診断の研修を開始するに際し、「超音波診断の基礎」を学習してからというよりも、いきなりプローブを握って検査を始める方が多いのではないだろうか。プローブをあてて、画面深度とゲインを適当に調整すれば、観察したい部位や臓器を画面に表示できる。超音波検査に必要な解剖と生理学の知識を補えば充分かもしれない。しかし、集中治療医が安全性に留意しながら超音波検査を適切に実施し、得られた所見を正しく解釈して十分に診療に生かすためには、超音波診断（検査）の全般的な基礎知識は不可欠である。音響工学の基礎的な知識があると、超音波画像の成り立ちが理解でき、超音波画像の至適設定や限界について理解しやすくなる。またプローブとオリエンテーション、超音波装置の取り扱いについての最低限の知識は、超音波検査を正しく行うために必要であることは言うまでもなく、医療従事者間で画像情報を正確に共有し、指導者として超音波教育を実践していく上でも重要である。この章では、集中治療医が自らプローブを握って超音波検査・診断を行う上で知っておきたい基礎事項を取り上げる。

2 音響工学の知識

● 学習項目 ●

- a. 音波と超音波
- b. パルス波と連続波
- c. 周波数とパルス繰返し周波数（PRF）
- d. 空間分解能
- e. 周波数と分解能および減衰との関係
 - (a) 分解能との関係
 - (b) 減衰との関係
- f. 音響インピーダンスと反射

● 学習内容 ●

a. 音波と超音波

一般に、弾性体中をその弾性に基づいて伝わる振動現象を音波と呼ぶ。普通「音」と称しているものは、振動体からの振動が縦波として空気中を伝わり耳に達するもので、可聴振動数（およそ 16 ヘルツから 2 万ヘルツ）の範囲内のものをいう。これより振動数が大きく、音としての感覚を引き起こさない波を超音波といい、通常、周波数が人間の可聴上限周波数 2 万ヘルツ以上の音波を指す（広い意味では、計測利用の音波など、耳で聞くことを目的としない 2 万ヘルツ以下の音波でも超音波として扱う場合がある）。その中でも、医用超音波は 2～20 メガヘルツ（MHz）と桁違いに高い周波数を用いている¹⁾。

音波はその振動の方向で横波と縦波に分けられる。横波は、波の進行方向に対して粒子の振動が垂直な波のことを言い、イメージとしてはロープを伝わる波のような動きをする。縦波は波の進行方向に対して同じ方向に振動する波で疎密波とも呼ばれ、バネを伝わる波の動きに相当する **図1**。先述したように音波は縦波であり、我々の聞く「音」は空気という媒質を伝わって進むことになる **図2**。

b. パルス波と連続波

音波にはパルス波と連続波があり **図3**、定常状態から振幅が急激に変化して再び元の状態に戻る形をパルスといい、その波形をパルス波という。これに対して連続波は一定振幅、一定周波数で継続する波を表す。

c. 周波数とパルス繰返し周波数（PRF）

パルス波には周期 T （時間）とパルス幅があり **図4**、 $1/T$ がいわゆる超音波の周波数：発生した音波により媒体（媒質）が「1 秒間に何回振動するか？」を表す。周波数の単位は Hz（ヘルツ）が用い

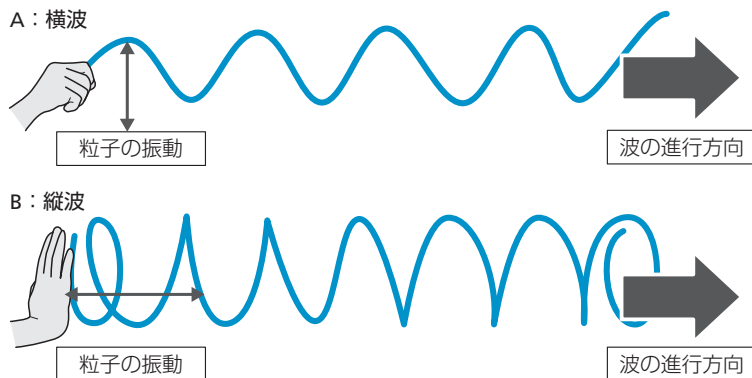


図1 横波 (A) と縦波 (B) のイメージ

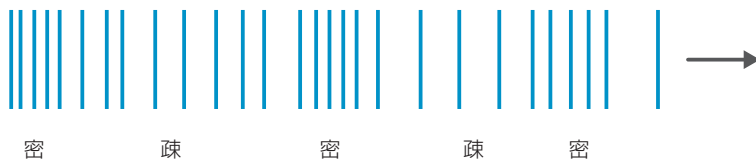


図2 縦波（疎密波）の音波が媒質を伝わるイメージ

1

経胸壁心エコー

【到達目標】

- ☐ 心エコーで評価すべき項目を説明できる
- ☐ 心エコーで必要な描出について説明できる
- ☐ 心エコー所見から想定できる緊急病態を説明できる
- ☐ 主要緊急病態の心エコー所見を説明できる

1 経胸壁心エコー総論

● 学習項目 ●

- 左室の定性的所見とその評価法
- 右室の定性的所見とその評価法
- 心嚢の定性的所見とその評価法
- 下大静脈の定性的所見とその評価法
- 高度弁逆流の定性的所見とその評価法

心エコー図検査は、現代の診療において循環器疾患の診断や血行動態を把握するために必要不可欠であり、集中治療医にとっても習得すべき手技の一つとなっている。しかし、循環器医や専門的な超音波検査士が行う包括的心エコーは、観察断面や計測項目数が多く、専門的な知識と技術が必要である。このため、集中治療医には緊急病態の診断や迅速な血行動態把握を目的とし、評価する項目を限定したプロトコルに沿って行う心エコー（focused cardiac ultrasound examination: FOCUS）を習得すべきとした。上記の学習項目を評価できることが目標である。

● 学習内容 ●

a. 左室

▶ 動画 1：傍胸骨長軸像。正常例。 ▶ 動画 2：傍胸骨短軸像。正常例。 ▶ 動画 3：心尖部四腔像。正常例



▶ 動画 1

- 内径：小さい，正常，明らかに拡大
- 収縮能：正常，過収縮，軽度低下，高度低下
- 収縮パターン：局所壁運動異常の有無



▶ 動画 2

FOCUS では左室の大きさ，左室の収縮能を定性的に評価する。日本人の左室拡張末期径の正常値は男性 $48 \pm 4\text{mm}$ ，女性 $44 \pm 3\text{mm}$ とされており¹⁾，画面上の視野深度のマーカーを参考に左室狭小化，左室拡大の有無を判断する。左室収縮能は傍胸骨，心窩部および心尖部の3つのアプローチから心内膜の動きを総合的に評価し，正常，過収縮，軽度低下，高度低下の4つに分類する。左室駆出率（ejection fraction: EF）の正常値は男性 $64 \pm 5\%$ ，女性 $66 \pm 5\%$ と

されるが、熟練者の検討では目視によって評価した visual EF と実際に測定した EF が同等と報告されており²⁾、FOCUS では visual EF を参考に左室収縮能を評価する。左室局所壁運動の正確な評価は経験を要するため、FOCUS では局所壁運動異常の有無として、収縮パターンが均一か不均一かの判断に留める。



b. 右室 (▶ 動画 1~3)

(a) 内径 (収縮能を反映): 正常, 拡大 (右室>左室)

正常な心内腔の大きさは左心系>右心系である。傍胸骨長軸像において、正常では右室:大動脈:左房の大きさが1:1:1を示す。このバランスを参考に右室拡大の有無を判定する。傍胸骨短軸像では、左室と比較して右室が拡大していないかを確認し、次に心室中隔の左室圧排所見がないかを確認する。心尖部四腔像では、右室径と左室径の比を評価し、右室径 $\geq$ 左室径であれば右室拡大ありと判断する。

c. 心嚢 図1 ~ 図4

(a) 心膜液 (心嚢液) の有無: 心膜脂肪, 胸水, 腹水との鑑別 図5 図6

心嚢には正常時でもエコーでは観察されない5~10mL程の液体が貯留している。心膜液貯留は、量、部位、性状を観察する。心膜脂肪が厚い場合、心臓周囲に低エコーで観察されるため、心膜液と区別が難しい場合がある。心膜脂肪は心膜液より等エコーに近く、収縮期に観察され、心臓前面にのみ観察される。胸水と心膜液の鑑別は傍胸骨長軸像で行う。心膜液であれば下行大動脈の前面に観察され、左胸水では下行大動脈の後面あるいは側面に認められる。心窩部四腔像における右室前面の液体貯留

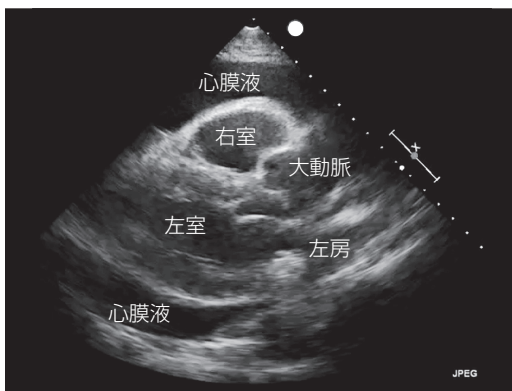


図1 心嚢 (傍胸骨長軸像)

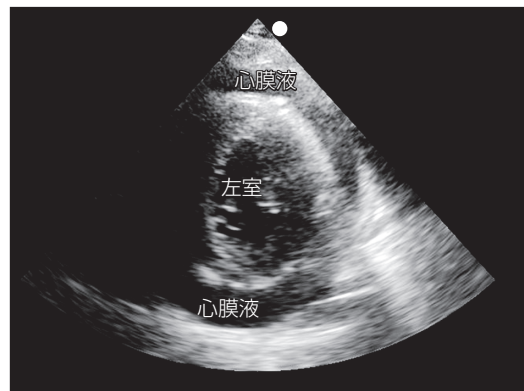


図2 心嚢 (傍胸骨短軸像)

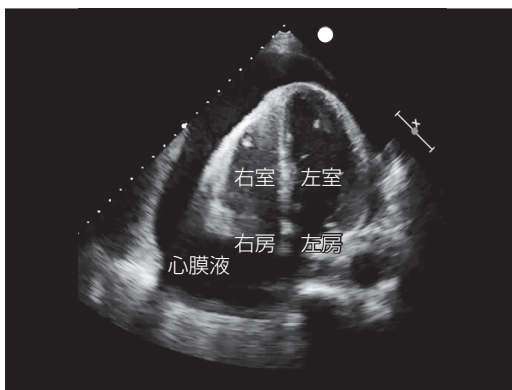


図3 心嚢 (心尖部四腔像)

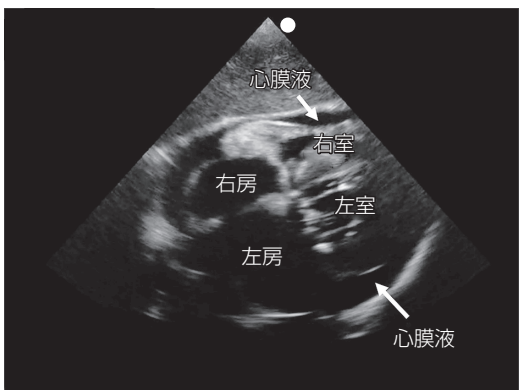


図4 心嚢 (心窩部四腔像)

2

肺エコー

到達目標

- ☐ 肺エコーに必要な超音波の基礎を理解する
- ☐ 肺エコーに使用するプローブ特性とスキャンゾーンを理解する
- ☐ 代表的な画像所見およびサインを理解する
- ☐ 超音波で観察できる健康肺の所見を理解する
- ☐ 超音波で観察できる病的肺の所見を理解する
- ☐ 超音波画像とレントゲン画像の成り立ちの違いを理解する
- ☐ 気胸診断とピットフォールを理解する
- ☐ 胸水と無気肺の評価ができる
- ☐ Sonographic interstitial syndrome の病態が評価できる
- ☐ 肋骨・胸骨骨折の診断ができる

1 肺エコー総論

● 学習項目 ●

- 肺エコーに必要な超音波の基礎
- 診断目的におけるプローブ選択, 超音波機器基本設定とスキャンゾーン, 画像保存
- 代表的な画像所見およびサイン
- 健常肺の画像所見
- 病的肺の画像所見

● 学習内容 ●

a. 肺エコーに必要な超音波の基礎

- 肺エコーの特徴: 肺エコーが従来の超音波手法と大きく異なるところは, 実像を反映しないアーチファクトを含めて診断に利用することである **図1**.
- 肺エコーは現場で簡便・迅速に実施して診療の方向性を決める point-of-care ultrasonography (POCUS) に適した手法である.

b. プローブ選択とスキャンゾーン, 画像保存方法

- プローブの選択は, 観察対象と深度により調整する. 胸膜や横隔膜の厚み評価など浅い部位を見たい場合はリニアプローブ, 胸水や肺の深部までを観察に含めたい場合はセクター, コンベックス, マイクロコンベックスがよい. プローブに応じて既存の設定で代用し, ゲイン設定などで胸膜や骨表

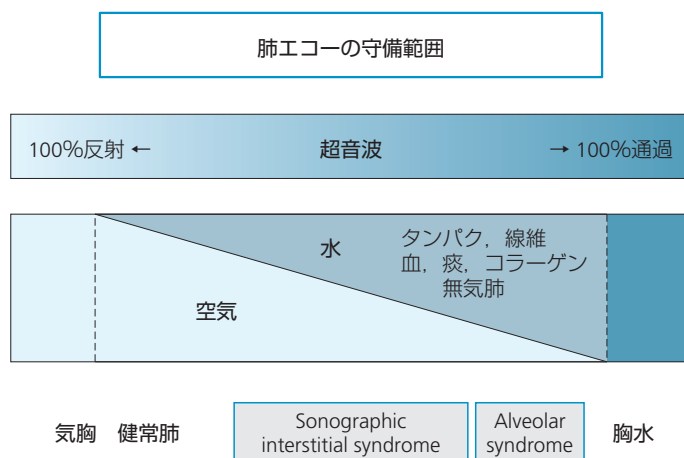


図1 肺エコーの守備範囲

肺エコーは、超音波をほぼ 100%反射する健常肺から、逆に、ほぼ 100%通過する胸水まで肺密度の変化をとらえるモダリティである。

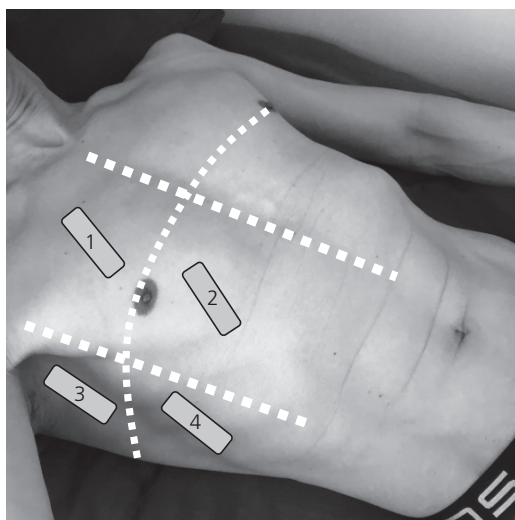


図2 スキャンゾーン

胸骨から前腋窩線まで、前腋窩線から後腋窩線の線で左右を、乳頭レベルで上下を分け、ZONE1～4に分ける。左右はR、Lで表現し、4×2の8ゾーンをスキャンするのが簡便かつ一般的である。それぞれ、1R、1Lは上葉、2Rは中葉、2Lは上葉～下葉、3R、3Lは上葉、4Rは中～下葉、4Lは下葉あたりを見ているイメージを持つとよい。

面が高輝度に、骨の音響陰影部が低輝度になるように調整するとよい。肺エコーの認知度の増加に伴い、超音波装置によっては肺の設定が利用できるようになってきた。

- スキャンゾーンと肺の体表解剖を理解する：ICUの患者は仰臥位でいることが多いため、観察の基本は前面、側面となる。スキャンゾーンは国際的に推奨されている片側4か所で始めるのがよい¹⁾

図2. 腹臥位管理中は背側の観察も可能である。

c. 代表的な画像所見およびサイン

胸壁前面（鎖骨中線）にプローブを矢状断に置き、肺エコー画像を描出するが、肋骨の走行を意識し、あえて肋骨に直行させるようにあてるとよい。画像表示の方法は超音波検査のルールに準じる。ただし、肋間走査では体軸に対して斜めの描出となり、ルールに沿わないこともあるため、必要に応じて画面にボディマークなどを挿入する。健常肺では画像表面から皮膚・皮下組織、胸壁の筋群、肋骨・肋軟骨、肋間筋、胸膜ライン（pleural line）が描出できる。胸膜ラインは胸膜エコーコンプレックスとも呼ばれ壁側胸膜、胸膜間の生理的胸水、臓側胸膜、肺表面の組織で形成し、その深部の空