

# 心臓および肺Point-of-Care超音波検査の実施と 活用, 教育に関する手引き

## 監修

日本心エコー学会 ガイドライン委員会

## 編集

山田博胤 徳島大学大学院医歯薬学研究部 地域循環器内科  
大原貴裕 東北医科薬科大学 老年・地域医療学

## 執筆

阿部幸雄 大阪市立総合医療センター 循環器内科  
岩野弘幸 手稲溪仁会病院 循環器内科  
大西哲存 兵庫県立はりま姫路総合医療センター 循環器内科  
大原貴裕 東北医科薬科大学 老年・地域医療学  
方波見謙一 北海道大学 救急科  
瀧聞浄宏 長野県立こども病院 循環器小児科  
多田明良 紀美野町立国保国吉・長谷毛原診療所  
谷口隼人 横浜市立大学附属市民総合医療センター 高度救命救急センター  
三原裕嗣 四日市内科ハートクリニック  
山田博胤 徳島大学大学院医歯薬学研究部 地域循環器内科  
山本剛 日本医科大学 心臓血管集中治療科  
前田健 心臓病センター榊原病院 看護部  
和田靖明 名古屋市立大学医学部附属東部医療センター 循環器内科

## 外部評価

小保方優 群馬大学 循環器内科  
田中秀和 神戸大学 循環器内科

## 目次

目次	2
略語一覧	3
1. はじめに	3
2. FoCUS の位置づけ	4
2.1 FoCUS の位置づけ	4
2.2 FoCUS と limited echocardiography	5
2.3 FoCUS と full study	5
3. FoCUS のプロトコール	5
3.1 Basic FoCUS の観察断面	5
3.1.1 心窩部アプローチ	6
3.1.2 傍胸骨左縁アプローチ	6
3.1.3 心尖部アプローチ	6
3.2 Advanced FoCUS の観察断面	6
3.2.1 心窩部アプローチ	6
3.2.2 傍胸骨左縁アプローチ	6
3.2.3 心尖部アプローチ	6
3.2.4 M モード法	6
3.2.5 カラー Doppler 法	7
3.2.6 パルス Doppler 法	7
3.2.7 連続波 Doppler 法	7
4. 肺 POCUS のプロトコール	8
4.1 肺 POCUS とは	8
4.2 肺 POCUS の手技	8
4.2.1 スキャン部位	8
4.2.2 胸膜の同定	8
4.2.3 超音波装置の設定法	9
5. FoCUS の評価項目	9
5.1 Basic FoCUS	9
5.2 Advanced FoCUS	11
6. 肺 POCUS の評価項目	12
6.1 正常所見	12
6.2 異常所見	13
7. 臨床シナリオ	15
7.1 胸痛	15
7.1.1 FoCUS で確認すべき疾患	15
7.1.2 FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められ なかった場合	15
7.2 呼吸不全 (息切れ)	15
7.2.1 FoCUS で確認すべき疾患	15
7.2.2 FoCUS と同時に確認すべき病歴・身体 所見	15
7.2.3 FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められ なかった場合	16
7.3 循環虚脱・ショック	16
7.4 心肺蘇生	16
7.5 外傷	17
7.6 浮腫	17
7.6.1 片側性 (局所性) 浮腫	17
7.6.2 両側性 (全身性) 浮腫	17
7.6.3 FoCUS/ 肺 POCUS で確認すべき所見	18
7.6.4 FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められ なかった場合	18
8. 疾患, 病態別の活用法	18
8.1 心膜液貯留, 心タンポナーデ	18
8.1.1 心膜液貯留	18
8.1.2 心タンポナーデ	19
8.1.3 心膜炎	19
8.2 肺塞栓・肺高血圧	19
8.2.1 閉塞性ショック	19
8.2.2 超音波所見	19
8.3 虚血性心疾患 (急性冠症候群, 陳旧性心筋梗塞)	20
8.4 弁膜症	21
8.4.1 大動脈弁狭窄症 (AS)	21
8.4.2 僧帽弁閉鎖不全症 (MR) およびその他の 弁閉鎖不全症	21
8.5 シェント疾患 (ASD, VSD, 心室中隔穿孔)	22
8.6 心不全	23
8.6.1 FoCUS と肺 POCUS を用いた心不全診断	23
8.6.2 エコー所見	23
8.6.3 FoCUS を少し超えた評価法	24
8.7 非虚血性心筋症	24
8.7.1 エコー所見	24
8.7.2 FoCUS を少し超えた評価	25
8.8 心筋炎	25
8.8.1 急性心筋炎	25
8.8.2 慢性心筋炎	25
8.9 循環血液量減少性ショック (出血など)	25
8.10 気胸	25
8.11 肺炎	26
9. 状況別活用法	26
9.1 救急, 救命	26
9.2 集中治療	26
9.3 内科病棟, 当直	27
9.4 小児領域	27
9.5 開業医, プライマリ・ケア	28
9.6 看護領域	29
9.7 在宅医療	29
9.8 COVID-19 陽性, 疑い例	30
9.9 災害時	30
9.10 遠隔医療	30
10. FoCUS の教育, トレーニング	31
11. コスト, 対費用効果, 限界	32
文献	33

## 略語一覧

ACS	acute coronary syndrome
AR	aortic regurgitation
ARDS	acute respiratory distress syndrome
AS	aortic stenosis
ASD	atrial septal defect
CCU	coronary care unit
CT	computed tomography
DVT	deep vein thrombosis
ECMO	extracorporeal membrane oxygenation
EFAST	extended FAST
EPSS	E point-septal separation
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
FoCUS	focus/focused cardiac ultrasound
HFmrEF	heart failure with mildly reduced ejection fraction
HFpEF	heart failure with preserved ejection fraction
HFrEF	heart failure with reduced ejection fraction
IABP	intra-aortic balloon pumping
ICU	intensive care unit
JATEC	Japan Advanced Trauma Evaluation and Care
MAPSE	mitral annular plane systolic excursion
MR	mitral regurgitation
MRI	magnetic resonance imaging
MS	mitral stenosis
POCUS	point of care ultrasound
P-SILI	Patient self-induced lung injury
ROI	region of interest
SAM	systolic anterior motion
TAPSE	tricuspid annular plane systolic excursion
TR	tricuspid regurgitation
VSD	ventricular septal defect

## 1. はじめに

心エコー図検査は、循環器疾患の日常診療において各種心疾患の診断と病態の把握に欠かすことができない検査である。加えて、救急救命の診療現場においてしばしば患者の生命を左右する重要な情報が得られる画像診断でもある。一方、携帯型の超音波診断装置が開発され、高性能で小型かつ安価な装置が、救急救命施設はもちろん、集中治療、一般内科診療、在宅診療など多くの医療現場に超音波診断装置が配備されるようになった。心エコー図検査は、循環器を専門とする医師の多く、そして心エコー図検査の訓練を行ったソノグラファーが施行しているが、患者診療の場に心エコー図検査に精通した医師や技師が常にいるとは限らない。心エコー図検査の専門家がない状況においては、最初に患者に接する医師が心エコー図検査を行って治療方針を決定する必要がある。そのような状況に置かれた医師は、救急医、麻酔科医、内科医、研修医など自分のバックグラウンドに関わらず、心エコー図検査によって致命的な心疾患の有無を評価し、患者の生命予後を改善する責任がある。

近年、循環器領域に限らず、多くの診療領域においてベッドサイドで行う超音波検査が活用されており、Point-of-Care 超音波検査 (point of care ultrasound : POCUS) と呼ばれている。心臓領域の POCUS において、欧米では Focus (focused) cardiac ultrasound (FoCUS) と呼ばれるプロトコルが開発され、臨床で活用されており、教育シラバスが作成されている。それらによると、FoCUS は、標準化された限られた断面とプロトコルを用いて行う Point-of-Care の心臓超音波検査であると定義されている。FoCUS は主に非循環器医が施行することを前提とした診療手技であり、判断を誤らないためにはその限界を熟知し、従来の包括的心エコー図検査 (comprehensive echocardiography) でなければ診断できない病態を理解することが必要である。一般社団法人日本心エコー図学会は、本邦においてもこの FoCUS が有効かつ適切に運用されるべきであり、本邦で FoCUS を普及させるには適切な教育が不可欠であると考え、本手引きを作成することとした。

本来の FoCUS では、断層法で観察をして定性的な判断を行う。したがって、包括的心エコー図検査で施行されている計測は行わず、肉眼的な評価が原則である。しかしながら、経験者であっても肉眼的評価の判断に迷うことがあり、また、特に経験の少ない初学者にとっては判断ができないことがある。そのようなとき、例えば、左室拡大があるかどうか悩ましい場合、左室拡張末期径を計測し基準値と照らし合わせることはその判断に大いに役立つ。このような観点から、本手引きでは、FoCUS であってもキャリバー機能を用いた単純な距離計測を

行って診断に活用することを許容し、その基準値を記載することとした。一方、基本的な観察断面以外を用いた観察、比較的簡便に利用できるカラードプラ法を用いた観察、パルスドプラ法および連続波ドプラ法を用いた計測も、様々な病態把握に有用である、しかし、これらを FoCUS の手技に含めると初学者のハードルを上げかねないことから、まず習得すべき基本的な断面による病態の診断を basic FoCUS とし、それ以外は advanced FoCUS として記載することとした。

更に最近、肺 POCUS が臨床で用いられるようになってきた。肺エコーは、FoCUS と併用することで心不全の診断や経過観察にも有用であり、胸部レントゲン撮影ができない在宅医療では特にその有用性が高い。本手引きの作成ワーキンググループにおいて、肺エコーも FoCUS と併せての教育が望ましいという意見が一致したことから、本手引きに肺 POCUS の基本的手技とその利用法についても記載することとした。

## 2. FoCUS の位置づけ

### 2.1 FoCUS の位置づけ

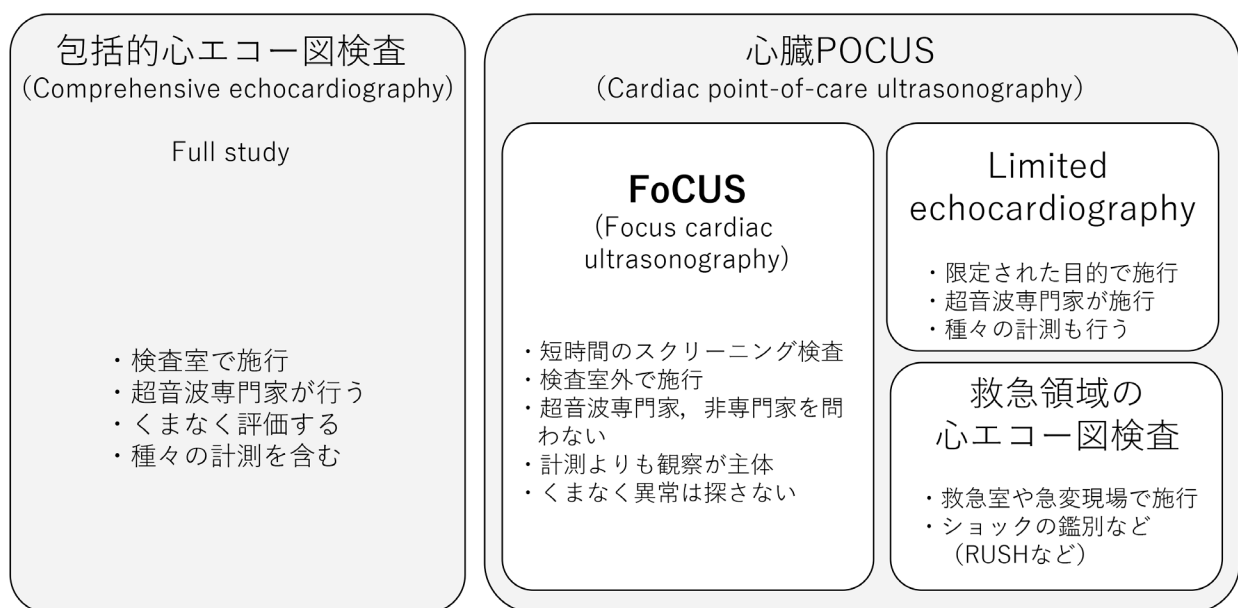
FoCUS とは、特定の臨床現場で多くの鑑別診断の中から診断を絞り込んで次の確定診断法を選択するために、あるいは、初期治療を急ぐような場合にはその内容を迅速に選択するために、短時間で施行可能な簡易プロトコルで行う心臓 POCUS である (図1)。

身体所見の診察と確定診断のための検査法の間位置し、身体診察を補助する側面が大きい。ここで特定の臨床現場とは、一般内科外来や循環器内科外来、救急外来、入院病棟、CCU を含む集中治療室 (Intensive Care Unit : ICU)、在宅訪問医療現場等のスクリーニング検査が必要とされる現場のことを指す。米国心エコー図学会では、FoCUS には次のような特徴があるとされている [1]。

- 目標指向的 (Goal-directed)
- 問題志向的 (Problem oriented)
- 限られた観察断面 (Limited in scope)
- 簡便 (Simplified)
- 短時間で行える、繰り返し施行 (Time sensitive and repeatable)
- 定性的あるいは半定量的 (Qualitative or semiquantitative)
- 患者診療の場所で施行 (Performed at the point of care)
- 通常臨床医が施行 (Usually performed by clinicians)

FoCUS は患者が検査室に赴いて検査室で施行する超音波検査とは異なり、患者診療の場所で行われるといった特徴を有する。したがって、移動しやすい小型機のほうが FoCUS に向く。実際、近年ポケットサイズのエコー機など超音波診断装置の小型化が進んだことが契機となって FoCUS が発達した経緯がある。ただし、大型機

図1 FoCUSの位置づけ



心エコー図検査は、包括的心エコー図検査 (Full study) と POCUS に大別される。POCUS には、FoCUS のほかに、Limited echocardiography や、救急領域の心エコー図検査が含まれる。



を用いて施行しても内容がFoCUSであればそう呼んでよい。

救急室でショックの原因を迅速に鑑別するために行う心血管POCUSプロトコルが複数存在するが[2]、それらはFoCUSと大血管POCUS（大動脈解離や大動脈瘤の有無）の複合と位置づけることができる。

## 2.2 FoCUS と limited echocardiography

FoCUSは、心エコー図検査の熟練者が行ってもよいが、熟練者しか行うことができない内容のものは含まない。非熟練者でも一定のトレーニングを行えば施行できる内容でないとFoCUSと呼ぶことはできない。限定的な目的で熟練者が行う“ちょい当て”ではあるが精査目的である心エコー図検査をlimited echocardiographyと呼び、FoCUSとは区別される[3]。例えば弁膜症の厳密な重症度を定量的に評価するため、あるいは、組織ドプラ法やストレイン法を用いて「駆出率の保たれた心不全（heart failure with preserved ejection fraction：HFpEF）」であるかどうかを診断するため、などの目的で観察項目を絞って施行する心エコー図検査はlimited echocardiographyである。

## 2.3 FoCUS と full study

胸痛や呼吸困難等の症候の原因が心血管系にないかどうかを、あらゆるテクニックを駆使してくまなく探す、いわゆるfull studyとは異なり、頻度が高いあるいは緊急度が高いような疾患を見落とさないように、簡単

かつ基礎的な手法で内容を絞って実施するのがFoCUSである。したがって、FoCUSで疾患や異常が見落とされる可能性があること、FoCUSでは診断に至らない病態もあることを理解しておくべきである。FoCUSで異常が検出された場合には、心エコー図検査の専門家にlimited echocardiographyあるいは、full studyを依頼して実施する必要がある。

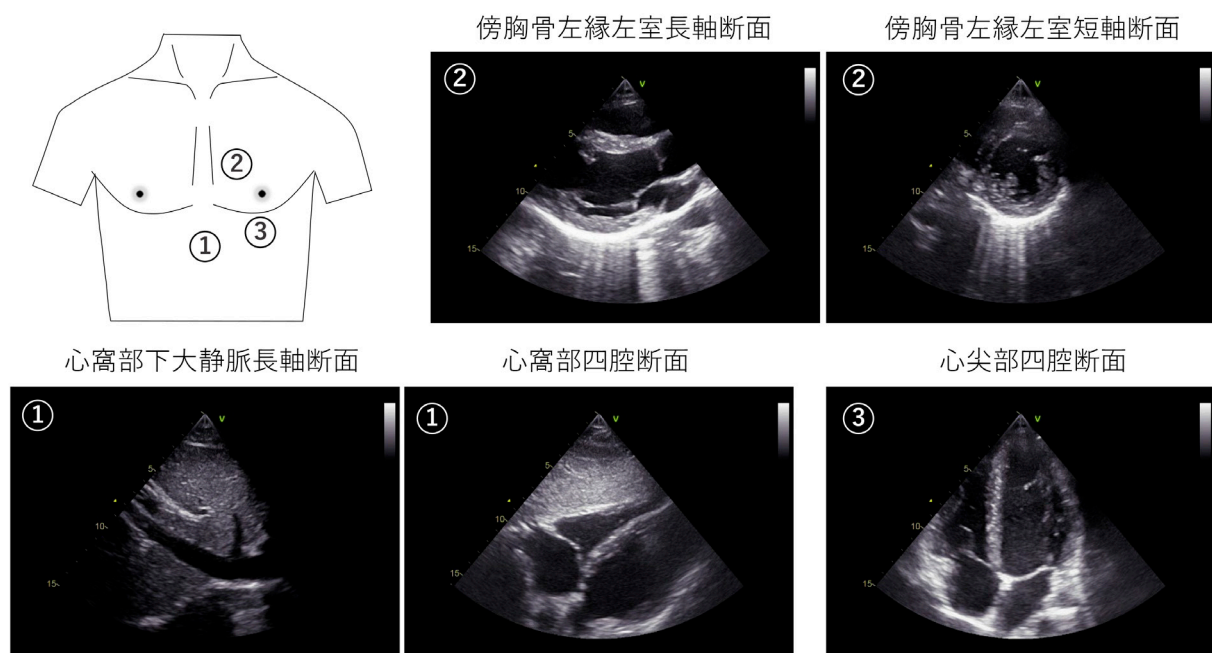
## 3. FoCUS のプロトコール

心臓領域のPOCUSには、麻酔科領域で普及しているFocus assessed Transthoracic Echo (FATE)[4]や、救急領域で用いられているFocused Echocardiographic Evaluation in Life Support (FEEL)[5]、プライマリ・ケア医から提唱されたCardiopulmonary Limited Ultrasound Examination (CLUE) [6]などのプロトコールがある。本ワーキンググループでは、米国心エコー図学会[1, 3]、欧州心血管画像学会[7, 8]、World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS) [9]など多くの国際学会が推奨しているFoCUSを心臓POCUSの基本プロトコールとして位置づけ、basic FoCUSと呼ぶこととした。これを基本に、重要な循環器疾患を発見する所見が得られる応用的な観察法としてadvanced FoCUSを設定した。

### 3.1 Basic FoCUS の観察断面

Basic FoCUSでは、以下にあげる3つのアプローチ法を用いて、5つの断面を観察する（図2）。

図2 Basic FoCUSの観察断面



心窩部、傍胸骨左縁、心尖部の3つアプローチを用いて、図に示す5つの断面を観察する。

### 3.1.1 心窩部アプローチ

#### ①下大静脈長軸断面（縦断面）

正中線上の剣状突起下にプローブを置き、インデックスマーカーを12時方向（頭側）に向ける。横断面上でティルティング操作を行い、下大静脈の長軸断面を描出する。下大静脈が右房へ流入する、下大静脈に肝静脈が流入する、下大静脈は拍動せず呼吸性変動がある、ことを確認して下大静脈を同定する。

#### ②心窩部四腔断面

下大静脈を観察した場所でプローブのインデックスマーカーを3時の方向に回転させ、肋骨の下に潜り込ませるようにプローブを倒して描出する。仰臥位で観察可能であり、左側臥位になれない患者や、慢性肺疾患、人工呼吸中など、胸壁からのアプローチが困難な場合にも有用である。この断面で心膜液貯留の有無や、左室収縮能、右室サイズなどが評価できる。

### 3.1.2 傍胸骨左縁アプローチ

#### ①傍胸骨左縁長軸断面

心エコー図検査の最も基本となる断面である。第3～4肋間の胸骨左縁にプローブを置き、インデックスマーカーを11時方向（患者の右肩方向）に向ける。僧帽弁、大動脈弁をまず観察し、左室が長軸方向に最も長く描出できるようプローブを回転させて微調整する。心室中隔の右室面と大動脈前面がほぼ同じ高さになるような画像がよい。本断面では、前壁中隔と下側壁（後壁）が観察できる。左室、右室のサイズと収縮能、心膜液や胸水の貯留の評価、大動脈弁と僧帽弁の観察を行う。

#### ②傍胸骨左縁短軸断面（乳頭筋レベル）

傍胸骨左室長軸断面で、乳頭筋が画面の中央に来るように調整し、プローブを90度時計回転させる。インデックスマーカーは2時方向（患者の左肩方向）を向く。左室が正円となり、前後の乳頭筋が均等に観察できる断面が良い。左室収縮能、局所壁運動異常を評価する。右室のサイズや心膜液貯留も評価できる。

### 3.1.3 心尖部アプローチ

#### ①心尖部四腔断面

心尖拍動の最強点か、そのやや外側下方にプローブを置き、プローブのインデックスマーカーはほぼ3時の方向で、左室と右室が最も大きく描出される断面を探す。左室と右室、左房と右房のサイズの評価、左室収縮能の評価に用いる。四腔断面で観察される左室壁は、前側壁（側壁）と下壁中隔である。

## 3.2 Advanced FoCUS の観察断面

Basic FoCUS の観察断面に追加して、advanced

FoCUS で観察する主な断面を図3に示す。

### 3.2.1 心窩部アプローチ

#### ①腹部大動脈長軸断面（縦断面）

下大静脈の縦断面からプローブを患者の左側に傾ける操作で、並走する腹部大動脈を観察する。動脈硬化の程度、動脈瘤や動脈解離の有無が診断できる。

#### ②下大静脈短軸断面（横断面）

下大静脈の横断面は楕円形が多いため、下大静脈の長径に近い切り方で長軸断面を描出すると、径を過大評価してしまう。それを回避するには、長軸断面からプローブを時計回りに90度回転させて、短軸断面を観察するとよい。断面が楕円形の場合は、短径で拡張の程度を評価する。中心静脈圧が上昇するにしたがって、下大静脈の断面は正円に近くなる [10]。

### 3.2.2 傍胸骨左縁アプローチ

#### ①傍胸骨左縁短軸断面（大動脈弁口レベル）

乳頭筋レベルの短軸断面から、プローブの先が頭側に向くよう傾けて描出する。大動脈弁、三尖弁、右室流出路、肺動脈弁が観察できる。

#### ②傍胸骨左縁短軸断面（僧帽弁口レベル）

乳頭筋レベルの短軸断面と大動脈弁レベル短軸断面の中間で、僧帽弁の器質的变化が観察される。カラードプラ法を用いると僧帽弁逆流症（mitral regurgitation : MR）のジェットが吹く方向が観察できる。

#### ③傍胸骨左縁短軸断面（心尖部レベル）

乳頭筋レベルの短軸断面から、プローブの先端が尾側に向くよう傾けて描出する。プローブの位置を一肋間下に下げたほうがよい。左室心尖部の局所壁運動の評価を行う。心尖部瘤を認めた場合には左室内血栓の有無を評価する。

### 3.2.3 心尖部アプローチ

#### ①心尖部二腔断面

四腔断面からプローブを90度反時計方向に回転させる。左室の前壁と下壁が観察できる。

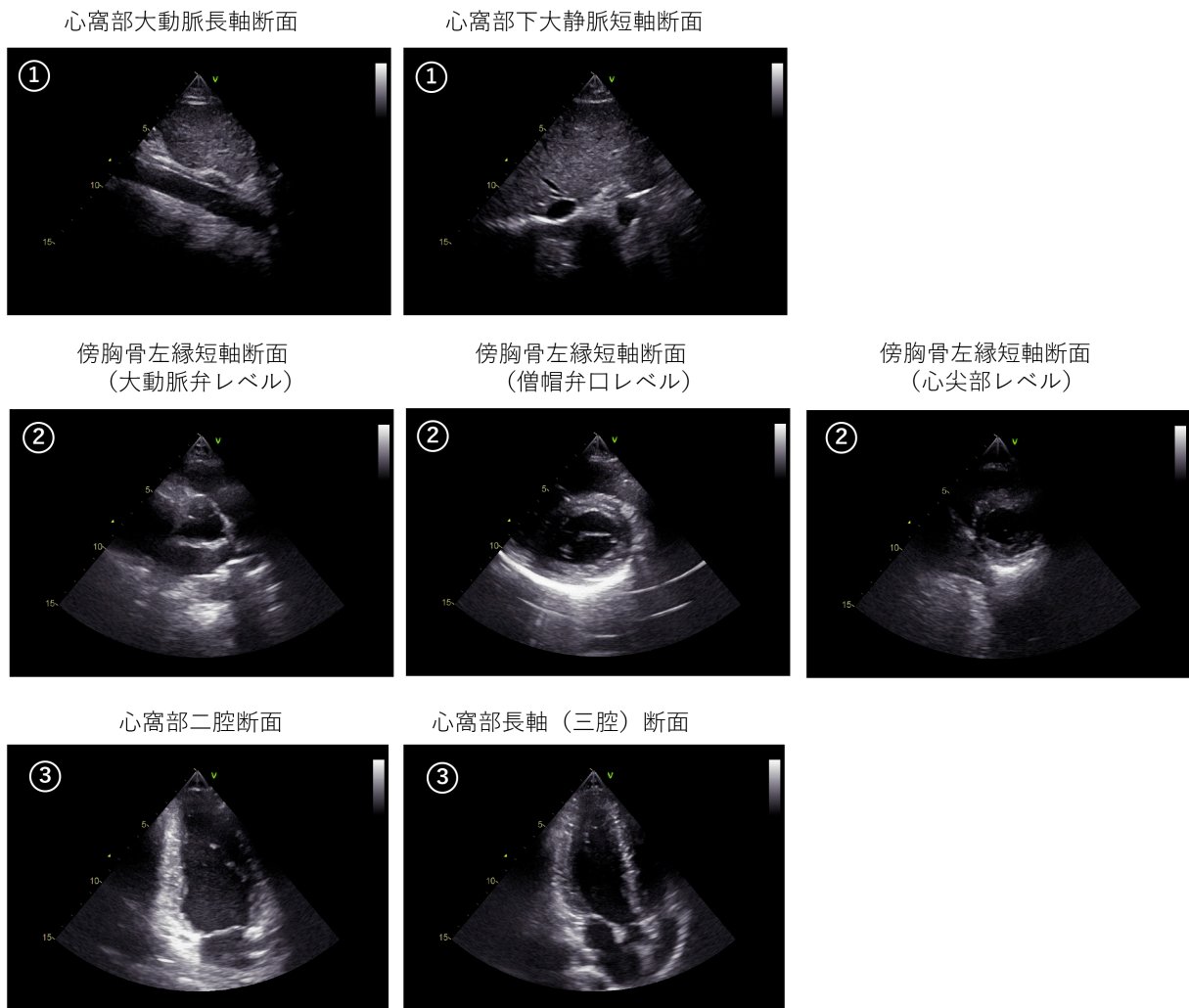
#### ②心尖部長軸断面（三腔断面）

二腔断面からプローブをさらに反時計方向に回転させる。傍胸骨左室長軸断面とほぼ同じ断面である。前壁中隔と下側壁（後壁）が観察できる。僧帽弁口血流速波形や左室駆出血流速波形を記録する断面である。僧帽弁口血流速波形は四腔断面で記録する場合もある。

### 3.2.4 Mモード法

心尖部四腔断面において、僧帽弁輪あるいは三尖弁輪にカーソルを設定してMモード図を記録する。それぞれ

図3 Advanced FoCUSの主な観察断面



Basic FoCUSの観察断面に加えて、ここに示すような断面での観察を行う。

れにおいて、拡張末期から収縮末期における移動距離を計測することで、僧帽弁輪収縮期移動距離 (mitral annular plane systolic excursion: MAPSE) および三尖弁輪収縮期移動距離 (tricuspid annular plane systolic excursion: TAPSE) が得られる。それぞれ、左室収縮能および右室収縮能の簡便な指標として用いられる。

また、傍胸骨左縁長軸断面で、僧帽弁の弁先にカーソルを設定して記録した僧帽弁 M モード図において、僧帽弁エコーの E 点から心室中隔までの距離 (E point-septal separation: EPSS) が左室収縮能の指標として用いられる。

### 3.2.5 カラー Doppler 法

上述した各断面で、カラー Doppler 法を適用すると、心腔内の血流情報を得ることができる。プローブに近づく血流が暖色系、プローブから遠ざかる血流が寒色系で表示される。弁狭窄や弁逆流など、血流速度が高速の部分はエリアシング現象により、暖色系と寒色系が混在した

モザイク信号が観察される。

### 3.2.6 パルス Doppler 法

血流速度を計測したい部位にサンプルボリュームを設定して、パルス Doppler 法を適用すると、血流速波形を得ることができる。通常の設定では、1.5 m/秒程度までの血流を記録することができる。左室流出路血流速波形を記録して一回拍出量を算出したり、僧帽弁口血流速波形や僧帽弁輪運動速波形を記録して左室拡張能を評価したりする場合などに用いる。

### 3.2.7 連続波 Doppler 法

血流速度を計測したい部位にカーソルを設定し、連続波 Doppler 法を適用すると、そのカーソルライン上のすべての血流速度が表示される。すなわち、Doppler 波形からカーソルライン上のどの部位が最も血流速度が速いかはわからない。大動脈弁狭窄症における大動脈弁口血流速度や、右室収縮期圧あるいは肺動脈収縮期圧を推定する



ために三尖弁逆流血流速度を記録する場合などに用いる。

## 4. 肺 POCUS のプロトコール

### 4.1 肺 POCUS とは

空気を多く含む肺を対象とする肺 POCUS では、腹部超音波検査のように肺実質を画像として捉えることができないため従来の超音波検査では評価不可能とされてきた。しかし、診断よりも判断を重視する POCUS の考え方では、呼吸不全をきたす病態の早期判断に肺 POCUS が有用であるとフランスの Daniel A. Lichtenstein が 2000 年前半に報告した。COVID-19 の流行で感染対策の観点からもその利便性が評価され、今では救急集中治療領域において必要な手技となりつつある。呼吸困難を訴える患者において、肺 POCUS で迅速に評価すべき病態としては、早期診断・介入が可能な気胸、肺水腫そして胸水貯留である。

肺 POCUS では、胸壁にプローブを当てた際に描出される胸膜と胸膜から生成されるアーチファクトを画像所見として捉える。そのため、肺 POCUS の基本は、胸膜を描出することにある。

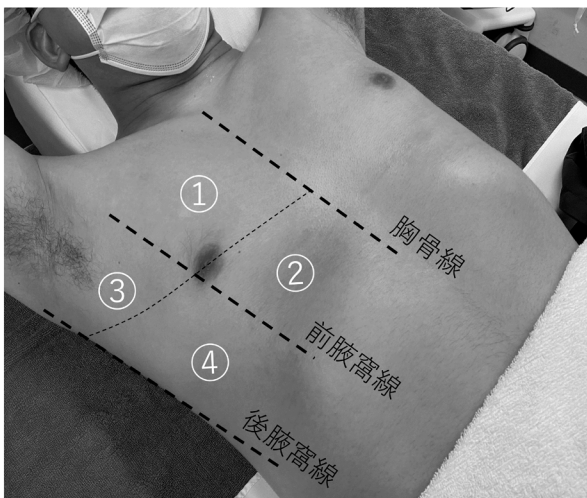
## 4.2 肺 POCUS の手技

### 4.2.1 スキャン部位

呼吸困難を訴えるような患者は、ベッド上で横たわっていることが多く、仰臥位での評価を基本とする。仰臥位・半坐位の状態、胸骨より前腋窩線まで、前腋窩線から後腋窩線までに分け、乳頭レベルで上下に分ける。

1：前胸上部、2：前胸下部、3：側胸上部、4：側胸下部の片側 4 箇所、両側 8 箇所を評価する（図 4）。

図 4 肺 POCUS のスキャン部位



①前胸上部、②前胸下部、③側胸上部、④側胸下部の片側 4 箇所、両側 8 箇所を肺 POCUS を評価する。

背部を含めて全ての肋間から評価するなどの報告もあるが、判断に必要な所見を得られればそれでよく、基本的には上記の両側 8 箇所を十分評価しうる。

### 4.2.2 胸膜の同定

#### ①プローブの選択

使用するプローブは、体表から 4～5 cm の深さにある胸膜を描出するため基本としてはリニアプローブが望ましい。胸膜を正しく同定できるならば、胸壁の厚い患者ではコンベックスプローブを用いる。FoCUS や心エコー図検査と同時に行う際には、胸膜の同定ができるならば、セクタープローブを利用してもよい。

#### ②画像の解釈

プローブを体幹の長軸に沿うように鎖骨中線上に置くと、順に皮膚・皮下組織、胸壁の筋群、肋骨・肋軟骨、肋間筋、胸膜ラインが描出できる（図 5）。胸膜ラインとは、壁側胸膜、胸膜表面を覆う僅かな生理的胸水、臓側胸膜、胸膜直下の肺胞の複合体であり、胸膜エコーコンプレックスとも呼称される。肺 POCUS でいう胸膜とはこの胸膜ラインを意味し、肋骨と胸膜ラインを繋いだ線があたかもコウモリが羽をひろげた形に見えるため Bat sign と呼ばれる。Bat sign は、胸膜を同定するための基本所見である。

図 5 Bat sign



肋骨と胸膜ラインを繋いだ線があたかもコウモリが羽をひろげた形に見える。

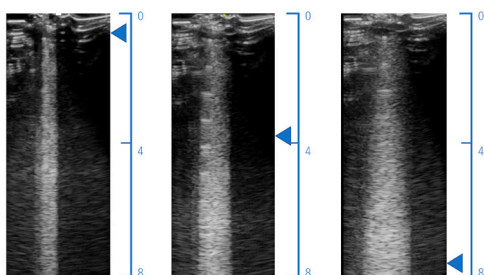
## 4.2.3 超音波装置の設定法

### ①フォーカスの設定

胸膜ラインを鮮明に描出するためには、フォーカスを胸膜ラインの深度に設定する必要がある。フォーカスが適切な位置でないと（深すぎると）、図6のように胸膜から生じるアーチファクト（後述する B-line）の幅が広がる。

図6 フォーカスの調整

□



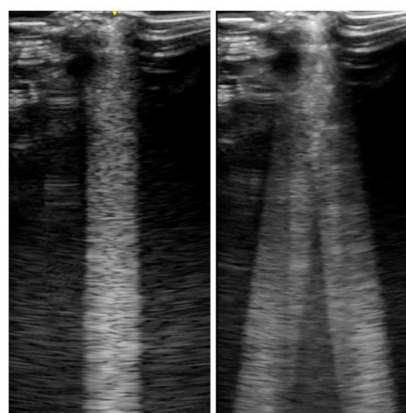
フォーカスを深く設定すると、Bラインの幅が太く描出される。

### ②コンパウンドイメージングを off に設定

従来の超音波検査ではいかにアーチファクトを抑えるかが重要であり、そのための技術が開発されてきたが、胸膜から生成されるアーチファクトを重要とする肺POCUSでは、その技術が画像解釈を誤らせてしまう。使用する超音波装置に「Lung」のプリセットが設定されていればそれを用いる。そうでない場合は、コンパウンドイメージングを off にすることで胸膜から生じるアーチファクトを正確に評価できる（図7）。また、ハーモニクモードも off にして、fundamental image で観察するほうがよい。

図7 コンパウンドイメージング

コンパウンド：オフ      コンパウンド：オン



肺POCUS施行時には、コンパウンドイメージングをオフにする。

## 5. FoCUS の評価項目

### 5.1 Basic FoCUS

Basic FoCUS における評価項目を表1に示す。

表1. Basic FoCUS の評価項目（チェックシート）

Basic FoCUS の評価項目					
心膜液貯留	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり			
心タンポナーデ	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり			
左室拡大	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり			
左室収縮能	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 軽度低下	<input type="checkbox"/> 重度低下	<input type="checkbox"/> 過収縮	<input type="checkbox"/> 心停止
右室拡大	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり			
下大静脈径	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 拡大	<input type="checkbox"/> 虚脱		
下大静脈径の呼吸性変動	<input type="checkbox"/> 正常	<input type="checkbox"/> 減弱	<input type="checkbox"/> 消失		



### ①心膜液貯留

心膜液貯留は、心膜と心臓の間のエコーフリースペース（黒く表示される無エコー領域）として観察される。左室後壁に収縮期のみに少量のエコーフリースペースを認める場合は生理的貯留といってよい。心膜液が増加すれば、心収縮期を通じてエコーフリースペースが見えるようになり、さらに増加すれば、左室後壁のみだけでなく、右室全面にもエコーフリースペースを認めるようになる。

### ②心タンポナーデ

心膜液貯留の量にかかわらず、心膜液貯留によって心膜腔内圧が上昇すると、心室の拡張制限が生じ心タンポナーデを来す。心タンポナーデは、収縮期の右房虚脱、拡張期の右室虚脱、下大静脈の拡張などの所見から判断する。詳細な評価法は後述する。心タンポナーデの所見を認めた場合には、可能であれば、advanced FoCUSで上行大動脈拡大や大動脈弁逆流をチェックして大動脈解離の可能性を考える。バイタルサインが不安定であれば緊急の心嚢ドレナージを考えなければならない。

### ③左室拡大

FoCUSに用いる超音波診断装置の観察深度を常に一定（通常、15～16 cm）にしておけば、画面に占める左室の大きさから、見た目でも左室拡大を判断することができる。FoCUSでは原則的に計測を行わないが、左室拡張末期径を計測し、55 mm以上であれば左室拡大と判断してもよい。正常な左室は縦長であり弾丸型の形態であるが、拡大すると球状となるため、そのような形態の変化から左室拡大を判断することもできる。心不全を疑う症状や身体所見のある例で、左室拡大・左室収縮能低下があれば心不全の可能性が高くなる。

### ④左室収縮能

現在、左室収縮能の指標としては、2断面ディスク法による左室駆出率が最も利用されている。しかし、計測に時間がかかり、誤差が生じやすく、計測のトレーニングを要することから、FoCUSでは一般的には用いられていない。左室収縮能を視覚的に評価するには、心内膜面の内方運動、左室心筋の壁厚の増大に注目して判断する。また、僧帽弁前尖の運動や、僧帽弁輪の運動も参考となる（左室収縮能が低下するとこれらの運動も小さくなる）。そして、左室収縮能を、①正常、②軽度低下、③重度低下、④過収縮、⑤心停止に分類する。

過収縮を評価することは、原因不明の低血圧や、呼吸不全の評価に有用である。過収縮が認められた場合には循環血液量の減少あるいは末梢血管拡張（敗血症など）

などが考えられる。また、広範囲の肺血栓塞栓症や、重度のMR、心タンポナーデ、さらに、甲状腺機能亢進症や貧血、感染症などによる高拍出性心不全も鑑別にあがる。

### ⑤右室拡大

傍胸骨左縁長軸断面で、画面の近位に右室流出路近傍が観察される。健常者では右室の径は上行大動脈や左房とほぼ同じであるので、上行大動脈や左房より大きく観察される右室は、拡大している可能性がある。傍胸骨短軸断面では、正常では三日月状の右室が円形の左室に接している。また、心尖部四腔断面では、三角形の右室が左室と並んでいる。したがって、これらの断面で両心室の大きさを比較することで、右室拡大を評価することができる。また、心室中隔の動きを観察することも重要で、右室負荷（容量負荷/圧負荷）が存在すると心室中隔の呼吸性変動（septal bounce）や、平坦化などの変化が観察される。右室が拡大し、収縮期にも左室側に心室中隔を圧排している場合には肺塞栓症とそれによる肺高血圧症が疑われる。Dダイマーや造影コンピュータ断層撮影（computed tomography：CT）を考慮して、必要に応じて肺血栓塞栓症の治療を行う。慢性的な肺高血圧症の可能性もある。

右室の拡大は、三尖弁逆流、肺動脈弁逆流、心房中隔欠損症などでも起こりうる。これらの容量負荷を来す疾患の場合には典型的には拡張期のみに中隔が左室側に圧排される。Advanced FoCUSで弁膜症やシャントの評価を行う。

### ⑥下大静脈の径と呼吸性変動

下大静脈の径と呼吸性変動は、心エコー図検査では中心静脈圧の推定に用いられている。FoCUSでは、下大静脈が拡大して呼吸性変動が減弱あるいは消失している場合に溢水の状態、逆に下大静脈が虚脱している場合を脱水と判断する。基本の観察断面は心窩部アプローチによる下大静脈長軸断面であるが、下大静脈拡大の評価には短軸断面の観察も有用である。短軸断面における下大静脈は正常では楕円形に観察されるが、拡大すると円形に近づく [10]。

自発呼吸では吸気時に胸腔内圧が陰圧となって下大静脈径が減少するが、人工呼吸による陽圧換気では、送気で胸腔内圧が上昇すると下大静脈は拡張する。下大静脈から溢水と判断された場合、心不全、三尖弁逆流、肺高血圧症、心タンポナーデ、収縮性心膜炎など様々な疾患が考えられる。それらの鑑別にFoCUSも有用であるものの、循環器内科医や臨床検査技師に依頼して心エコー図検査（full study）を施行することが望ましい。逆に、下大静脈が虚脱している症例では、利尿薬を内服

している場合などを除けば、下腿浮腫を認めても心原性は否定的である。

若年者や心房細動例、重症三尖弁逆流においては溢水でなくとも下大静脈が拡大している場合がある。

## 5.2 Advanced FoCUS

Basic FoCUSに加えて、advanced FoCUSで推奨される評価項目を表2に示す。

表2. Advanced FoCUSの評価項目 (チェックシート)		
Advanced FoCUS の評価項目		
上行大動脈拡大	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	
左室局所壁運動異常	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	: <input type="checkbox"/> 前壁中隔~心尖部 <input type="checkbox"/> 下側壁 <input type="checkbox"/> 下壁
左室肥大	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	: <input type="checkbox"/> 対称性 <input type="checkbox"/> 非対称性
左房拡大	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	
重症弁膜症	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	: <input type="checkbox"/> MR <input type="checkbox"/> MS <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> TR
シャント	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	: <input type="checkbox"/> VSD/心室中隔穿孔 <input type="checkbox"/> ASD
異常構造物	<input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり	: <input type="checkbox"/> 血栓 <input type="checkbox"/> 腫瘍 <input type="checkbox"/> 疣腫
肉眼的左室駆出率	%	(10%刻みでEFを推定)

MR: 僧帽弁逆流, MS: 僧帽弁狭窄, AS: 大動脈弁狭窄, AR: 大動脈弁逆流, TR: 三尖弁逆流, VSD: 心室中隔欠損, ASD: 心房中隔欠損, EF: 左室駆出率

### ①上行大動脈拡大

傍胸骨左縁長軸断面で評価する。上述のごとく、この断面では、正常の場合、右室流出路: 上行大動脈: 左房のそれぞれの径がほぼ等しいことから、上行大動脈径を右室流出路径、左房径と比べることで目視での評価ができる。計測を行うのであれば、40mm以上を拡大とする。Basic FoCUSで心膜液貯留・心タンポナーデがあって上行大動脈拡大がある場合、大動脈解離がないかどうかを確かめ、必要に応じて造影CT検査を施行する。

### ②左室局所壁運動異常

急性冠症候群(不安定狭心症、急性心筋梗塞)の診断には、左室局所壁運動異常の検出が非常に有用である。FoCUSの基本断面のみの観察では、特に下壁梗塞を見落とす可能性があり、傍胸骨アプローチであれば心基部レベルの短軸断面、心尖部アプローチであれば二腔断面や長軸断面も観察できるようになることが望ましい。局所壁運動異常があり、虚血性心疾患が疑われた際には、心電図や採血で急性虚血があるのかを判断する。急性虚血がある場合には心臓カテーテル検査、血行再建の適応

について検討する。

### ③左室肥大

高血圧性心疾患、大動脈弁狭窄症のような後負荷が増大する疾患では左室は対称性(びまん性)に肥大する。心アミロイドーシスやファブリー病などの蓄積疾患でもびまん性に肥大することが多い。一方、心室中隔だけ肥厚するなど局所的な肥大を認めた場合(非対称性肥大)は肥大型心筋症を疑う。

目視による左室肥大の判定は、左室径との相対的な評価にならざるを得ない。左室壁厚は、12mm以上を肥大ありと判定することが多い。

### ④左房拡大

左房の拡大は、傍胸骨左縁長軸断面においては右室流出路径、上行大動脈径との相対的な評価、また、同断面あるいは心尖部四腔断面で左室との相対的な評価で判断する。計測をするのであれば傍胸骨左縁長軸断面で収縮末期の左房前後径が45mmを超えれば左房拡大と判断する。

左房拡大がある場合には拡張障害とそれによる慢性

的な左房圧上昇が疑われる。左室駆出率が保たれていても、左房拡大を認める場合には HFpEF を疑い、循環血漿量の評価を考慮してガイドラインに従って心不全治療を行う。

慢性心房細動ではそれだけで左房拡大が生じる。この左房拡大による僧帽弁輪の拡大などによって MR が生じることがあり、心房性機能性 MR (atrial functional MR) と呼ばれる。

#### ⑤重症弁膜症

弁膜症の成因精査や重症度評価は POCUS の範疇を超える。しかし、循環不全の患者においてその原因を究明するため、大まかに弁膜疾患を評価することは、心臓 POCUS の重要な項目である。弁膜症の基本的な評価には、各弁構造の断層法による観察と、カラードプラ法による弁逆流や弁狭窄の評価、さらに心房・心室サイズや機能の評価が含まれる。慢性の重症 MR および重度大動脈弁逆流症 (aortic regurgitation : AR) は通常左室拡大を伴う。重症弁膜症の存在が判れば、原因不明の心不全、肺水腫、敗血症性ショックの患者管理の方向性を決めることができる。

重症 MR、重症大動脈弁狭窄症 (aortic stenosis : AS) は高齢者に多い疾患であり、日常臨床で遭遇する機会も多い。急性心筋梗塞の機械的合併症である、乳頭筋断裂による僧帽弁閉鎖不全症を検出することは臨床的に重要であるが、急性発症の MR では左房拡大がなく、カラードプラ法による弁逆流シグナルも観察しにくいことがあり注意が必要である。重度僧帽弁狭窄症 (mitral stenosis : MS) を来すリウマチ性弁膜症は少なくなったが、動脈硬化による僧帽弁輪石灰化によって重度 MS も生じることがある。大動脈バルーンポンピング (intra-aortic balloon pumping : IABP) や体外式膜型人工肺 (extracorporeal membrane oxygenation : ECMO) を検討する際、それらの禁忌となる大動脈弁閉鎖不全症を除外することも重要である。

#### ⑥シャント

カラードプラ法を用いると、比較的容易に心室中隔欠損症や心房中隔欠損症を発見することができる。心房中隔欠損症は成人まで見逃されていることもあり、右室拡大を来す疾患である。また、心筋梗塞の合併症としての心室中隔穿孔を検出することもできる。

#### ⑦異常構造物

心腔内に腫瘤を指摘することは、脳梗塞の原因検索、感染性心内膜炎の診断などに有用である。血栓、腫瘍、疣腫は、その形態、サイズ、付着部位など、それぞれに特

徴的な所見を知っておく必要があるが、超音波診断でその組織性状を確定することはできない。

#### ⑧肉眼的左室駆出率

左室収縮能の指標としては、2断面ディスク法による左室駆出率が最も利用されていると述べたが、左室駆出率を視覚的に評価する“肉眼的左室駆出率 (visual EF)”を、急性疾患患者に用いることの有用性が、多くの研究で実証されている。近年の心不全診療ガイドラインでは、左室駆出率が 50% 以上 (HFpEF) か、40% 未満 (駆出率の低下した心不全 (heart failure with reduced ejection fraction : HFrEF)) かどうかで心不全の治療方針が異なるが、その判断にも肉眼的左室駆出率は有用である。

## 6. 肺 POCUS の評価項目

### 6.1 正常所見

健常な肺は、含気がおおく、胸郭一杯に肺が広がっている。肺 POCUS でその状態を評価すると、Lung sliding, Lung pulse, A-line, Curtain sign が観察される (図 8, 図 9)。ただし喘息や慢性閉塞性呼吸器疾患などの病態では、肺 POCUS の所見が正常像を示すため、

POCUS 所見だけでなく、患者状態と合わせて正常であるかを判断する。肺 POCUS で推奨される評価項目を表 3 に示す。

#### ① Lung sliding (図 8 左図)

壁側胸膜に対する臓側胸膜の呼吸性の動きであり、胸膜ライン上で左右に往復する所見。

#### ② Lung pulse (図 8 中図)

心拍動が肺を介して胸膜へ伝達され、胸膜ラインが心拍動に同期しながら垂直方向に動く所見。

#### ③ A-line (図 8 右図)

含気良好な肺で認められる、プローブと胸膜との間で生じる多重反射である。プローブを胸壁に対し垂直当てることではっきりと描出できる。喘息/慢性閉塞性肺疾患などの過膨張肺や気胸でも観察される。

#### ④ Curtain sign (図 9)

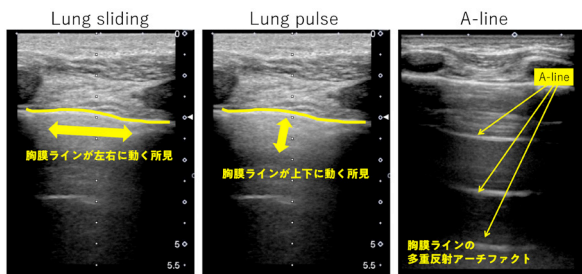
呼気時に描出される横隔膜下臓器 (肝臓、脾臓) が吸気時に肺で (一部) 隠される所見。肺底部の含気が良好であることを示す。



表3. 肺POCUSの評価項目（チェックシート）

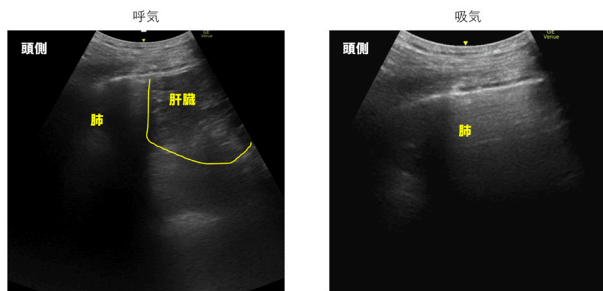
肺 POCUS の評価項目						
	左 側		右 側			
Lung sliding	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり		
Lung pulse	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり		
Multiple B-lines	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> あり		
胸水	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 少量	<input type="checkbox"/> 大量	<input type="checkbox"/> なし	<input type="checkbox"/> 少量	<input type="checkbox"/> 大量

図8 正常な肺POCUSの所見



含気が多い正常肺では、このようなエコー所見が観察される。

図9 正常な肺POCUSの所見（つづき）



吸気時に横隔膜下の臓器が見えなくなることを Curtain sign という。

## 6.2 異常所見

### ①気胸

肺 POCUS による気胸の診断精度は、メタ解析では感度 79%、特異度 98% であり、胸部 X 線検査の感度 40%、特異度 99% に比べ優れている [11]。特に仰臥位の胸部レントゲン検査では occult pneumothorax と呼ばれる前胸部の気胸を評価することができず、肺 POCUS が有用である [12]。また約 2 時間の肺 POCUS のトレーニングを受ければ、気胸を正確に診断することができるため、初学者でも習得しやすい [13]。

気胸の病態は、臓側胸膜と壁側胸膜の間に空気が貯留

する。そのため、lung sliding・lung pulse・B-line が観察されなくなる。さらにまた気胸に特異的な所見として lung point（図 10）が観察される場合がある [14]。

#### a. Lung sliding の消失 a.

感度 90% の所見。ただし巨大な bulla や癒着胸膜、片肺挿管などでも lung sliding の消失が認められ、気胸に特異的ではない。

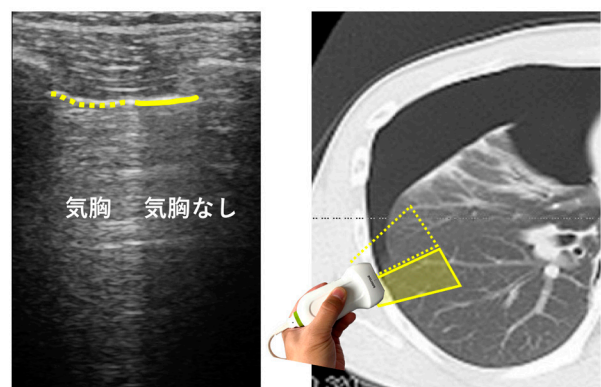
#### b. Lung pulse の消失

気胸では臓側胸膜が胸壁から離れるため、lung pulse が消失する。

#### c. Lung point（図 10）

胸膜が接する部位と接しない部位の境界で、lung sliding が出現・消失を繰り返す所見（感度 60%、特異度 100%） [15]。

図10 Lung point



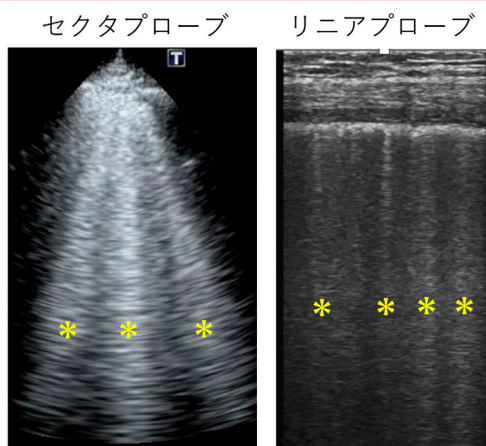
気胸が生じて胸膜が胸壁と接している部位と、接していない部位の境界を Lung point といい、特異度が高い所見である。

### ②肺水腫

救急外来における肺 POCUS による心原性肺水腫の診断精度はメタ解析では、感度 94%、特異度 92% とされている。また心原性肺水腫の診断に肺 POCUS だけでなく、心臓超音波検査を組み合わせることが有用と報

告されている [16, 17]. 肺 POCUS を用いることで、胸部レントゲン撮影を減らすこともできる。肺内の水分密度が高まると、胸膜ラインから垂直方向に減衰せずに伸び、A-line をかき消す高輝度線状アーチファクトである B-line が増加する。B-line は一肋間に 1, 2 本程度は正常肺でも認められるが、3 本以上観察される場合を multiple B-lines と呼び、肺水腫の所見である (図 11) [18]. B-line は胸膜から派生するアーチファクトであり、このアーチファクトを適切に描出するためには、肺のプリセットを選択するか空間コンパウンドイメージングをオフとし、フォーカスは胸膜ラインに近づける必要がある (図 6, 7) [19].

図11 Multiple B-lines

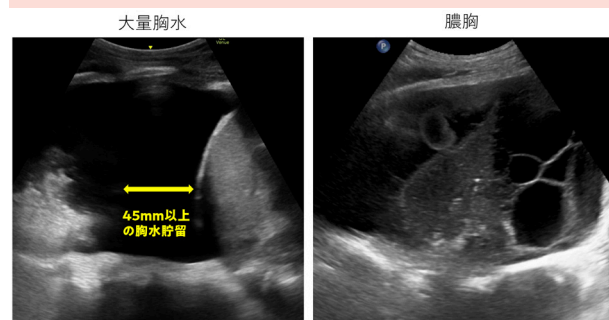


一肋間に 3 本以上の B-line (\*) が観察される場合は、Multiple B-lines といい、肺水腫の所見である。

また片側 2 か所以上かつ両側で multiple B-lines を認めた場合は、diffuse multiple B-lines と呼ぶ。Diffuse multiple B-lines は肺全体に水分が貯留した状態であり、心原性肺水腫だけでなく、急性呼吸促進症候群 (acute respiratory distress syndrome : ARDS) などの非心原性肺水腫、間質性肺炎などのびまん性肺疾患でも認められる。一方で局在性に認められる multiple B-lines を focal multiple B-lines と呼び、肺炎、肺挫傷、肺梗塞、悪性疾患などで認められる。

③胸水 (図 12)

図12 胸水と膿胸



肺 POCUS では、胸水の有無も確認する。胸水のエコー性状により、漏出性胸水 (左図) か滲出性胸水 (右図) かがある程度鑑別できる。

表4. 胸痛の鑑別診断

心臓疾患	急性冠症候群, 狭心症, 心膜炎
脈管系疾患	急性大動脈解離, 胸部大動脈瘤, 肺血栓塞栓症, 肺高血圧
呼吸器疾患	気管支炎, 肺炎, 胸膜炎, 気胸, 膿胸, 縦隔炎
消化器疾患	逆流性食道炎, 食道痙攣, アカラシア, 胃十二指腸潰瘍, Mallory-Weiss 症候群, 胆石症, 胆嚢炎, 膵炎
整形外科疾患	肋骨骨折, 肋軟骨炎, 肋間筋痙攣, 頸椎ヘルニア, 脊椎炎, 脊椎圧迫骨折, 脊椎腫瘍
胸壁疾患	乳腺炎, 带状疱疹, Tietze 症候群
心因性	パニック障害 (心臓神経症), 過換気症候群

肺 POCUS による胸水の診断精度は感度 100%, 特異度 100% であるのに対し、胸部 X 線検査ではそれぞれ 65%, 81% であった [20]. 胸水が背側の脊椎近傍に貯留すると、Curtain sign が見えにくくなる。心不全による静水圧亢進や低アルブミン血症などの膠質浸透圧低下で生じる漏出性胸水は、細胞成分や線維素が少ないため、無エコー領域として描出されることが多い。一方、感染や腫瘍などによる滲出性胸水は混濁するため、描出され

る胸水の内に渦巻く点状の所見を示す。また滲出性胸水では柵状のフィブリンや被包化成分なども見られ、漏出性胸水との鑑別になる [21]. 両側に貯留していれば心不全の可能性はあるが、腎不全や低アルブミン血症の可能性もある。片側性であれば肺炎や腫瘍の可能性があり、胸部 CT などのさらなる精査を進める。

Curtain sign が消失する程度の胸水貯留 (肺底部で 45mm 以上) は大量と考え、安全にドレナージできるス



ペースがある。一方で、Curtain sign を認める、肺底部に胸水を認める程度は少量と考える [22]。

## 7. 臨床シナリオ

### 7.1 胸痛

#### 7.1.1 FoCUS で確認すべき疾患

胸痛を訴える患者における鑑別疾患には表 4 に示すように多種多様な疾患がある。これらの鑑別疾患の中でも、特に致死性の高いものに急性大動脈解離、急性冠症候群、急性肺血栓塞栓症があり、それらは“Killer chest pain”と呼ばれ、見逃してはならない疾患である。胸痛に対して、そのような緊急疾患を診断する POCUS のプロトコールとして、EASY スクリーニングが提唱されており [23]、これは advanced FoCUS を含めた評価となっている。Basic FoCUS だけでは胸痛症例への対応は難しく、advanced FoCUS の実施が推奨される。

突然の胸背部痛に加えて心膜液貯留を認める場合には、Stanford A 型大動脈解離の可能性を考える。Advanced FoCUS では、上行大動脈拡大や大動脈内フラップおよび大動脈弁逆流の存在を確認する。

左室収縮能低下を認める場合、左室拡大の有無が胸痛の鑑別診断に大いに役立つ。左室収縮能低下に対する代償機構として左室拡大を認めれば、心筋症や弁膜症に伴う心筋障害が左室収縮能低下の主な原因と考えられる。Advanced FoCUS で左室肥大や左房拡大の有無を確認し、カラードプラ法を用いて MR や大動脈弁逆流の存在を確認する。一方、左室拡大を伴っていなければ、胸痛の原因疾患として急性冠症候群や急性心筋炎といった急性疾患を考える。Advanced FoCUS では、左室壁運動異常の領域が冠動脈支配領域に一致しているか否かを確認することで、冠動脈疾患の関与を推察できる。大動脈解離が冠動脈起始部におよぶことで冠動脈狭窄を生じることがあるので、急性冠症候群が疑われた場合には大動脈解離の関与を除外するために上行大動脈を観察すべきである。

胸痛例で右室拡大を認める場合、胸痛の原因として肺塞栓症が最も疑われる。収縮期にも拡大した右室により心室中隔を介して圧排され扁平化した左室 (D-shape) が観察されれば、右室圧負荷増大に対する代償機構として右室が拡大していることを示唆する。Advanced FoCUS では、右室自由壁の壁運動が中間部では無収縮であるのに心尖部では正常である右室自由壁運動異常 (McConnell 徴候) を認めれば、右室後負荷増大の経過が急性である可能性が高い。また、パルスドプラ法による右室流出血流速度波形で加速時間の短縮や二峰性波形

といった肺血管抵抗上昇を示唆する所見も観察される。

緊張性気胸も“Killer chest pain”の一つである。肺 POCUS で Lung sliding が認められない場合には気胸が疑われる。胸部 CT の所見を合わせて確認し、緊張性気胸であれば胸腔ドレナージを考える。

#### 7.1.2 FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められなかった場合

表 4 に挙げるように胸痛の原因疾患は多岐に及ぶため、FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められないことも多い。しかし、その場合は致死的な疾患ではない可能性が高いということで、ゆっくりと対応することができる。重篤な疾患を迅速に否定できる、という点も FoCUS/ 肺 POCUS の利点と言える。

### 7.2 呼吸不全 (息切れ)

#### 7.2.1 FoCUS で確認すべき疾患

呼吸困難に対する FoCUS の有用性がこれまでの報告で示されている。FoCUS + 胸部エコーを用いた群 (POCUS 群) と従来の診断 (初期評価と X 線, CT, 心エコー, 血液検査, 血液ガス) とを比べた研究によると、診断に要した時間は POCUS 群では  $24 \pm 10$  分、従来群では  $186 \pm 72$  分 ( $P = 0.025$ ) と有意に短かった [24]。また心不全の診断について POCUS 群における感度は 88%、特異度は 96% と良好な結果を示した [24]。

呼吸不全 (息切れ) を主訴とする患者を診た時に、FoCUS/ 肺 POCUS で確認しなければならない疾患 / 病態には心不全、肺塞栓症、胸水、気胸がある。また、心不全を来す疾患として虚血性心疾患、心筋症、弁膜症 (感染性心内膜炎やシャント、腫瘍によるものを含む) がある。

#### 7.2.2 FoCUS と同時に確認すべき病歴・身体所見

胸痛があれば狭心症や心筋梗塞、心膜炎、気胸が疑われる。起坐呼吸は左心不全のマーカーである。血圧が低下して頻脈となっていればショック状態などの重篤な状態が疑われる。タンポナーデの場合にも血圧の低下と頻脈が認められる。脈が不整であれば心房細動が考えられる。発熱があれば感染性心内膜炎などの感染を念頭に置く。頸静脈怒張があれば循環血漿量増加が疑われる。タンポナーデの場合にも頸静脈は怒張する。心尖拍動の位置が外側に広がっていれば心拡大が示唆される。III 音が聴取されれば心不全の可能性が高い。収縮期雑音が聴取されれば駆出性雑音か汎収縮期雑音か区別する。駆出性雑音であれば大動脈弁狭窄症が疑われ、汎収縮期雑音の場合には MR や三尖弁逆流症、シャントの可能性がある。

心膜摩擦音があれば心膜炎と考えられる。

下腿の浮腫が両側性であれば心不全や腎不全、低栄養状態が考えられる。片側性であれば深部静脈血栓症とそれからくる肺血栓症の可能性がある。

### 7.2.3 FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められなかった場合

FoCUS/ 肺 POCUS で異常が認められなかった場合も、呼吸不全（息切れ）という症状の場合には、重篤な疾患は否定できない。心電図、採血、CT などの検査を行うと同時に、入院して経過観察するなどの対応を検討すべきである。

## 7.3 循環虚脱・ショック

循環虚脱やショックを呈する患者においては、速やかに原因診断と不安定な血行動態への対応を行う必要がある。ショック患者の評価に multi-organ POCUS を用いると初期診断がより正確になることが示されている [25]。また、Multi-organ POCUS の中でも FoCUS の評価により、閉塞性ショックの除外、あるいはショックの病型推定に役立つ。Multi-organ POCUS では「ショックへの迅速超音波プロトコル（Rapid Ultrasound in SHock: RUSH）」[26] が有名であり、その中の basic FoCUS の項目を主体に説明する。

RUSH プロトコルでは、循環生理学的に 1) ポンプ、2) タンク、3) パイプを 3 段階で評価してショックの病型を推定する。ステップ 1 は、第一に心臓、「ポンプ」を、左室、右室、心嚢に焦点を絞って判断する。最初に心嚢を見て、閉塞性ショックをきたすような心嚢液がないかどうかを観察する。二番目に左室の大きさと全体的な収縮能を調べ、心原性ショックの有無を判断する。三番目は、左室に対する右室の相対的な大きさの判定に焦点を絞り、右室負荷があるかどうかを判断し、左室と比較して右室が大きい場合は、広範性肺塞栓症にともなうショックを疑う。ステップ 2 では、血管内容量が充分かどうかの「タンク」を判断する。下大静脈径および呼吸性変動から、虚脱した下大静脈であれば循環血液量減少性ショックの可能性、緊満した下大静脈であれば閉塞性ショックや心原性ショックの可能性を疑う。また、血管内容量低下の徴候となり得る病態に関して、胸腔や腹腔の評価（胸水や腹水など）もタンクの評価に含まれる。ステップ 3 では、大動脈と大静脈の「パイプ」を評価する。Basic FoCUS のレベルを超えるが、腹部大動脈と胸部大動脈を観察し、パイプに破裂や解離がないかを確認する。静脈系として大腿静脈の圧迫性を観察し、直接圧迫した時に静脈が完全に圧排されない場合は、深部静脈血栓症が強く疑われ、間接的に広範性肺塞栓症によるショックが

示唆される。

循環虚脱やショックの患者では、診断、治療ともに迅速な対応が要求されるため、ショックの病型推定に FoCUS を用いることは理にかなっている。ただし、ショックの病型が 1 つではないことも少なくないため、心原性と血液分布異常性の合併、血液分布異常性と循環血液減少性の合併などに留意が必要である。これらの混合性ショックを除けば RUSH プロトコルによるショック病型の診断精度は感度、特異度とも 90% を超える [27]。

## 7.4 心肺蘇生

蘇生の現場でも POCUS が広く利用されるようになり、その方法論や効果などが数多く報告されている。蘇生時の適切な教育を受けた臨床医による超音波での評価は有用とされている。領域によりその数は様々であるが、25 症例以上の経験が求められている [28]。蘇生時に行われる超音波の評価では心窩部あるいは傍胸骨から観察されることが多く、その他に肺、下大静脈、脈拍の確認、挿管チューブの確認、深部静脈血栓の評価、大動脈の評価、FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) などが行われる [29]。最近の報告では、心窩部からの評価よりも傍胸骨左縁長軸断面の方がより短時間で質のよい評価ができるとの報告もある [30]。蘇生時の超音波における評価に伴い、心臓マッサージの中断時間をできるだけ短くすることが求められる [31]。現時点では、国際蘇生学会は超音波の所見のみでは予後を推測し、蘇生を中断する判断を行うには十分な感度がないとしている [32, 33]。

蘇生時に行われる超音波での評価について、その目的の一つに心停止の原因を診断することにある。心タンポナーデ、肺塞栓による右心不全、心腔内血栓、心室細動など、心停止の原因を FoCUS により診断することができる。また肺エコーにより緊張性気胸、大量血胸、大量胸水などが評価できる。挿管チューブの評価により食道挿管の有無も評価できる [34]。また下肢静脈の評価により深部静脈血栓症の評価、大動脈の評価により大動脈解離あるいは大動脈瘤の評価、FAST により腹腔内出血の評価ができる。これまで蘇生時の超音波による評価方法としていくつかの評価方法が報告されている [5, 29, 35-39]。いずれの評価方法でも、心タンポナーデ、肺塞栓、緊張性気胸、大動脈解離、大動脈瘤、循環血液量の評価が含まれる。しかしその診断精度については現在のところ議論のあるところである [40]。

蘇生時の超音波での予後評価については、超音波所見のみの判断については十分なエビデンスはない [28, 32]。非外傷蘇生での PEA や心静止では、蘇生中に心臓の動きを認めた場合、心拍再開する可能性は高く、治療を継



続するかどうかの判断に影響を与える可能性があるが、超音波所見のみで予後の判断はすべきではないとされている。外傷患者の評価時に心臓の動きが観察できない場合には、生存の可能性は極めて低いと報告されている [41]。また、蘇生時に心腔内血栓を認めた場合には、蘇生の中지를検討される状況の可能性が高いと報告されている [42]。PEA の時に、超音波による評価において心臓の動きを認めるものを pseudo PEA とし、心臓の動きを認めないものを true PEA する報告もあり、pseudo PEA は true PEA に比べて予後が良いと報告されている [5, 43]。

## 7.5 外傷

2002年に導入された Japan Advanced Trauma Evaluation and Care (JATEC) の普及により日本では外傷初期診療の標準化が進み、超音波を使用して心膜液、血胸、出血を外傷の初期診療にて検索する FAST が広く認知されるようになった。さらに気胸の評価を加えた extended FAST (EFAST) が現在では推奨されている [44]。EFAST を行うことで適切な外傷初期対応につながる事が報告されている [45]。EFAST の精度については、気胸については感度 69%、特異度 99%、心膜液については感度 91%、特異度 94% と報告されている [46]。また 2019 年のシステムティックレビューでは、POCUS による気胸の診断について、感度 98.6%、特異度 85.5% と報告されている [47]。EFAST では感度に限界があることに注意が必要であり、結果が陰性であっても完全に外傷が否定できないため、臨床的に疑われる場合には繰り返し評価を行うことが重要である [48]。心膜液の評価は心窩部より行い、プローブを上から握るように保持し、心臓の四腔を描出し、心臓周囲の液体貯留の有無を観察する。腹腔内出血の評価では、右上腹部では肝臓周囲、モリソン窩、右腎臓周囲、右胸腔内に、左上腹部では脾臓周囲、左腎臓周囲、左胸腔内に、恥骨上では膀胱周囲、膀胱直腸窩に液体貯留の有無を確認し、出血があるかどうかを観察する。肺の評価では、左右鎖骨中線第 3～4 肋間から lung sliding を確認することで気胸の有無を観察する [49]。

心臓外傷が疑われる場合、その評価でも超音波が広く使用されており、その際には局所壁運動異常、右室のサイズや機能、弁異常、心腔内シャントや血栓の有無、心膜液の有無を評価する。しかし肺や胸壁の外傷を伴うことが多く、画像描出が困難となることがある。外傷患者において心電図変化を伴う場合、トロポニンの上昇を認める場合、あるいは不整脈が出現し血行動態が不安定な場合には、心臓外傷を疑い評価する必要がある [50]。心臓の評価は、EFAST に加えて FoCUS を行う [51]。心

臓外傷には鈍的外傷と穿通性外傷がある。鈍的外傷の場合は血行動態が安定していれば保存的加療となるが、血行動態が不安定の場合や超音波にて異常所見を認めた場合には手術での治療が考慮される。穿通性外傷の場合にはバイタルが安定しているようであれば手術室での治療が考慮されるが、バイタルが不安定な場合には蘇生あるいは緊急開胸が考慮される [52]。

胸部外傷では POCUS を用いて気道、肺、横隔膜、血管、心臓の観察を行う [53]。気道の評価では、輪状甲状間膜の確認や、挿管時の位置の確認を行う。肺 POCUS では、lung sliding の消失と lung point が観察された場合には気胸を疑う。鈍的胸部外傷では、胸部外傷に対する POCUS の外傷性気胸に対する感度 75%、特異度 100% とされ [54]、胸部レントゲンよりも超音波での評価の方が気胸の診断精度が高いと報告されている [55]。また血胸に対しては感度 67%、特異度 99% と報告されている [56]。

## 7.6 浮腫

浮腫は組織間質への過剰な体液の貯留のことであり、多様な原因によって生じるとされる。問診、血液・尿検査、画像検査等を複合的に用いて診断することが必要である。浮腫のアプローチでまず大事なのは片側性（局所性）浮腫または両側性（全身性）浮腫かという点である。

### 7.6.1 片側性（局所性）浮腫

急性に生じた片側性の下腿浮腫であればまずは深部静脈血栓症の存在を確認することが先決である。この場合、Wells criteria [57] を用いてリスクの層別化を行った上で、下肢静脈エコーを行う。外来で実施可能な下肢静脈エコーのプロトコールとしては 2 領域（3 領域）圧迫法 [58] がある。総大腿静脈と膝窩静脈の 2 領域、あるいはそれらに加えて代替静脈の 3 領域についてプローブで静脈の圧縮性の有無を確認し血栓の有無を評価する方法である。

また局所の浮腫に発赤腫脹を生じているようであれば蜂窩織炎などの軟部組織感染症を疑う。この際同部位を高周波リニアプローブで観察しておくことは緊急疾患の除外となる。すなわち流動内容を伴う低エコー域を認めた場合は皮下膿瘍を疑い排膿を考慮し、ガスを疑う高エコー所見が見られる場合には壊死性筋膜炎を疑い緊急対応が必要となる [58]。

### 7.6.2 両側性（全身性）浮腫

全身性浮腫の鑑別として多いのは、うっ血性心不全、慢性下肢静脈不全、肺高血圧症、蛋白尿を伴う腎炎、薬剤性などである [59, 60]。

本疾患のように心疾患の既往があり、病歴や身体所見から心不全の悪化が疑われる場合には、FoCUS/肺POCUSを行い、迅速に鑑別をすすめる。

臓以外に、腹部、下肢静脈、甲状腺など)等を組み合わせて診断することが必要である。

### 7.6.3 FoCUS/肺POCUSで確認すべき所見

Basic FoCUSでは右心不全を示唆する下大静脈の拡大、右室拡大、さらに左心不全を示唆する左室拡大、左室収縮能の低下について注意を払い観察する。

HFrEFのように左室収縮能の低下をきたしている場合はbasic FoCUSでも判断が容易であるが、左室駆出率が軽度低下した心不全(heart failure with mildly reduced ejection fraction: HFmrEF)やHFpEFの場合に評価が必要な左室拡張能はbasic FoCUSでは評価は困難である。この場合advanced FoCUSとして左室肥大、左房拡大は参考となる。

また肺POCUSを組み合わせることで、両側びまん性のmultiple B-linesや胸水貯留を確認し左室拡張機能低下を類推することもでき有用である。

### 7.6.4 FoCUS/肺POCUSで異常が認められなかった場合

全身性浮腫、片側性浮腫の原因は上記鑑別疾患以外にも多岐にわたるため、血液検査、尿検査、超音波検査(心

## 8. 疾患、病態別の活用法

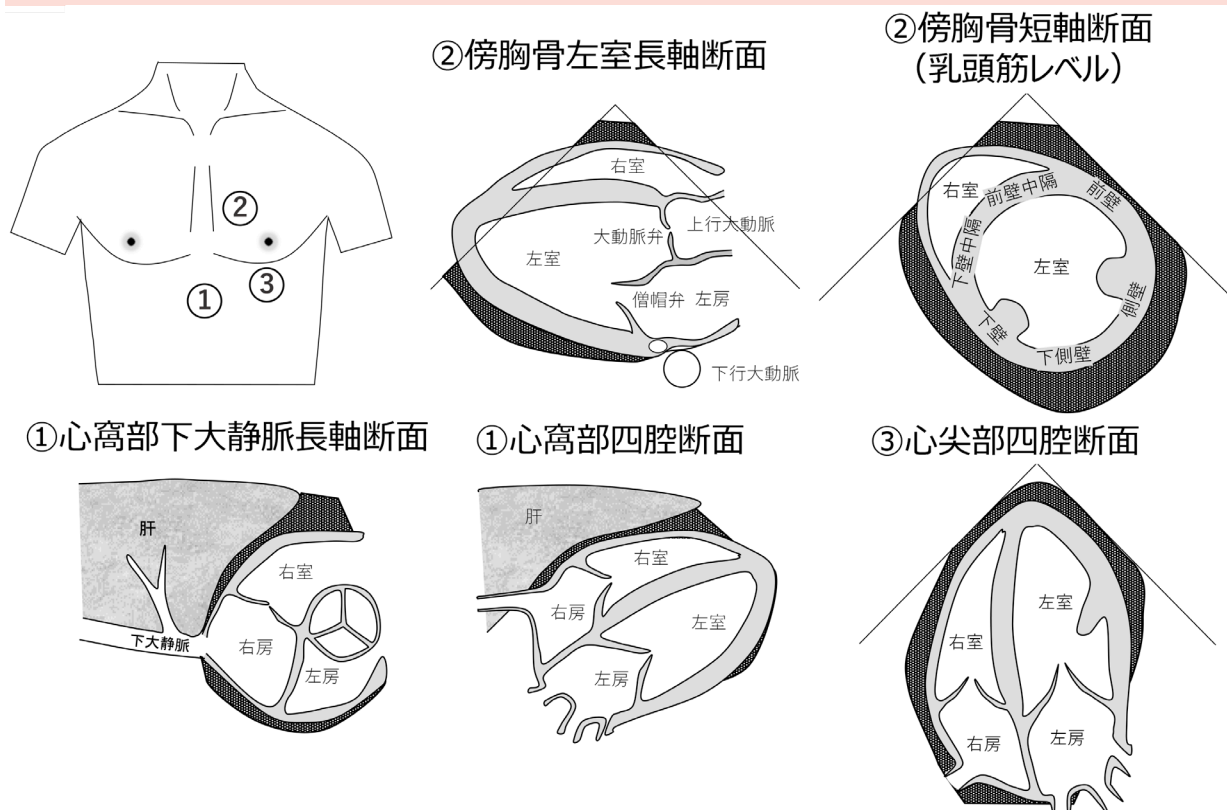
### 8.1 心膜液貯留、心タンポナーデ

心膜液貯留が大量であれば心タンポナーデの可能性はある。少量でも急速に貯留した場合には心タンポナーデを来す可能性がある。タンポナーデサインが認められた場合には、advanced FoCUSが可能であれば、上行大動脈拡大やARをチェックして大動脈解離の可能性を考える。バイタルサインが不安定であれば緊急の心嚢ドレナージも考える。

#### 8.1.1 心膜液貯留

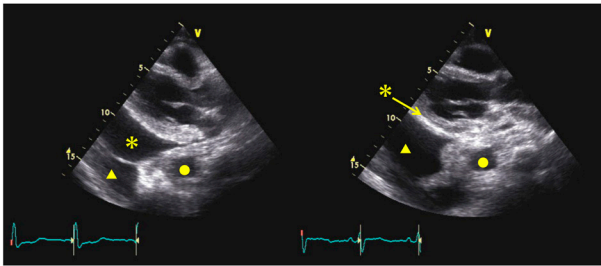
壁側心膜と臓側心膜の間に心膜液が貯留するとエコーフリースペースとして観察される。心膜液貯留におけるFoCUSの観察ポイントを図13示す。下行大動脈の内側にあるエコーフリースペースは心膜液、外側は胸水と判断する(図14)。心外膜脂肪を心膜液と見間違ふ可能性があるが、脂肪はエコー輝度が心膜液より高く、心周期に伴う移動がある。心膜液貯留が観察された際には、貯留量のみならず病状経過と血行動態の把握が非常に重要である[61]。急激な心膜液貯留の原因として、急性心膜炎、心筋梗塞、上行大動脈解離などがあげられる。

図13 心膜液貯留の観察ポイント



Basic FoCUSの観察断面における心膜液貯留の見え方を示す。

図14 心膜液と胸水



大動脈(●)と心臓の間にエコーフリースペースが見られる場合は心膜貯留(\*)である。胸水貯留(▲)との鑑別が重要である。

### 8.1.2 心タンポナーデ

心膜液貯留が観察された際には、心タンポナーデの有無を判断する必要がある。線維性心膜は強靭ですぐには伸展できないため、少量の液体でも急速に貯留すれば心タンポナーデを生じる。一方、長い経過を経て心膜液が増加した場合には心膜が伸展されるため、ある程度貯留するまでは心タンポナーデを生じない[62]。心タンポナーデでは、呼吸困難や胸部不快感、末梢性浮腫、倦怠感などの非特異的な症状がみられる。その他、洞性頻脈や奇脈(吸気時に収縮期血圧が10 mmHg以上低下)なども見られるが、いずれも特異的な徴候ではなく、臨床症状のみから診断を下すことは難しい。心タンポナーデは、病歴、身体所見、超音波所見を組み合わせることで診断することが重要である。

Basic FoCUSにおいて、“心膜液貯留”、“下大静脈の拡大”、“左室内腔の狭小化”が観察された際には、心タンポナーデを呈しているか否かの診断が求められる。心膜液貯留を認めた場合は、観察ポイント(図13)で心膜液の量や分布の他に下記の項目の有無を確認し、心タンポナーデの有無を判断する。

- ①心窩部下大静脈長軸断面：下大静脈の拡大、呼吸性変動の減弱
- ②心窩部四腔断面：右房・右室の虚脱、振り子様運動
- ③胸骨左縁左室長軸断面：右室の虚脱
- ④胸骨左縁左室短軸断面：振り子様運動
- ⑤心尖部四腔断面：心膜液の量や分布、右房・右室の虚脱、振り子様運動

Advanced FoCUSでは、心膜液の量や分布に加えて、下記の項目の有無を確認する。

- ①一回拍出量の低下と吸気時のさらなる低下(パルスドプラ法)
- ②左室流入血流速波形の呼吸性変動(パルスドプラ法) 拡張早期波が吸気時に減高し、呼気時に増高する。
- ③上行大動脈拡大や大動脈弁逆流

突然の胸背部痛に加えて心膜液貯留を認める場合に

は、Stanford A型大動脈解離の可能性を考え、上行大動脈拡大やフラップ(血管内の線状エコー)および大動脈弁逆流の存在を確認する。

心タンポナーデを呈する場合や、細菌感染性・癌性・あるいは全身炎症性疾患に伴う心膜液貯留が疑われ心膜液の性状評価が必要な場合は、心エコー法ガイド下(および透視化)で心膜穿刺によるドレナージを行う。一方で心膜の肥厚や炎症の評価には、心臓造影CTや心臓磁気共鳴イメージング(magnetic resonance imaging : MRI)が優れているため、これらの画像診断を組み合わせることで診療を行う。

### 8.1.3 心膜炎

心膜液貯留が観察された際、その原因として考えるべき疾患の一つに心膜炎がある。心膜液貯留に加えて、心膜の肥厚やエコー輝度上昇が観察される場合があるが、心膜の肥厚や炎症の評価には心臓造影CTや心臓MRIが優れているため、これらの画像診断を組み合わせることで診療を行う際の合併症である心筋炎を示唆することがある。

## 8.2 肺塞栓・肺高血圧

### 8.2.1 閉塞性ショック

FoCUSはショックを呈した重症肺血栓塞栓症例の右室の急性拡大に高い検出力を有している。まれに右室あるいは右房内に血栓像を認めることもある。血行動態が安定した右室拡大のない症例においては、FoCUSだけで肺血栓塞栓症の否定はできない。しかし、ショックを呈する血行動態不安定症例において右室拡大がなければ、急性肺血栓塞栓症はまず考えられない。

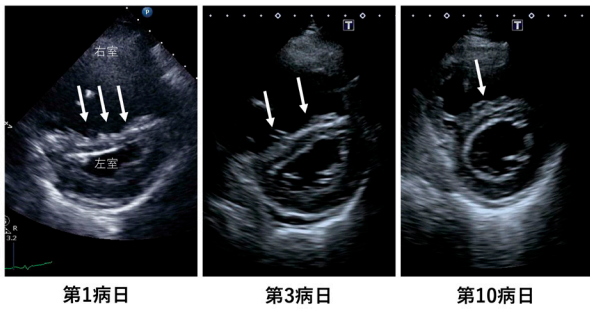
肺POCUSでは、急性肺血栓塞栓症においてdry lungを示唆する顕著なAラインおよび肺梗塞に伴う浸潤影とともに、下肢静脈エコー検査で深部静脈血栓症が観察されることがある。

### 8.2.2 超音波所見

重度の肺高血圧症においては、圧負荷のため右室が拡大し、心尖部四腔断面において心尖部の位置を右室腔が占め、左室が圧排される。傍胸骨左縁短軸断面では心室中隔が平坦化し左室が扁平化するためアルファベットのD形(D shape)にみえる。これらの異常は収縮期に観察されることが多い。(図15)



図15 急性肺血栓栓塞症：傍胸骨左縁短軸断面の時間経過



入院初日は右室拡大および左室扁平化が強かったが、第3病日目にはその傾向が弱まり左室はD型に改善した。第10病日にはほぼ円形に回復し、ほぼ正常形態に戻った。

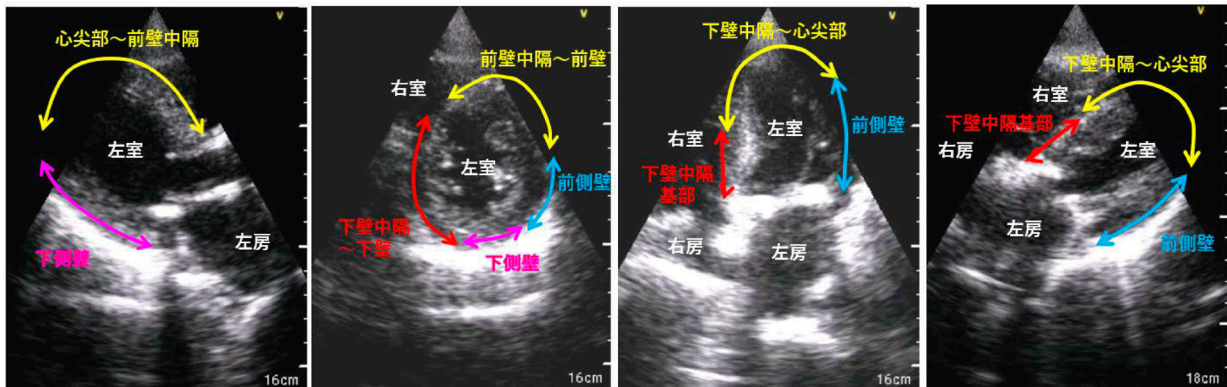
肺塞栓症の急性期に認められる McConnell 徴候（右室心尖部の壁運動は保たれているが、右室中部～基部の壁運動が低下する）は特徴的な心エコー図所見として良く知られている。

下大静脈は右心系圧の上昇のため拡張し呼吸性変動は乏しくなる。まれに、下大静脈から右房、右室、肺動脈のいずれかに浮遊血栓が見られることがある。

### 8.3 虚血性心疾患（急性冠症候群，陳旧性心筋梗塞）

急性の胸痛を訴える患者では、鑑別診断のひとつである急性冠症候群（acute coronary syndrome：ACS）であるかどうかを診断するため、心電図検査とともに advanced FoCUS を行って左室局所壁運動異常の有無を評価する必要がある。低収縮（hypokinesis）あるいは無収縮（akinesis）、収縮期外方運動（dyskinesis）のいずれかについての厳密な診断は不要で、有無についてのみ診断できればよい。FoCUS における左室局所壁運動異常の視覚的評価には傍胸骨長軸断面・短軸断面と心尖部あるいは心窩部四腔断面が用いられる（図16）。

図16 Basic FoCUSの基本断面における冠動脈支配



傍胸骨左縁長軸断面

傍胸骨左縁短軸断面

心尖部四腔断面

心窩部四腔断面

黄色が左前下行枝領域，青が左回旋枝領域，赤が右冠動脈領域，いずれの支配領域にもなり得る。

紫で示した下側壁は左回旋枝と右冠動脈のオーバーラップ領域で

熟練者が施行した FoCUS による左室局所壁運動異常の検出感度と特異度は患者単位で 97% と 99% [63]，分画単位ではいずれも 99% であり [64]，非常に高い。しかし，FoCUS では画質が低くて評価できない分画が多いこと，FoCUS を非熟練者が施行した場合には正診率が低下し得ることに注意が必要である [65]。

心電図で ST の上昇や低下といった心筋虚血所見があった際に FoCUS を施行し，左室局所壁運動異常が伴えば ACS と即時に確定診断をできるとともに，心筋虚血の局在診断や責任冠動脈の推測もできる。診断後は緊急心臓カテーテル検査・治療を急がなければならない。心電図所見で心筋虚血所見があるのに FoCUS で局所壁運動異常が検出されない場合に，急性冠症候群でないと即断してはいけない。心電図所見が明らかな場合には

FoCUS による局所壁運動異常の見落としを疑われなければいけない。心電図所見が心筋虚血の疑いとどまり，FoCUS で局所壁運動異常が検出されない場合には，血液検査によるトロポニン値等，他の検査結果も併せて慎重に ACS かどうかの診断を進める。また，多枝病変の際には左室壁運動異常がびまん性である場合があるので，びまん性だから ACS でないとは決して言えない。一方，心筋症による左室収縮能低下はびまん性であることが多いが，心筋障害が不均一な際には心筋症においても局所壁運動異常も生じうることを知っておく必要がある。

心不全の可能性のある呼吸困難例においても，その原因が ACS である可能性があり，胸痛例と同様に心電図検査と FoCUS による左室局所壁運動異常評価を行うべきである。心電図で現在の心筋虚血を疑わせる所見が乏

しいにもかかわらず左室局所壁運動異常がある際には、陳旧性心筋梗塞を疑う。心筋梗塞の既往や、陳旧性心筋梗塞を示す心電図所見（異常 Q 波など）、FoCUS で局所壁運動異常部の輝度上昇や壁厚菲薄化の所見を伴えば、さらに陳旧性と考える根拠となる。

また、心筋梗塞の合併症の検出においても FoCUS は有用である。左室自由壁破裂による心タンポナーデ、乳頭筋断裂に伴う急性 MR、心室中隔穿孔については心タンポナーデ、弁膜症、シャント疾患の項にそれぞれ記載する。

## 8.4 弁膜症

成人の心臓弁膜症では AS と MR が多く、いずれも心不全の重要な基礎疾患である [66, 67]。

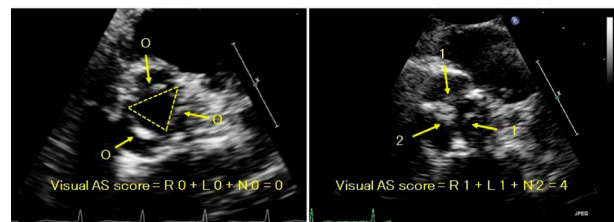
### 8.4.1 大動脈弁狭窄症 (AS)

現代の AS は加齢性の硬化によるものが多い。胸痛や失神、心不全の原因となるため、それらの症状のある患者を診た時には FoCUS によって AS の有無を診断することが必要である。傍胸骨長軸断面と短軸断面で開放の程度と肥厚や石灰化の程度を観察する。FoCUS による中等症以上の AS に対する定性的な診断能を調べた 2 つの研究における診断感度は 63-76%，特異度は 88-100% だった [63, 68]。一方、大動脈弁三尖の開放を FoCUS の大動脈弁短軸断面を用いて簡便に半定量する visual AS score (0-6 点の 7 段階スコア) という指標も提唱されている (表 5, 図 17)。同スコアが 3 点以上であることは、中等症以上の AS を感度 84%，特異度 90%，重症 AS を感度 100%，特異度 73% で診断できると報告されている [69]。駆出性収縮期雑音を聴取するだけで心エコー図検査 (full study) を依頼するのではなく、AS が有意であることを示唆する他の身体所見異常 (雑音の頸部への伝達や雑音のピークの遅れ、2 音の減弱、頸動脈の遅脈、頸動脈の shudder) を少なくとも一つ伴った際に FoCUS を行い、visual AS score が 3 点以上であれば精査心エコー図検査に進むというプロトコルも提唱されている。このプロトコルによれば重症 AS を見逃すことがなく (感度 100%)、58% の不要な心エコー図検査 (full study) を避けることができると試算された [70]。また、visual AS score を用いた FoCUS は救急医による救急室での AS の検出にも有用であると報告されている [71]。

表 5. 大動脈弁狭窄症の視覚的スコア (visual AS score) [69]

点数のつけ方
三尖のそれぞれで、 弁尖全体が交連部を結んだ仮想直線より開く場合を開放制限なし = 0 点 同線より開かない部分がある場合を開放制限あり = 1 点 弁尖の動きがないか、わずかな場合を開放制限高度 = 2 点 三尖の点数を合計した 0-6 点の 7 段階スコアが visual AS score
visual AS score の解釈
2 点以下で AS は軽症以下である可能性が高い、少なくとも重症ではない
3 点以上で AS は中等症以上である可能性が高くさらなる評価が必要である
3 点以上でさらなる評価へ進めば重症 AS を見逃さない.....
4 点以上で AS は重症である可能性が高くさらなる評価を急ぐ必要がある

図 17 Visual AS score の算出例



左図の症例は 0 点で AS を認めない。右図の症例は 4 点であり重症の AS が疑われるが、少なくとも中等症以上であることは間違いない。

### 8.4.2 僧帽弁閉鎖不全症 (MR) およびその他の弁閉鎖不全症

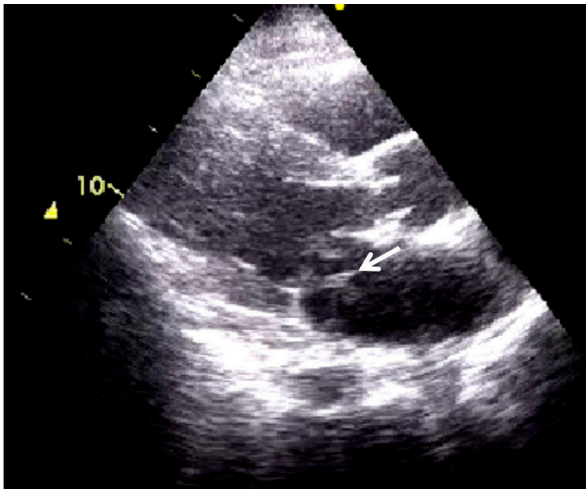
慢性 MR には、逸脱症を主とする器質性 (一次性) MR と機能性 (二次性) MR とがある。機能性 MR は心室性と心房性に大別される。器質性 MR は心不全の原因とはなるが結果ではない。一方、機能性 MR は心不全が悪化した結果として劇的に悪化し、心不全がさらに進行する原因ともなり得る。すなわち、心不全の病勢を表す指標でもあるとともに治療のターゲットでもあると考えるべきである。

急性 MR には急性心筋梗塞に伴う乳頭筋断裂や特発性の腱索断裂、感染性心内膜炎によるものがあり、緊急で確定診断する必要がある。乳頭筋断裂は、ST 上昇型心筋梗塞の約 1% において発症 2 週以内に合併する。好発時期は心筋梗塞発症後 4 日以内である。右冠動脈一枝に支配されている後乳頭筋に生じやすい。すなわち下壁梗塞に合併しやすい。断層図では、僧帽弁弁尖が過剰に運動して弁尖先端が収縮期に左房に落ち込み (flail)、同



部位から起始するMRが認められる。断裂した乳頭筋は腱索に付着する塊状エコーとして観察される（図18）。

図18 乳頭筋断裂



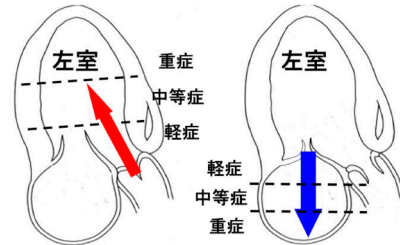
僧帽弁に付着した可動性に富む塊状エコー（矢印）が断裂した乳頭筋である。

FoCUSでも検出することが可能だが、感染性心内膜炎に伴う疣腫等との鑑別が難しいので、画像のみで診断すべきでなく状況とあわせて考えるべきである。内科的治療による死亡率は高く、IABPや血管拡張薬で血行動態の改善を図りながら、外科的治療を緊急に準備する必要がある。

FoCUSでは、ジェット幅や面積を計測して半定量するのではなく視覚的に定性的評価を行う。図19のように心腔を3等分して到達度によって評価する定性方法が簡便だが、ARでは到達度よりジェット幅の評価がより重要視される。MRや三尖弁逆流症（tricuspid regurgitation：TR）においても到達度よりジェット幅、さらには縮流部（逆流弁口のわずかに下流で最もジェット幅が細い部分、vena contractaと呼ぶ）の幅のほうが重症度評価においてより重要であることを知っておく必要がある。左房を旋回するMRジェットが認められるときには間違いなく重症と考えて良い。心エコー図（full study）では定性または半定量評価の後に定量評価へ進むことになるが、FoCUSではカラードプラ法のみを用い、かつ、計測せず視覚的にのみ評価する。明確な基準が決まっていないことが欠点であり、現存する種々の評価法を参考にして検者が定性的に判断せざるを得ない。また、カラードプラ法による逆流ジェットの表示は白黒とカラードプラのゲイン、角度等によって大きく変化することも知っておく必要がある。急性の重症MRでは左房圧の著明な上昇によって左室左房の圧較差が小さくなり、収縮期雑音やカラードプラ法でのジェットの明るさが減弱するので過小評価しないようにしなければならない。

FoCUSによる中等症以上のMRに対する定性的診断能を調べた2つの研究における診断感度と特異度は71-93%、特異度は81-99%だった[63, 68]。また、これらの研究において、中等症以上の大動脈弁逆流に対する診断感度は82-83%、特異度は89-99%、中等症以上の三尖弁逆流に対する診断感度は65-88%、特異度は90-98%だった。

図19 弁逆流の半定量的評価法



- AR ジェットの幅による評価：（左室流出路の幅に対して）
  - <25% : 軽症
  - 25-65% : 中等症
  - >65% : 重症
- MR ジェットの面積による評価：
  - <4 cm<sup>2</sup> : 軽症
  - 4-10 cm<sup>2</sup> : 中等症
  - >10 cm<sup>2</sup> : 重症
 （左房の面積に対して）
  - <20% : 軽症
  - 20-40% : 中等症
  - >40% : 重症

弁逆流の程度を、FoCUSではカラードプラ法のみを用い、かつ、計測せず視覚的に評価する。

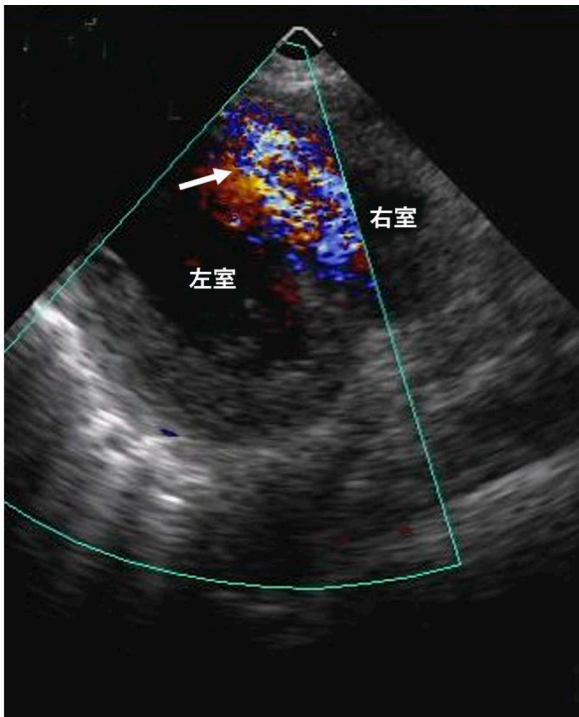
## 8.5 シャント疾患(ASD, VSD, 心室中隔穿孔)

有意な心房中隔欠損症（atrial septal defect：ASD）があれば右心拡大は必発である。したがって右心拡大がある際には他の右心負荷疾患を鑑別しながら心窩部四腔断面で心房中隔にカラードプラ法のregion of interest（ROI）を置いて左房から右房へ流れる左右シャントがないかどうかを確かめればよい。

聴診で全収縮期雑音を聴取した際には、鑑別診断がMR（最強点が心尖部）か心室中隔欠損症（ventricular septal defect：VSD）（最強点が胸骨左縁）、TR（最強点が胸骨左縁でしばしば頸静脈の収縮期陽性波を伴う）、急性心筋梗塞の合併症としての心室中隔穿孔の4疾患に限定される。したがってカラードプラ法でそれらを検出するよう努める。心室中隔穿孔は、ST上昇型心筋梗塞の数%未満において、発症2週以内に合併する（図20）。好発時期は心筋梗塞発症後4日以内である。前壁梗塞に伴って心尖部寄りの心室中隔に生じやすいが下壁梗塞にも合併しうる。断層像においても中隔の穿孔部を観察し得るが、カラードプラ法を用いて左室から右室への短絡血流を探したほうが検出感度は高く、本症が疑われた場合には基本断面にこだわらず種々の斜め切りの断面（off-axis view）も含めて検索すべきである。本症における内科的治療による死亡率は高く、IABPや血管拡張薬で後負荷を軽減させて左右短絡の減少を図りなが

ら、外科的治療を緊急に準備する必要がある。その早期発見に聴診と FoCUS は非常に重要である。

図20 心室中隔穿孔 (カラードブラ法)



急性心筋梗塞の合併症としての心室中隔穿孔がある。外科的治療を緊急に準備する必要があるため、早期発見に聴診と FoCUS が非常に重要である。

## 8.6 心不全

### 8.6.1 FoCUS と肺 POCUS を用いた心不全診断

心エコー図検査による心不全診断は、左室充滿圧や中心静脈圧の上昇の有無の評価により行われる。左室充滿圧の推定に主に用いられるドプラ法は FoCUS の評価項目に含まれないため、FoCUS では、下大静脈拡張の有無により循環血漿量を評価し、左室充滿圧上昇をきたし得る病態を検出することで、間接的に心不全を診断する。さらに、肺 POCUS を用いて胸水や肺うっ血の有無の評価を加味して最終的に心不全の可能性を判定し、心不全が疑わしい場合には、通常的心エコー図検査など、さらなる検査の必要性を検討する。

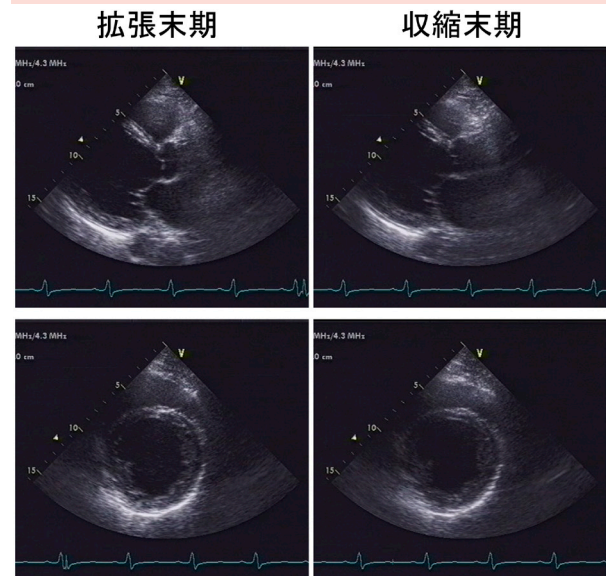
### 8.6.2 エコー所見

#### ①左室拡大・収縮障害の有無

傍胸骨左室長軸断面で左室拡張末期径の計測を行い、55 mm 以上であれば左室拡大と診断する。心尖部四腔断面で、左室は縦長の楕円形にみえるのが普通であるが、円形に近くみえる場合には、左室が拡大していると捉えることができる。左室収縮能は、傍胸骨長軸断面・短軸断面と、心尖部あるいは心窩部四腔断面で、左室収縮機

能を視覚的に判定する (図 21)。急性心不全の救急外来診療を取り扱った研究のメタ解析では、左室駆出率の低下による心不全診断の成績は、感度 80.6% (95% 信頼区間 72.9 ~ 86.9%)、特異度 80.6% (95% 信頼区間 74.3 ~ 86.0%) であったと報告されている [17]。左室駆出率の低下が心不全状態を意味するわけではないが、息切れのある症例で左室収縮障害がみられたら、うっ血性心不全である可能性が高いので、次の診断ステップへ進む必要がある。また、左室駆出率が保たれていても心不全は生じ得るので、左室収縮機能が正常であっても他の項目を省略することはできない。

図21 左室拡大と収縮不全



拡張型心筋症の症例。上段が傍胸骨左縁長軸断面、下段が傍胸骨左縁短軸断面。左室の拡大とびまん性壁運動低下を認める。

#### ②循環血液量

心窩部下大静脈断面で、下大静脈の径と呼吸性変動を評価する。米国心エコー図学会のガイドラインでは、下大静脈の径が 21 mm よりも大きく、sniffing (鼻すすり) による径の縮小率が 50% 以下の場合に中心静脈圧の上昇 (15 mmHg) と判断すると記載されている。救急の場面では、径の計測や鼻すすりの誘導は診断時間の延長につながるため、スケールを基準にして目視で拡大の有無を評価し、通常呼吸下で呼吸性変動を確認することもある [72]。すでに人工呼吸管理による陽圧換気が行われている症例では、下大静脈径の拡大は中心静脈圧の上昇を正確に予測できない [72]。なお、中心静脈圧上昇を伴わずに肺うっ血をきたす場合もあり得るので、下大静脈が張っていても心不全を否定することはできない。



### ③左房拡大

左房サイズの拡大は、左室充滿圧が高い状態が続いたことを示唆し、左房拡大がみられたら心不全の状態であることが疑われる。心エコー図検査では、左房サイズはディスク加算法や area length 法による左房容積で評価されるが、左房容積の計測は FoCUS には含まれていないので、傍胸骨左室長軸断面でバルサルバ洞径よりも左房径が大きいときや、四腔断面で左室とのバランスを肉眼的に判断して左房拡大の判定を行う [72]。左房拡大がみられた場合には、感度 58%、特異度 78% で何らかの心エコー図検査上の異常所見を検出可能であったと報告されている [72]。

### ④左室肥大

左室肥大は、肺うっ血の原因となる左室拡張障害をきたす代表的な病態であり、心不全を疑う重要な間接所見となる。左室肥大は、左室心筋重量係数をもとに定義されているが、FoCUS でこれを算出することは現実的ではなく、壁厚が 12 mm 以上の場合には左室肥大と診断する。

### ⑤ Multiple B-lines

一肋間に 3 本以上の B-line がみられる場合を multiple B-lines といい、両肺野にその所見があれば (diffuse multiple B-lines) 肺水腫である可能性が高い [14]。ただし、B-line は心不全以外の原因による肺水腫や、びまん性肺疾患でも認められるため、FoCUS による心臓の評価と併せて心不全診断を行う必要がある。心原性肺水腫では静水圧の上昇に伴い肺内水分量が増加することが病態であり、肺全体に影響が出る。救急外来における心原性肺水腫の診断については、臨床所見や胸部 X 線よりも肺 POCUS が有用と報告され、7 つの前向き臨床研究を用いたメタ解析では、両側性の multiple B-lines の感度は 94%、特異度は 92% とであった [16]。

## 8.6.3 FoCUS を少し超えた評価法

FoCUS では下大静脈を長軸断面で観察するが、これに直行する短軸断面で、通常は楕円形の下大静脈の形態が円形に近くみえる場合、中心静脈圧の上昇が示唆され、advanced FoCUS の観察断面に加えた [10]。長軸断面で下大静脈の拡大がみられた場合には、プローブを直角に回転して短軸断面で形態も観察すると、より正確な診断につながる。

左房圧が上昇すると等容弛緩時間が短縮するので、拡張早期の僧帽弁開放が早く起こり、これに後毛細管性肺高血圧に伴う右室収縮障害が加わると三尖弁開放の遅延も起こるため、僧帽弁が三尖弁よりも早期に開放するよ

うになる。したがって、FoCUS の基本的断面に含まれる心尖部四腔断面で僧帽弁の早期開放が認められた場合には、左室充滿圧の上昇が示唆される [73]。

左室収縮機能が正常の場合、拡張早期に僧帽弁前尖が前壁中隔に接するように開くが、左室収縮障害があると、この時相の僧帽弁前尖と前壁中隔との距離 (EPSS) が大きくなる。EPSS は M モード法で計測され、正常は 7 mm 未満とされている [74]。

## 8.7 非虚血性心筋症

循環器救急診療で FoCUS を行うと、心臓の形態的異常が見つかる場合があり、このうち虚血性心疾患によらない代表的な疾患として、拡張型心筋症と肥大型心筋症がある。特発性心筋症の診断は二次性心筋症の除外によるところが大きく、FoCUS で診断できるものではないが、典型像をみた場合に、心筋症を疑い精査に進む必要がある。

### 8.7.1 エコー所見

#### ①左室拡大、収縮障害

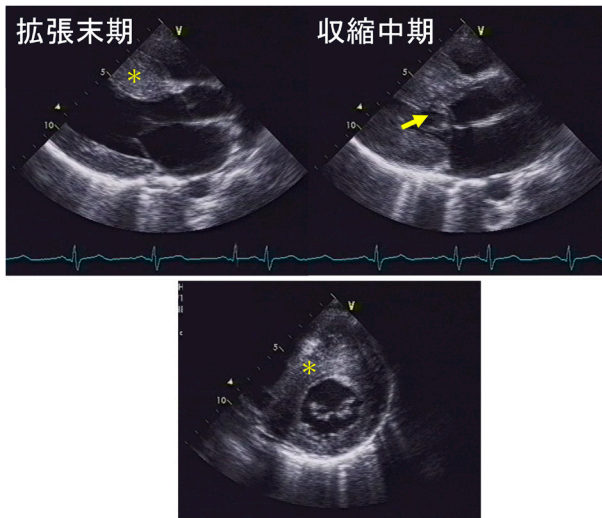
拡張型心筋症は、左室内腔の拡大と収縮障害を特徴とし、傍胸骨長軸断面・短軸断面と、心尖部あるいは心窩部四腔断面で、左室収縮機能を視覚的に判定する。必要に応じて、傍胸骨長軸断面で左室拡張末期径を計測し、左室拡大の有無を判定する [75]。拡張型心筋症の典型例では、びまん性の左室壁運動低下が認められるが、局所壁運動異常をきたす例もあるため、壁運動低下の様式だけで臨床診断に結びつけることは困難である。頻脈が持続したり、心室期外収縮が長期に渡って頻発したりすると、左室収縮障害をきたすことがあり、この病態は頻脈誘発性心筋症と呼ばれる。心拍数のコントロール後の左室収縮機能の改善がみられた場合に確定診断されるが、頻脈誘発性心筋症は拡張型心筋症よりも左室拡大の程度が軽いことが特徴とされている [76]。

#### ②左室肥大

肥大型心筋症の特徴的な肥大様式は、左室のいずれかの部位における 15mm 以上 (家族歴がある場合は 13mm 以上) の非均等型の肥大とされている [75]。典型例では非対称性心室中隔肥大が認められるが (図 22)、左室自由壁のみの肥大や心尖部肥大が認められる場合も多いので、傍胸骨アプローチだけでなく心尖部四腔断面も用いて局所的肥大の有無を観察する必要がある (図 23)

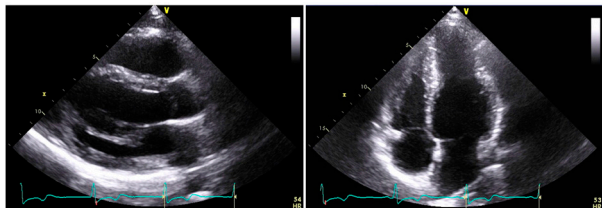


図22 肥大型心筋症



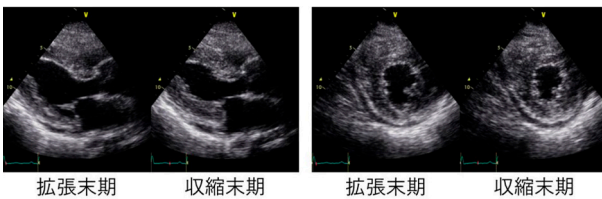
典型的な肥大型心筋症例を示す。上段は傍胸骨左縁長軸断面、下段は同短軸断面。\*が肥大した心筋、矢印は僧帽弁前尖に収縮期前方運動 (systolic anterior motion: SAM) を示す。

図23 心尖部肥大型心筋症



傍胸骨左室長軸断面 (左図) では肥大が目立たないが、心尖部四腔断面 (右図) では、心尖部に局限した心筋肥大が観察される。

図24 急性心筋炎



傍胸骨左縁長軸断面 (左図)、同短軸断面 (右図) において、左室の全周性壁肥厚とびまん性壁運動低下がみられる。

### 8.7.2 FoCUS を少し超えた評価

閉塞性肥大型心筋症では、僧帽弁前尖に収縮期前方運動 (systolic anterior motion: SAM) がみられる。SAMは、傍胸骨左室長軸断面で収縮中期に心室中隔に接するような僧帽弁の動きとして観察される (図 22)。閉塞性肥大型心筋症は、失神の原因になり得るので、失神例では左室肥大とともに SAM の評価もできると良い。

## 8.8 心筋炎

心筋炎は心筋を主座とした炎症性疾患であり、その

FoCUS 所見は心膜液貯留に加えて、炎症部位に一致した一過性の壁肥厚と壁運動低下である。つまり、心膜液貯留に加えて、炎症に伴う左室の壁肥厚と壁運動低下が観察された場合には心筋炎の可能性を考える。心筋炎の診断には心筋梗塞の否定および心内膜心筋生検による心筋への炎症細胞浸潤等の病理学的証明が必要であるものの、心筋炎を疑う症例では他の心疾患の除外診断の視点から超音波検査は必須である [77]。発症様式により急性心筋炎と慢性心筋炎に分けられる。急性心筋炎のうち、発症初期に循環動態破綻をきたし、機械的補助を要するものを劇症型心筋炎と呼ぶ [78]。

### 8.8.1 急性心筋炎

胸部不快感、循環動態不安定などの臨床所見に加えて FoCUS で、①心膜液貯留：あり、②左室拡大：なし、③左室収縮能：低下 (ただし、発症初期に壁運動低下がみられない症例がある。)、④右室拡大：なし、という所見があれば、心筋炎を疑う。典型例では、炎症に伴う左室の全周性壁肥厚とびまん性壁運動低下を示す (図 24) が、炎症の部位に一致した局所壁運動異常にとどまる症例もあり [79]、虚血性心疾患との鑑別を要する。

### 8.8.2 慢性心筋炎

数ヵ月以上持続する心筋炎であり、左室は壁運動低下に加えて拡大していることが多く [80]、拡張型心筋症に類似した所見を呈し、超音波検査だけでは鑑別困難である。

## 8.9 循環血液量減少性ショック (出血など)

ショック例において循環血液量減少を示唆する FoCUS/ 肺 POCUS の所見は、①小さく過収縮な左室、②虚脱した下大静脈、③うっ血のない肺である。この時、右室の機能が保たれていることを確認する必要がある。なぜならば、右心不全は“小さく過収縮な左室”の原因になるからである。右心不全の場合は、右房や下大静脈の拡大が観察される。

## 8.10 気胸

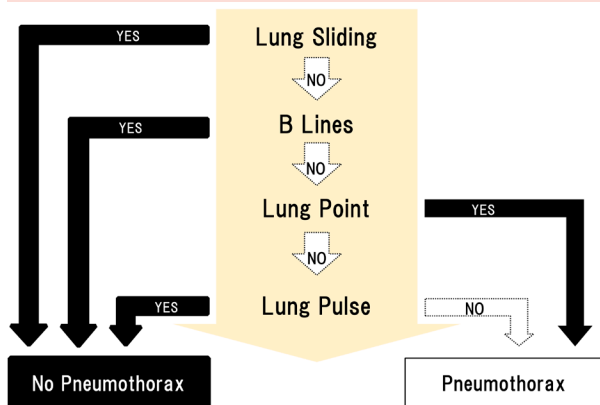
急性の胸痛をきたす疾患の一つに気胸がある。気胸は早期に診断・介入すれば、速やかに症状を緩和することができる病態である。肺 POCUS による気胸の診断は、胸部レントゲンでよりも、迅速に、感度よく、被曝もなく施行可能であり、かつ初学者でも数時間のトレーニングにて習得可能である [13, 81]。

肺 POCUS による気胸の診断には、国際的なコンセンサスがあり、図 25 に示すフローチャートに基づき診断する [14]。Lung sliding だけでは、感度は高いものの、特異度は低く、段階的なアプローチにより気胸診断が

確実なものになる。肺 POCUS における気胸診断の限界としては、1) Bulla がある症例、2) 皮下気腫がある症例、3) 高度肥満症例である。このような場合、無駄に時間を割くよりは、患者状態に応じて CT などの別のモダリティを利用することを考えるべきである。気胸は早期診断・介入が患者にとってのメリットであり、肺 POCUS が必ずしもその目的を達成するとは限らないことを肝に命じておく。

なお、肺 POCUS は、気胸の診断だけでなく、ドレーン挿入の可否、抜去後のフォローなどにも利用可能である [82, 83]。

図25 気胸診断のフローチャート



肺POCUSを用いた気胸の診断において、国際的なコンセンサスが得られているフローチャートを示す。

### 8.11 肺炎

肺 POCUS において、肺水腫は multiple B-lines として認められるが、その存在だけでなく、観察される範囲が重要である。一般的に両側に認める肺水腫所見 (diffuse multiple B-lines) は心原性肺水腫を示唆し、一方で局所的に認める肺水腫所見 (focal multiple B-lines) は、肺炎等を疑わせる。

細菌性肺炎を例に挙げるならば、局所に菌が侵入し、局所に炎症を起こすため、肺水腫も限局的になる。また肺炎の場合、粘性の高い分泌物も増加し、肺胞虚脱が進行すると胸膜の肥厚、胸膜直下のコンソリデーション形成、dynamic air bronchogram などが認められ、心原性肺水腫とは異なる所見を呈するようになる [84-86]。肺炎の診断において肺超音波検査の精度は高く、感度は 95%、特異度は 90% であるのに対し、胸部 X 線検査の感度は 77%、特異度は 91% と報告されている [87]。ただし肺炎から全身性に炎症が進むと、ARDS に至り、両側に multiple B-lines の所見が観察される。ARDS か心原性肺水腫かの鑑別は前述した胸膜の肥厚、胸膜直下のコンソリデーションなどを参考にすると、FoCUS を組み合わせることで判断がつく場合もある。

COVID-19 においても、肺炎と同様の所見が認められる。COVID-19 では、CT にて胸膜直下に、散在性に所見が認められることが分かっており、肺 POCUS でも所見を得やすい。また早期では胸部レントゲンよりも肺 POCUS の方が、感度が高く、感染対策等の観点からも肺 POCUS を用いることが推奨されている [88]。

## 9. 状況別活用法

### 9.1 救急，救命

救急の領域においては迅速な診断と、迅速な対応が求められる。POCUS は救急外来での迅速な診断に対する利用や、重症患者の日々のベッドサイドでの変化を観察するモニタリングとしての利用、または緊急度の高い心臓穿刺や中心静脈穿刺などの侵襲性の高い手技に対して利用され、救急医にとって必須の手技となってきた。

2019 年 1 月に日本救急医学会 Point-of-Care 超音波推進委員会が発足し、2022 年に日本救急医学会救急 Point-of care 超音波診療指針が発表された。その中で、背景、救急専門医の到達目標、その論文の根拠、横断的活用方法、救急専門医としての到達目標が提示され、FoCUS も含まれている [58]。

### 9.2 集中治療

ICU では、重症疾患、不安定な病態、あるいは多臓器障害を管理するため、適切なモニタリング、病態変化時の迅速かつ適確な対応が求められる。ICU における FoCUS はモニタリングや病態変化時の鑑別の際に重要な役割を果たす 1,2)。画像描出法は ICU においても一般的な FoCUS と変わらない。ICU 患者の特性上、検査時の体位や観察アプローチ部位が限られ、人工呼吸管理下のために画質が十分でない場合も少なくないが、FoCUS は定性的な評価法であるため、これらの状況においても有用となる。ただし、FoCUS は検査所見の一つであるため、結果は他の臨床、検査所見と併せて解釈する。

ICU における FoCUS は、急変時だけでなく、病態変化時、さらには比較的病態が安定している場合のモニタリングに有用なツールとなる。モニタリングでは、バイタルサインや他のベッドサイド検査結果の補完として、あるいは解釈が困難な際に「病態整合性」を直ぐに確認できる。また、ICU 入室時に FoCUS を行うことで、病態整合性の確認、治療方針決めの補完ができるだけでなく、その後の検査時の比較所見となる。とくに、エコー所見が治療方針決めのカギとなる心膜液貯留や右室拡大が入室時から有るか無いかの情報は重要である。急変時に行う FoCUS では、術後や人工呼吸器関連など ICU に特化したものも含めて病態を鑑別する。

### 9.3 内科病棟, 当直

病棟内での FoCUS は, 突然胸痛などの症状を訴えた場合, さらに心膜穿刺・心膜液ドレナージなど侵襲的検査もしくは治療を受けた後の確認をする場合が想定される。

病棟内での急変時なども FoCUS を行う機会であるが, これは緊急時のエコーと同様であるため他項の記載に譲る。

症状発症の場合, まずは心膜液貯留の有無, 左室壁運動の有無, 新規の弁膜症の発生の有無, 心室中隔穿孔など心内短絡の有無, 左室流出路閉塞機転の有無などの確認が期待される。訴える症状や患者の状況に応じて, どのような疾患が発症したかを予想して臨むことが必要である。例えば, 長期臥床患者が胸痛を訴えた場合は, 虚血性心疾患を疑い左室壁運動だけを観察するのではなく, 急性肺血栓塞栓症を疑い右心系の拡大および左心系の虚脱の有無を確認すべきであるし, さらに下肢深部静脈血栓症の有無が確認できればなお良い。

心筋生検やペースメーカーリード留置後は, 右室壁穿孔による心膜液貯留もしくは心タンポナーデが危惧されるためその兆候がないか確認する。

### 9.4 小児領域

成人を対象とする FoCUS の立ち位置と異なり, 小児分野では, 心原性救急疾患はそのほとんどが先天性心疾患であることから, 臨床現場の小児の FoCUS は, 限られた小児科医, 小児・新生児救急医が行うべき POCUS の一部と考えてよい。現状で, FoCUS は先天性心疾患の診断ツールではなく, 先天性心疾患が疑われた場合には小児循環器医が包括的な心エコー図検査を施行する。欧州小児新生児集中治療学会 (ESPNIC) の推奨レベルを表 6 に示す [89]。

小児における心肺蘇生時の FoCUS は, 心停止または, 無脈性電気活動の存在の特定の大きな助けとなるので, 確認のツールには適している。したがって, 小児の高度救命処置アルゴリズムに FoCUS を組み込むことは有用である。

心臓の前負荷や血管内容量は下大静脈を観察するが, 成人のようにサイズを規定することはできないので, 呼吸性変動が 50% あるかどうかで, ほぼ正常な右房圧であるかを推定する [89]。しかし, 陽圧呼吸管理中や呼吸努力が激しいときには, 評価できない。血管内容量の輸液反応性は, 心尖部 5 腔断面でパルス波 Doppler のサンプルボリュームを左室流出路におき, 速度時間積分を測定し, その呼吸性変動をみるのがよいとされる [89]。15% の変動があると有意であるが, 人工呼吸中であっても技術的には高度なので専門的な小児循環器心エコートレーニングが必要である。

視覚的な心左室収縮能の定性評価は, 心機能がよいかどうかを, 多断面 (心尖部四腔断面, 傍胸骨長軸および短軸断面) で判定するのは有用である。この場合もある程度のトレーニングが必要である。半定量的な左室収縮能評価で左室駆出率や左室内径短縮率の測定が有用であるとのことである [89]。しかし, 本邦では小児の心エコー図検査で, 循環器小児科医において推奨される 2 断面ディスク法による左室駆出率の測定は浸透してはいないので, 簡易な左室内径短縮率を FoCUS 的に用いるのがよいだろう。右室/左室の詳細な心機能評価は小児循環器心エコー図検査の専門的トレーニングを受けた新生児科医,

小児集中治療科医, 小児循環器医が施行するほうが望ましいと思われる。

小児, 新生児領域での肺高血圧症に対する肺動脈収縮

表 6. 欧州小児新生児集中治療学会 (ESPNIC) による心エコー図検査の推奨レベル[89]

推奨	推奨レベル	エビデンスの質
1. 先天性心疾患診断のスクリーニングとすべきではない	強い推奨	A
2. 心臓の前負荷や血管内容量に対する評価	強い推奨	D
3. 血管内容量の反応性に対する評価	強い推奨	D
4. 心機能の定性的な評価	強い推奨	D
5. 半定量的な心機能評価	強い推奨	C
6. 肺高血圧症における肺動脈圧の評価	強い推奨	B
7. 半定量的な肺高血圧の評価	強い推奨	B
8. 心膜液貯留の評価	強い推奨	B
9. 心嚢穿刺のガイド	強い推奨	B
10. 動脈管開存の評価	強い推奨	A
11. 感染性心内膜炎の評価	推奨せず	D



期圧の評価に有用なのは、間違いない。三尖弁逆流があれば、三尖弁逆流の連続波ドブラ波形から得られるピーク速度を用いて簡易ベルヌーイ式から肺動脈収縮期圧が推定できる。半定量的な肺動脈圧の推定には、収縮期末期の心室中隔の偏位を評価することが有用である。また、動脈管開存を流れる血流の方向と速度を評価することも推定が可能である [89]。

心膜液貯留に関してもその診断に有用である [89]。複数の心エコー断面を用いることで、確実に観察できる。とくに心タンポナーデでは、救命に影響する検査となるので、スクリーニングの一環として導入してもよい。超音波ガイド下心嚢穿刺は、小児においても有用である。特に新生児の穿刺については、熟練した小児循環器医やトレーニングを受けた小児集中治療科医等が施行するのがよい。

また、動脈管開存性を評価するのも有用で、特に新生児科医が、早産児の動脈管開存評価に用いる。動脈管の血流方向、血流速度、左房/左心室の拡大を評価することで、血行動態の把握につながる [89]。

感染性心内膜炎の評価については、小児科、新生児の FoCUS では推奨されない。小児の弁の動きは速く、トレーニングを受け、熟練していないと疣腫の診断には至らないと考えてよい [89]。

## 9.5 開業医、プライマリ・ケア

FoCUS は入院患者、集中治療、救急医療の分野のみならず、外来診療や遠隔医療の分野においても用いられている [3]。開業医における FoCUS は外来診療、在宅診療の両場面で有用と思われる。開業医の外来診療で主訴の多いものは、動悸、胸痛、息切れである。詳細な病歴聴取と身体所見をとり、必要に応じて胸部 X 線検査や心電図などの基本的検査を行い、それらに加えて FoCUS を組み合わせることで、病態の把握に有用であると報告されている [90]。FoCUS は身体診察で得られる所見に客観性を持たせて可視化できるため、外来診療に不可欠な身体診察技能の向上にもつながるとされる。積極的に FoCUS を行うことで心不全、急性冠症候群、肺血栓塞栓症、心膜心筋炎など重篤な疾患の早期診断に寄与することが可能である。また内科診療でも脱水がないか、尿が出ない時の尿閉の有無や、腹痛、腰痛時の致死的疾患の除外など必要な場面は多々ある。新型コロナウイルス感染症に対応する発熱外来においても、発熱とともに息切れや胸痛がある場合などにも感染対策を講じながら行う FoCUS が有用である。このように FoCUS が出来る医師にとっては有用なツールとなるため、basic レベルの FoCUS は内科診療を行うすべての開業医にとって習得が望まれる。一方で、疾患を完全に除外する

ためには循環器専門医による精密検査が必要な場合もあり、限られた情報量である FoCUS で疾患をどこまで除外してよいかは慎重に判断する必要がある。

開業医の FoCUS は、その習熟度レベルにより異なる。循環器非専門の内科外来で、標準心エコー図検査をゴールドスタンダードとして、事前に施行されたポケットサイズエコーによる FoCUS の診断精度をみた研究では、熟練者が行うと、感度 97%、特異度 84%、 $\kappa$  0.84 であったのに対して、初学者では感度 87%、特異度 72%、 $\kappa$  0.58 と精度が低下したと報告されている [90]。この研究の初学者において、弁の石灰化、胸水貯留、心膜液貯留、肺コメットエコーの一致率は  $\kappa$  0.91-1.0 と高かったが、左房拡大、右心室拡大、IVC 拡張などの病態では  $\kappa$  0.68-0.81 と一致率が低かった [90]。以上より、FoCUS を行おうとする検査者は、トレーニングコースに参加するなどして、まずは basic レベルを習熟し、精度よく疾患を診断できるようにする努力が求められる。一方で、循環器外来に紹介となる患者では、熟練者が実施するポータブルエコーでの診断精度は 98% との報告がある [91]。専門の循環器のクリニックにおいてもポケットサイズエコーは包括的心エコー図検査の必要性を 31% 減少させ、医療費削減や時間節約に寄与すると報告されている [92]。循環器専門の開業医の外来診療では、救急診療と異なり多くは病気の重症度が低く、心エコー図 (full study) まで行う必要がない場合も多い。例えば心疾患リスクがない患者さんの期外収縮を疑う動悸の場合は、心電図が正常であれば advanced FoCUS レベルの超音波検査とホルター心電図による評価が行えれば十分な場合も多い。

また開業医では病院への通院が困難な高齢心疾患患者のケアを行うことがあり、FoCUS と肺 POCUS を組み合わせた POCUS は、レントゲンによる評価が難しい患者、つまり立位が出来ない、亀背がありレントゲンがよく見えないなどの場面で、肺うっ血や胸水を検出するのに力を発揮する。

米国家庭医療学会 (American Academy of Family Physicians : AAFP) が専攻医研修のための POCUS の推奨カリキュラムを作成しており、その到達目標としてうっ血性心不全と COPD 急性増悪の鑑別を上げている。そのようなカリキュラムのため米国の家庭医療プログラムでは超音波研修が実施され、専攻医プログラム終了後に、更に専門性を高めるための超音波フェロシッププログラムも存在する。米国では家庭医が診療所レベルで病態の診断がついた場合、不要な救急外来受診を省略して直接入院させることが可能で、医療費を抑制できるため、家庭医にもその対価が支払われるようである [93]。



## 9.6 看護領域

心エコー図検査は循環器を専門とする医師、そして訓練を行ったソノグラファーが施行している。しかし患者の診療の場、ベッドサイドに一番近くにいるのは看護師であり、症状やバイタルサインの変化に伴い初期対応を求められる存在である。昨今、認定看護師や特定行為看護師精度の整備により看護師に求められる高度な医療行為が増えてきており、看護師が心エコー図検査も行うことは法律上の問題もない。心エコー図検査の経験が少なくても最低限の評価ができる FoCUS はフィジカルアセスメント、身体所見と組み合わせることでより具体的に、かつ客観的に病状の変化を可視化することができる。下大静脈の観察による循環血液量の評価、心膜液貯留の評価による出血性合併症の有無、壁運動の変化による心収縮力の観察など得られた画像は客観的に判断でき、医師への報告や指示を仰ぐべきかの判断に有用である。患者との距離が一番近い看護師が積極的に FoCUS をすばやく行い情報を可視化することは、患者にとっての恩恵も大きい。

一方で、看護教育の基礎科目には超音波検査は組み込まれておらず、現在 FoCUS を行うことができる看護師はごくわずかであり、手技を実践するまでのハードルは高い。操作が簡便で持ち運びの便利なポケットサイズのエコー機を病棟に配備するなどの環境整備、そして教育システムの確立と日々の看護業務の中でのトレーニングが課題である。

## 9.7 在宅医療

近年、高齢化の進行に伴う需要の変化に加え、団塊世代が75歳以上となる2025年に近づく中、厚労省の推進する政策によっても在宅医療の需要は増大している。厚労省の公表する社会医療診療行為別統計によると2019年時点で在宅患者数は約90万人、その内訳はほぼ9割近くが75歳以上の高齢者である[94]。在宅医療対象者の中心となる後期高齢者は、心血管疾患、代謝疾患、運動器疾患、悪性疾患など複数の慢性疾患を併せ持つ多疾患併存状態（マルチモビディティ）であることが少なくない。さらに認知機能低下や高度難聴などにより本人からの正確な病歴聴取が困難な場合も多く経験する。また、在宅医療においては使用できる検査機器そのものの制限に加え、訪問現場に持参する医療機器は適切に選択しなければならない。このような在宅医療特有のセッティングから生じる問題点の多くを携帯型エコーは解決してくれる。

携帯型エコーは小型化が進み、サイズだけでなく、通常のスマートフォンにワイヤレス接続可能な機種や、複数の機能を有するプローブの登場などもあり、携帯時の

ストレスが最小限になってきている。さらに ICT 機能を有し、エコー機器から直接オンライン通話や医療用 SNS へ動画像をアップロードすることが可能な機種もあり、遠隔地の同僚や上司に所見相談をすることも容易になった。このようにエコーはいかなる環境においてもベッドサイドで非侵襲的かつリアルタイムに病態を把握することができる点で在宅医療において欠かせない医療機器である。

心疾患を疑う有症状者には、通常の診療の如く問診＋身体所見を行ったのち、速やかにエコーを行う（＋安静時 12 誘導心電図検査、採血検査）。胸部 X 線画像の評価ができない在宅においては FoCUS に加えて肺 POCUS はセットで行うことが望ましい。また、FoCUS/ 肺 POCUS に加えて、その他の鑑別疾患のチェックのために別領域（腹部、下肢静脈など）の POCUS を組み合わせることも可能である。

在宅の現場で遭遇することが多く、かつエコーが有用なシチュエーションを以下に挙げる。

- 1) 呼吸不全・息切れ：高齢者の多い在宅現場では心不全と肺炎は頻度が多いが、発熱など典型的な症状を示さないこともありしばしば鑑別が困難となる。
- 2) 呼吸性喘鳴：気管支喘息発作を考慮し  $\beta$  2 刺激薬吸入をまず試みたいところであるが、心不全（いわゆる心臓喘鳴）を除外することは非常に重要である。
- 3) 乏尿：夏場の尿量低下はつつい脱水を考慮がちであるが、尿閉（などの排尿障害）や心不全の鑑別は必ず行っておきたい。
- 4) 浮腫：全身性浮腫の場合はまず心不全の除外が、局所性浮腫の場合はまず深部静脈血栓症（deep vein thrombosis：DVT）の除外が必要である。
- 5) 上腹部痛：上腹部痛の鑑別疾患は腹腔内だけではなく、心血管疾患も忘れてはいけない。エコーだけで心血管疾患の否定はできないが異常所見を得た場合には大きな方針転換に繋がる。

在宅医療においてはこれまでエコーの主な担い手であった医師だけでなく訪問看護師への普及が注目されている。現場における排泄ケアのニーズの高さや、エコー手技の簡便さから、現在訪問看護師に最も用いられているのは膀胱エコーである。さらに、訪問看護師の調査において体液管理を目的とした下大静脈の観察のニーズが高いことが報告されている[95]。下大静脈の観察と評価の難易度は膀胱に比べると高く、教育方法を含め現場への普及には課題が残されているが、高齢化の進行に伴い在宅現場においてもますます心不全患者が増加していくことから、エコーを活用した医師と訪問看護師の連携はより重要になっていくと考えられる。

## 9.8 COVID-19 陽性、疑い例

2020年6月に米国心エコー図学会から「COVID-19流行時におけるPOCUSについての提言」がなされ、同年12月にはCOVID-19診療におけるPOCUS関連論文を集計し、9つの分野（診断、トリアージツール、肺炎の診断、心血管合併症の診断、血栓塞栓合併症のスクリーニングと診断、呼吸補助戦略、適正輸液量の評価、呼吸器を含めたモニタリング、感染コントロールなど）におけるエキスパートコンセンサスが発表された。全体を通してまず注意すべき事項は、COVID-19のPOCUSに使用するエコー機器は、専用エコーにし、周囲への感染伝播を未然に防止することである。

ARDSにおいて適正輸液量の評価は必須である。評価の方法としては、FoCUSによる左室拡張末期容積や下大静脈径といった静的指標、下大静脈径の呼吸変動率や、下肢挙上や輸液負荷に伴う左室流出路血流速度波形の速度時間積分値の変化率といった動的指標など様々な指標が報告されている。ただし、どの方法も一長一短がある。特に、吸気努力の強いCOVID-19においては、下大静脈径の呼吸変動率などの信頼性が低下することは注意が必要である。

COVID-19における左室機能低下は23.7%と報告されている。稀に併発する心筋炎の早期検出にFoCUSが役立つ。また、右室の評価は、肺血栓塞栓症の診断に有用である。また、Patient self-induced lung injury(P-SILI)の制御を目的に深鎮静、さらには筋弛緩薬の持続静注投与を行うと、腹臥位によるコンプライアンス低下から高CO<sub>2</sub>血症を惹起し、その結果、肺血管収縮による右心系の後負荷上昇により右心機能不全を呈することが報告されている。特に、VV-ECMO装着時の右心不全の合併は治療撤収を余儀なくされる一つの指標となっており、連日FoCUSを施行することが重要である。

COVID-19の典型的な肺エコー所見は、多彩なB-lines、胸膜病変と言われており、肺エコーのみで診断が可能と報告されており、吸気努力が著明な時には胸膜の引き込みも確認できる。重症COVID-19でCTが使えない状況で有用性がある。また、重症COVID-19では、人工呼吸器管理を行うにあたり、深鎮静、筋弛緩の投与の影響から無気肺形成、人工呼吸器関連肺炎のリスクが高いと報告されている。ただ、無気肺の場合は体位ドレナージにより改善が認められるが、肺炎の場合は改善しないため、無気肺か肺炎かの鑑別は非常に重要である。

COVID-19は、血栓塞栓の合併症が多いと報告されている。また、治療においても予防用量あるいは、治療用量での抗凝固薬導入が生命予後の改善に寄与すると報告されている。下肢静脈領域のPOCUSとして、2領域(3領域)圧迫法が推奨されており、治療介入に必要な

DVTの有無の評価を行うことができる[58]。また、内頸静脈に中心静脈カテーテルが挿入されている場合、その周囲から血栓形成を認めることがあるため、合わせて評価することが重要である。

## 9.9 災害時

地震等の被災地で、その超急性期にはFASTなどの超音波検査を用いた負傷者のトリアージが有用である[96]。その際に循環器系の異常を疑えば、FoCUSを活用する場面もあるだろう。一方で、避難所や車中泊といった亜急性期の環境では、深部静脈血栓症が問題となる。有症状例ではFoCUSを用いた右室拡大の判定が肺血栓塞栓症の早期発見に有用であり、下肢静脈POCUSが深部静脈血栓症のスクリーニング、診断に有用である。日本超音波医学会が災害時の対応をマニュアル化し、ポータブルエコーを被災地へ届けるシステムを構築している[97]。

## 9.10 遠隔医療

FoCUSは遠隔医療の分野でも活用され始めている。近年のデジタル技術の進歩、医療画像保存形式の標準化、インターネットによる画像伝送が可能になったことにより、心エコー図領域では、医師-医師間(DtoD)の遠隔相談や遠隔画像診断が可能となった。遠隔心エコー診断は離れた場所から心エコー専門医による診断や治療方針の相談が受けられ、長距離の移動による時間や費用を節約出来るため、医療資源の限られた地方の恵まれない人々に恩恵がある。そもそも遠隔心エコー診断は、小児を対象とした先天性心疾患のスクリーニング検査として開始された歴史がある[98]。ブラジル循環器学会による2019年の遠隔循環器診療のガイドラインでは、遠隔心エコー診断は新生児の先天性心疾患の早期診断と小児のリウマチ性心疾患の早期診断に有用と記されている(クラスIIa, エビデンスレベルB)[99]。

本邦でも専門の技師や心エコー医がいない地方にとっては、遠隔で専門医による診断を受けられることは有益である。徳島大学など複数の大学病院や医療機関で、光インターネット回線を用いたビデオシステムを用いることにより、超音波専門医や技師がいる大学病院へ離れた病院で行っている心エコー画像をリアルタイムに送信し、双方向の音声画像通信を行うことにより、遠隔診断支援、さらには非専門医や超音波検査技師の教育が行われている。最新のポケットサイズエコーでは、スマートフォンやタブレット端末のアプリを用いて画像を表示させるため、そのままりアルタイムにオンラインで画像を共有できる機種も出現しており、FoCUSのように非専門医が心エコー図を行う場面でも容易に遠隔相談が行な

えるようになってきている。さらに経カテーテル大動脈弁置換術の手術室における術中経食道心エコー図という迅速な判断が求められる場面においても、高画質映像伝送システムを用いて、手術室外にいる心エコー専門医がリアルタイムで画像をみて、手術室にコメントや指示を行った例も報告されており、より専門性の高い領域で経験の高い専門医による遠隔心エコー診断が可能である。さらに近年では5G高速通信技術によりロボットアームによるFoCUS/肺POCUSにより新型コロナウイルス感染症治療中の心膜液、胸水、肺炎の検出に用いることができたと報告されており、ロボットを操作することによる遠隔エコーも始まっている。今後ますます遠隔心エコー図診断に対するニーズは高まると想定される。ただ現時点では、通常の医療に比べて遠隔心エコー診断が優れているというエビデンスはなく、今後の検証が必要である。

## 10. FoCUSの教育、トレーニング

厚生労働省が定める初期研修医の到達目標において、超音波検査は“経験すべき診察法・検査・手技”として経験目標に含まれているが、超音波検査を行う領域や疾患などは特に決められていない。現状では、救急科や循環器内科、麻酔科などのローテーションでFoCUSを経験する機会があり、施設によってはトレーニングを受けることができるかもしれないが、まったくFoCUSに接する機会がないまま研修を終える研修医も少なくない。欧州心臓病学会では、FoCUSの教育シラバスが作成されている[8]。本邦においても、初期研修医の必修カリキュラムにFoCUSや肺POCUSを含めることが必要と思われる。また、さらなる普及を目指すためには、卒前教育にもこれらを取り入れるべきであろう。これはFoCUSに限ったことではなく、卒前教育における各種超音波検査のカリキュラムが世界的にも確立されつつある[100]。

FoCUSを使用する医療者は、循環器専門医と比較すると心血管疾患に関する知識が限定されている可能性があり、各種疾患の病態について学習する必要がある。欧州心血管画像学会が、FoCUSを修得しようとする非循環器内科医が知っておくべきと推奨している病態について表7に示す[8]。また、同学会が推奨するFoCUSを修得するために必要とされる読影および経験症例の最低例数を表8、9に示す[8]。

日本救急医学会、日本集中治療医学会、日本循環器学会、日本超音波医学会などの関連学会では、FoCUSをテーマにしたセッションやハンズオン実習が企画されている。日本循環器学会において、心エコー図学会が開催している研修医向け心エコーハンズオンセミナーのプログラムを表10に示す。コロナ禍の影響もあり、ITを用

いた遠隔教育などさらなる工夫が求められている[101]。FoCUSは、系統的な心エコー図検査と異なり、心疾患の確定診断を行う手技ではない。したがって、FoCUSの教育、トレーニングを行う際、FoCUSの限界についての理解が必須である[7]。FoCUSを適切に活用して医療の質を向上させるためには、系統的な心エコー図検査を専門とする日本心エコー図学会がサポートすることも重要と思われ、本手引き書がその一助となることを願う。

表7. 基本的な病態を理解しておくべき心疾患[8]

急性冠症候群/急性心筋梗塞
急性心筋梗塞の機械的合併症
急性大動脈解離
急性肺塞栓症
急性心不全/心原性ショック
急性心膜炎
心タンポナーデ
急性心筋炎
心筋症
大動脈弁狭窄症
大動脈弁閉鎖不全症
左室肥大
気胸
感染性心内膜炎
心原性脳梗塞（腫瘍、血栓）
心外傷

表8. 読影を経験すべき症例とその必要症例数[8]

左室拡大/左室収縮不全	4
右室拡大/右室収縮不全	4
心膜液貯留	4
心タンポナーデ	3
循環血液量減少	3
心停止	3
胸水	2
肺B-line	2

表9. FoCUSを修得するために必要な経験症例数[8]

左室拡大/左室収縮不全	5
右室拡大/右室収縮不全	5
心膜液貯留/心タンポナーデ	3
循環血液量減少	5
心停止	2
胸水	2
肺B-line	3



表10. 研修医向け心エコーハンズオンプログラム例

第一部	第二部	講習内容	タイムスケジュール
		■全体レクチャー	20分
9:00	13:30	イントロダクション	
		1) プローブの持ち方, 操作法	
9:20	13:50	2) 心窩部アプローチの撮り方ライブデモ	
		3) 傍胸骨アプローチの撮り方ライブデモ	
-----			
		■グループハンズオン①	計80分
		受講生の自己紹介など	5分
		1) 心窩部アプローチ	5分×5人
9:20	13:50	下大静脈の描出と径の計測	
		心尖部四腔断面の描出	
10:40	15:10	2) 傍胸骨アプローチ	10分×5人
		傍胸骨左縁左室長軸断面, 短軸断面	
		LVDd, LVDs, LADの計測	
-----			
		■全体レクチャー	計20分
10:40	15:10	1) 心尖部アプローチの撮り方	
		拡大不全心例, アシナジー例の提示	
11:00	15:30	2) ドプラ法の撮り方, 使い方	
		TMF, e', LVOF, TR	
-----			
		■グループハンズオン②	計50分
		1) 心尖部アプローチ	5分×5人
11:00	15:30	長軸, 四腔断面, 二腔断面の描出	
		(時間次第で) EFの計測, TMF, LVOF	
11:50	16:20	2) やりたいこと	5分×5人
		例:EF, TMF, e', AV-CW	
		クロージング (予備時間10分)	

## 11. コスト, 対費用効果, 限界

FoCUSは、包括的な心エコー図検査を省くことができるというのが大きな利点と考えられる。一方で、見逃しがあるといけないうだろう。経験のある技師によって行われたLimited echocardiographyは外来で、年齢の若い群(65歳未満)、女性で、非心臓専門医からの依頼において、特に見落としなく、包括的心エコー図を省くことができた[102]。特に、65歳未満の外来患者では70%の包括的心エコー図検査を省き、見落としの頻度は5%程度となっている。特に長軸断面が最も情報量が多いということが言われている。

医療機関にあまりかかっていないような群や、医療資源に乏しい地域におけるFoCUSによる循環器疾患の費用対効果の高いスクリーニングは、公平な医療を実現するために役に立つだろう[1]。様々な状況において費用対効果についての提言がなされている[1]。以下の場面について検討し費用対効果がよいという結論が得られた。

- 1) 心肺停止時の診断, 治療法の選択
- 2) ショックや血行動態的な不安定な時の診断, 治療法の選択
- 3) 外傷性/非外傷性を問わず心膜液貯留が疑われるとき  
同じ論文において、FoCUSによるコストは機器、訓練、品質保証、資格の維持のための試験などがあり、中等度とされている。ハンドヘルドエコーを用いたFoCUSは不要な包括的心エコー図を省きコスト削減がなされるとされる一方、FoCUS件数の増加により逆説的に包括的心エコー図の依頼が増えるという報告もある[103]。

## 文献

1. Via G, Hussain A, Wells M, et al. International evidence-based recommendations for focused cardiac ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014;27:683 e1-e33. PMID:[24951446](#)
2. Blanco P, Aguiar FM, Blaivas M. Rapid Ultrasound in Shock (RUSH) Velocity-Time Integral: A Proposal to Expand the RUSH Protocol. *J Ultrasound Med.* 2015;34:1691-700. PMID:[26283755](#)
3. Spencer KT, Kimura BJ, Korcarz CE, et al. Focused cardiac ultrasound: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013;26:567-81. PMID:[23711341](#)
4. Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, et al. Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol.* 2004;21:700-7. PMID:[15595582](#)
5. Breitzkreutz R, Price S, Steiger HV, et al. Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: a prospective trial. *Resuscitation.* 2010;81:1527-33. PMID:[20801576](#)
6. Kimura BJ, Yogo N, O'Connell CW, et al. Cardiopulmonary limited ultrasound examination for "quick-look" bedside application. *Am J Cardiol.* 2011;108:586-90. PMID:[21641569](#)
7. Neskovic AN, Edvardsen T, Galderisi M, et al. Focus cardiac ultrasound: the European Association of Cardiovascular Imaging viewpoint. *European heart journal cardiovascular Imaging.* 2014;15:956-60. PMID:[24866902](#)
8. Neskovic AN, Skinner H, Price S, et al. Focus cardiac ultrasound core curriculum and core syllabus of the European Association of Cardiovascular Imaging. *European heart journal cardiovascular Imaging.* 2018;19:475-81. PMID:[29529170](#)
9. Price S, Via G, Sloth E, et al. Echocardiography practice, training and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). *Cardiovasc Ultrasound.* 2008;6:49. PMID:[18837986](#)
10. Seo Y, Iida N, Yamamoto M, et al. Estimation of Central Venous Pressure Using the Ratio of Short to Long Diameter from Cross-Sectional Images of the Inferior Vena Cava. *J Am Soc Echocardiogr.* 2017;30:461-7. PMID:[28065586](#)
11. Alrajab S, Youssef AM, Akkus NI, et al. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Critical care (London, England).* 2013;17:R208. PMID:[24060427](#)
12. Soldati G, Testa A, Sher S, et al. Occult traumatic pneumothorax: diagnostic accuracy of lung ultrasonography in the emergency department. *Chest.* 2008;133:204-11. PMID:[17925411](#)
13. Abbasi S, Farsi D, Hafezimeghadam P, et al. Accuracy of emergency physician-performed ultrasound in detecting traumatic pneumothorax after a 2-h training course. *Eur J Emerg Med.* 2013;20:173-7. PMID:[22828649](#)
14. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 2012;38:577-91. PMID:[22392031](#)
15. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, et al. The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med.* 2000;26:1434-40. PMID:[11126253](#)
16. Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R, et al. Point-of-care ultrasonography for the diagnosis of acute cardiogenic pulmonary edema in patients presenting with acute dyspnea: a systematic review and meta-analysis. *Acad Emerg Med.* 2014;21:843-52. PMID:[25176151](#)
17. Martindale JL, Wakai A, Collins SP, et al. Diagnosing Acute Heart Failure in the Emergency Department: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acad Emerg Med.* 2016;23:223-42. PMID:[26910112](#)
18. Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, et al. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;156:1640-6. PMID:[9372688](#)
19. Kameda T, Kamiyama N, Taniguchi N. The Mechanisms Underlying Vertical Artifacts in Lung Ultrasound and Their Proper Utilization for the Evaluation of Cardiogenic Pulmonary Edema. *Diagnostics (Basel).* 2022;12. PMID:[35204343](#)
20. Xirouchaki N, Magkanas E, Vaporidi K, et al. Lung ultrasound in critically ill patients: comparison with bedside chest radiography. *Intensive Care Med.* 2011;37:1488-93. PMID:[21809107](#)
21. Qureshi NR, Rahman NM, Gleeson FV. Thoracic ultrasound in the diagnosis of malignant pleural effusion. *Thorax.* 2009;64:139-43. PMID:[18852159](#)

22. Vignon P, Chastagner C, Berkane V, et al. Quantitative assessment of pleural effusion in critically ill patients by means of ultrasonography. *Crit Care Med.* 2005;33:1757-63. PMID:[16096453](#)
23. Nishigami K. Point-of-care echocardiography for aortic dissection, pulmonary embolism and acute coronary syndrome in patients with killer chest pain: EASY screening focused on the assessment of effusion, aorta, ventricular size and shape and ventricular asynergy. *J Echocardiogr.* 2015;13:141-4. PMID:[26497152](#)
24. Zanobetti M, Scorpiniti M, Gigli C, et al. Point-of-Care Ultrasonography for Evaluation of Acute Dyspnea in the ED. *Chest.* 2017;151:1295-301. PMID:[28212836](#)
25. Jones AE, Tayal VS, Sullivan DM, et al. Randomized, controlled trial of immediate versus delayed goal-directed ultrasound to identify the cause of nontraumatic hypotension in emergency department patients. *Crit Care Med.* 2004;32:1703-8. PMID:[15286547](#)
26. Perera P, Mailhot T, Riley D, et al. The RUSH exam: Rapid Ultrasound in SHock in the evaluation of the critically ill. *Emerg Med Clin North Am.* 2010;28:29-56, vii. PMID:[19945597](#)
27. Keikha M, Salehi-Marzijarani M, Soldoozi Nejat R, et al. Diagnostic Accuracy of Rapid Ultrasound in Shock (RUSH) Exam; A Systematic Review and Meta-analysis. *Bull Emerg Trauma.* 2018;6:271-8. PMID:[30402514](#)
28. Gottlieb M, Sundaram T, Olszynski P, et al. Just the facts: point-of-care ultrasound in cardiac arrest. *CJEM.* 2022;24:579-81. PMID:[35771485](#)
29. Atkinson P, Bowra J, Milne J, et al. International Federation for Emergency Medicine Consensus Statement: Sonography in hypotension and cardiac arrest (SHoC): An international consensus on the use of point of care ultrasound for undifferentiated hypotension and during cardiac arrest. *CJEM.* 2017;19:459-70. PMID:[27998322](#)
30. Gaspari RJ, Gleeson T, Alerhand S, et al. A Multicenter, Prospective Study Comparing Subxiphoid and Parasternal Views During Brief Echocardiography: Effect on Image Quality, Acquisition Time, and Visualized Anatomy. *J Emerg Med.* 2022;62:648-56. PMID:[35065867](#)
31. Huis In 't Veld MA, Allison MG, Bostick DS, et al. Ultrasound use during cardiopulmonary resuscitation is associated with delays in chest compressions. *Resuscitation.* 2017;119:95-8. PMID:[28754527](#)
32. Reynolds JC, Issa MS, T CN, et al. Prognostication with point-of-care echocardiography during cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation.* 2020;152:56-68. PMID:[32437781](#)
33. Lauridsen KG, Djarv T, Breckwoldt J, et al. Pre-arrest prediction of survival following in-hospital cardiac arrest: A systematic review of diagnostic test accuracy studies. *Resuscitation.* 2022;179:141-51. PMID:[35933060](#)
34. Gottlieb M, Holladay D, Burns KM, et al. Ultrasound for airway management: An evidence-based review for the emergency clinician. *Am J Emerg Med.* 2020;38:1007-13. PMID:[31843325](#)
35. Hernandez C, Shuler K, Hannan H, et al. C.A.U.S.E.: Cardiac arrest ultra-sound exam--a better approach to managing patients in primary non-arrhythmogenic cardiac arrest. *Resuscitation.* 2008;76:198-206. PMID:[17822831](#)
36. Breikreutz R, Walcher F, Seeger FH. Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Crit Care Med.* 2007;35:S150-61. PMID:[17446774](#)
37. Testa A, Cibinel GA, Portale G, et al. The proposal of an integrated ultrasonographic approach into the ALS algorithm for cardiac arrest: the PEA protocol. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2010;14:77-88. PMID:[20329565](#)
38. Lichtenstein D, Malbrain ML. Critical care ultrasound in cardiac arrest. Technological requirements for performing the SESAME-protocol--a holistic approach. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2015;47:471-81. PMID:[26578398](#)
39. Gardner KF, Clattenburg EJ, Wroe P, et al. The Cardiac Arrest Sonographic Assessment (CASA) exam - A standardized approach to the use of ultrasound in PEA. *Am J Emerg Med.* 2018;36:729-31. PMID:[28851499](#)
40. Reynolds JC, Nicholson T, O'Neil B, et al. Diagnostic test accuracy of point-of-care ultrasound during cardiopulmonary resuscitation to indicate the etiology of cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation.* 2022;172:54-63. PMID:[35065210](#)
41. Lalande E, Burwash-Brennan T, Burns K, et al. Is point-of-care ultrasound a reliable predictor



- of outcome during traumatic cardiac arrest? A systematic review and meta-analysis from the SHoC investigators. *Resuscitation*. 2021;167:128-36. PMID:[34437998](#)
42. Lau V, Blaszak M, Lam J, et al. Point-of-Care Resuscitative Echocardiography Diagnosis of Intracardiac Thrombus during cardiac arrest (PREDICT Study): A retrospective, observational cohort study. *Resusc Plus*. 2022;10:100218. PMID:[35299826](#)
43. Rabjohns J, Quan T, Boniface K, et al. Pseudo-pulseless electrical activity in the emergency department, an evidence based approach. *Am J Emerg Med*. 2020;38:371-5. PMID:[31740090](#)
44. 亀田徹, 藤田正人, 伊坂晃, 他. 外傷性気胸の超音波診断 FAST から EFAST へ. *日本救急医学会雑誌*. 2012;23:131-41.
45. Planquart F, Marcaggi E, Blondonnet R, et al. Appropriateness of Initial Course of Action in the Management of Blunt Trauma Based on a Diagnostic Workup Including an Extended Ultrasonography Scan. *JAMA network open*. 2022;5:e2245432. PMID:[36477480](#)
46. Netherton S, Milenkovic V, Taylor M, et al. Diagnostic accuracy of eFAST in the trauma patient: a systematic review and meta-analysis. *CJEM*. 2019;21:727-38. PMID:[31317856](#)
47. Dahmarde H, Parooie F, Salarzaei M. Accuracy of Ultrasound in Diagnosis of Pneumothorax: A Comparison between Neonates and Adults-A Systematic Review and Meta-Analysis. *Can Respir J*. 2019;2019:5271982. PMID:[31933707](#)
48. Nunes LW, Simmons S, Hallowell MJ, et al. Diagnostic performance of trauma US in identifying abdominal or pelvic free fluid and serious abdominal or pelvic injury. *Acad Radiol*. 2001;8:128-36. PMID:[11227641](#)
49. Canelli R, Leo M, Mizelle J, et al. Use of eFAST in Patients with Injury to the Thorax or Abdomen. *N Engl J Med*. 2022;386:e23. PMID:[35263521](#)
50. Scagliola R, Seitun S, Balbi M. Cardiac contusions in the acute care setting: Historical background, evaluation and management. *Am J Emerg Med*. 2022;61:152-7. PMID:[36116330](#)
51. Heinz ER, Vincent A. Point-of-Care Ultrasound for the Trauma Anesthesiologist. *Curr Anesthesiol Rep*. 2022;12:217-25. PMID:[35075351](#)
52. Latif RK, Clifford SP, Ghafghazi S, et al. Echocardiography and Management for Cardiac Trauma. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2022;36:3265-77. PMID:[35305892](#)
53. Kalagara H, Coker B, Gerstein NS, et al. Point-of-Care Ultrasound (POCUS) for the Cardiothoracic Anesthesiologist. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2022;36:1132-47. PMID:[33563532](#)
54. Jahanshir A, Moghari SM, Ahmadi A, et al. Value of point-of-care ultrasonography compared with computed tomography scan in detecting potential life-threatening conditions in blunt chest trauma patients. *Ultrasound J*. 2020;12:36. PMID:[32747992](#)
55. Chan KK, Joo DA, McRae AD, et al. Chest ultrasonography versus supine chest radiography for diagnosis of pneumothorax in trauma patients in the emergency department. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;7:CD013031. PMID:[32702777](#)
56. Rahimi-Movaghar V, Yousefifard M, Ghelichkhani P, et al. Application of Ultrasonography and Radiography in Detection of Hemothorax; a Systematic Review and Meta-Analysis. *Emerg (Tehran)*. 2016;4:116-26. PMID:[27299139](#)
57. Wells PS, Anderson DR, Bormanis J, et al. Value of assessment of pretest probability of deep-vein thrombosis in clinical management. *Lancet*. 1997;350:1795-8. PMID:[9428249](#)
58. 亀田徹, 石井浩統, 大屋聖郎, 他. 日本救急医学会救急 point-of-care 超音波診療指針. *日本救急医学会雑誌*. 2022;33:338-83.
59. Blankfield RP, Finkelhor RS, Alexander JJ, et al. Etiology and diagnosis of bilateral leg edema in primary care. *Am J Med*. 1998;105:192-7. PMID:[9753021](#)
60. Ely JW, Osheroff JA, Chambliss ML, et al. Approach to leg edema of unclear etiology. *Journal of the American Board of Family Medicine : JABFM*. 2006;19:148-60. PMID:[16513903](#)
61. Adler Y, Charron P, Imazio M, et al. 2015 ESC Guidelines for the diagnosis and management of pericardial diseases: The Task Force for the Diagnosis and Management of Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by: The European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2015;36:2921-64. PMID:[26320112](#)
62. Spodick DH. Acute cardiac tamponade. *N Engl J*

- Med. 2003;349:684-90. PMID:[12917306](#)
63. Andersen GN, Haugen BO, Graven T, et al. Feasibility and reliability of point-of-care pocket-sized echocardiography. *Eur J Echocardiogr.* 2011;12:665-70. PMID:[21810825](#)
64. Prinz C, Voigt JU. Diagnostic accuracy of a hand-held ultrasound scanner in routine patients referred for echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24:111-6. PMID:[21126857](#)
65. Liebo MJ, Israel RL, Lillie EO, et al. Is pocket mobile echocardiography the next-generation stethoscope? A cross-sectional comparison of rapidly acquired images with standard transthoracic echocardiography. *Ann Intern Med.* 2011;155:33-8. PMID:[21727291](#)
66. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, et al. Burden of valvular heart diseases: a population-based study. *Lancet.* 2006;368:1005-11. PMID:[16980116](#)
67. 原田和昌, 香坂俊, 酒井哲郎, 他. 超高齢者の大動脈弁狭窄症による急性心不全では院内死亡率が極端に高い 東京都CCUネットワークデータベース. *ICUとCCU.* 2013;37:S54-S8.
68. Mjølstad OC, Andersen GN, Dalen H, et al. Feasibility and reliability of point-of-care pocket-size echocardiography performed by medical residents. *European heart journal cardiovascular Imaging.* 2013;14:1195-202. PMID:[23644936](#)
69. Abe Y, Ito M, Tanaka C, et al. A novel and simple method using pocket-sized echocardiography to screen for aortic stenosis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2013;26:589-96. PMID:[23602166](#)
70. Abe Y. Screening for aortic stenosis using physical examination and echocardiography. *J Echocardiogr.* 2021;19:80-5. PMID:[33415574](#)
71. Furukawa A, Abe Y, Ito M, et al. Prediction of aortic stenosis-related events in patients with systolic ejection murmur using pocket-sized echocardiography. *J Cardiol.* 2017;69:189-94. PMID:[27012751](#)
72. Han PJ, Tsai BT, Martin JW, et al. Evidence Basis for a Point-of-Care Ultrasound Examination to Refine Referral for Outpatient Echocardiography. *Am J Med.* 2019;132:227-33. PMID:[30691553](#)
73. Murayama M, Iwano H, Nishino H, et al. Simple Two-Dimensional Echocardiographic Scoring System for the Estimation of Left Ventricular Filling Pressure. *J Am Soc Echocardiogr.* 2021;34:723-34. PMID:[33675942](#)
74. Oh JK. *The Echo Manual* 4ed 2019.
75. 筒井裕之, 北岡裕章, 磯部光章, 他. 心筋症診療ガイドライン (2018年改訂版) [http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2018\\_tsutsui\\_kitaoka.pdf](http://www.j-circ.or.jp/guideline/pdf/JCS2018_tsutsui_kitaoka.pdf) 2019年3月29日発行, 2023年4月閲覧
76. Jeong YH, Choi KJ, Song JM, et al. Diagnostic approach and treatment strategy in tachycardia-induced cardiomyopathy. *Clin Cardiol.* 2008;31:172-8. PMID:[18404727](#)
77. Magnani JW, Dec GW. Myocarditis: current trends in diagnosis and treatment. *Circulation.* 2006;113:876-90. PMID:[16476862](#)
78. 永井利幸, 猪又孝元, 河野隆志, 他. 2023年改訂版 心筋炎の診断・治療に関するガイドライン [https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2023/03/JCS2023\\_nagai.pdf](https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2023/03/JCS2023_nagai.pdf) 2023年3月11日発行 2023年4月閲覧.
79. Nieminen MS, Heikkila J, Karjalainen J. Echocardiography in acute infectious myocarditis: relation to clinical and electrocardiographic findings. *Am J Cardiol.* 1984;53:1331-7. PMID:[6711435](#)
80. Kociol RD, Cooper LT, Fang JC, et al. Recognition and Initial Management of Fulminant Myocarditis: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 2020;141:e69-e92. PMID:[31902242](#)
81. Laursen CB, Clive A, Hallifax R, et al. European Respiratory Society statement on thoracic ultrasound. *Eur Respir J.* 2021;57. PMID:[33033148](#)
82. Soult MC, Collins JN, Novosel TJ, et al. Thoracic ultrasound can predict safe removal of thoracostomy tubes. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014;77:256-61. PMID:[25058251](#)
83. 三澤賢治, 西智史, 西田保則, 他. 超音波検査による自然気胸の重症度判定の試み. *日本呼吸器外科学会雑誌.* 2010;24:8-11.
84. Lichtenstein D, Meziere G, Seitz J. The dynamic air bronchogram. A lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest.* 2009;135:1421-5. PMID:[19225063](#)
85. Reissig A, Kroegel C. Transthoracic sonography of diffuse parenchymal lung disease: the role of comet tail artifacts. *J Ultrasound Med.* 2003;22:173-80. PMID:[12562122](#)
86. Copetti R, Soldati G, Copetti P. Chest sonography: a useful tool to differentiate acute cardiogenic

- pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovasc Ultrasound*. 2008;6:16. PMID:[18442425](#)
87. Chavez MA, Shams N, Ellington LE, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res*. 2014;15:50. PMID:[24758612](#)
88. Hussain A, Via G, Melniker L, et al. Multi-organ point-of-care ultrasound for COVID-19 (PoCUS4COVID): international expert consensus. *Critical care (London, England)*. 2020;24:702. PMID:[33357240](#)
89. Singh Y, Tissot C, Fraga MV, et al. International evidence-based guidelines on Point of Care Ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Critical care (London, England)*. 2020;24:65. PMID:[32093763](#)
90. Galderisi M, Santoro A, Versiero M, et al. Improved cardiovascular diagnostic accuracy by pocket size imaging device in non-cardiologic outpatients: the NaUSiCa (Naples Ultrasound Stethoscope in Cardiology) study. *Cardiovasc Ultrasound*. 2010;8:51. PMID:[21110840](#)
91. Vourvouri EC, Poldermans D, Deckers JW, et al. Evaluation of a hand carried cardiac ultrasound device in an outpatient cardiology clinic. *Heart*. 2005;91:171-6. PMID:[15657226](#)
92. Trambaiolo P, Papetti F, Posteraro A, et al. A hand-carried cardiac ultrasound device in the outpatient cardiology clinic reduces the need for standard echocardiography. *Heart*. 2007;93:470-5. PMID:[16940393](#)
93. 上松東宏, 岡田唯男. プライマリ・ケア診療における Point-of-care 超音波 国際比較に基づく現状と展望. *日本プライマリ・ケア連合学会誌*. 2018;41:184-90.
94. 厚生労働省. 令和3年社会医療診療行為別統計(6月審査分) 医科診療2, 第3表 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/sinryo/tyosa21/dl/ika.pdf> アクセス日 2023年2月5日.
95. 水間美宏, 福岡幸子, 星野京子, 他. 訪問看護ステーション看護師の超音波検査に対する認識と実施を希望する要因. *日本在宅医療連合学会誌*. 2022;3:1-10.
96. Wydo SM, Seamon MJ, Melanson SW, et al. Portable ultrasound in disaster triage: a focused review. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2016;42:151-9. PMID:[26038019](#)
97. 日本超音波医学会. 災害時の対応マニュアル 第二版. [https://www.jsom.or.jp/outline/pdf/disaster\\_manual.pdf](https://www.jsom.or.jp/outline/pdf/disaster_manual.pdf) 2023年4月閲覧. 2020.
98. Barberato SH, Lopes M. Echoes of Telecardiology Guideline. *Arq Bras Cardiol*. 2020;114:130-2. PMID:[32049178](#)
99. Lopes M, Oliveira GMM, Ribeiro ALP, et al. Guideline of the Brazilian Society of Cardiology on Telemedicine in Cardiology - 2019. *Arq Bras Cardiol*. 2019;113:1006-56. PMID:[31800728](#)
100. Hoppmann RA, Mladenovic J, Melniker L, et al. International consensus conference recommendations on ultrasound education for undergraduate medical students. *Ultrasound J*. 2022;14:31. PMID:[35895165](#)
101. Kameda T, Koibuchi H, Konno K, et al. Self-learning followed by telepresence instruction of focused cardiac ultrasound with a handheld device for medical students: a preliminary study. *Journal of medical ultrasonics (2001)*. 2022;49:415-23. PMID:[35739371](#)
102. Kimura BJ, Blanchard DG, Willis CL, et al. Limited cardiac ultrasound examination for cost-effective echocardiographic referral. *J Am Soc Echocardiogr*. 2002;15:640-6. PMID:[12050606](#)
103. Jenkins S, Shiha MG, Yones E, et al. Cardiovascular examination using hand-held cardiac ultrasound. *J Echocardiogr*. 2022;20:1-9. PMID:[34341942](#)