

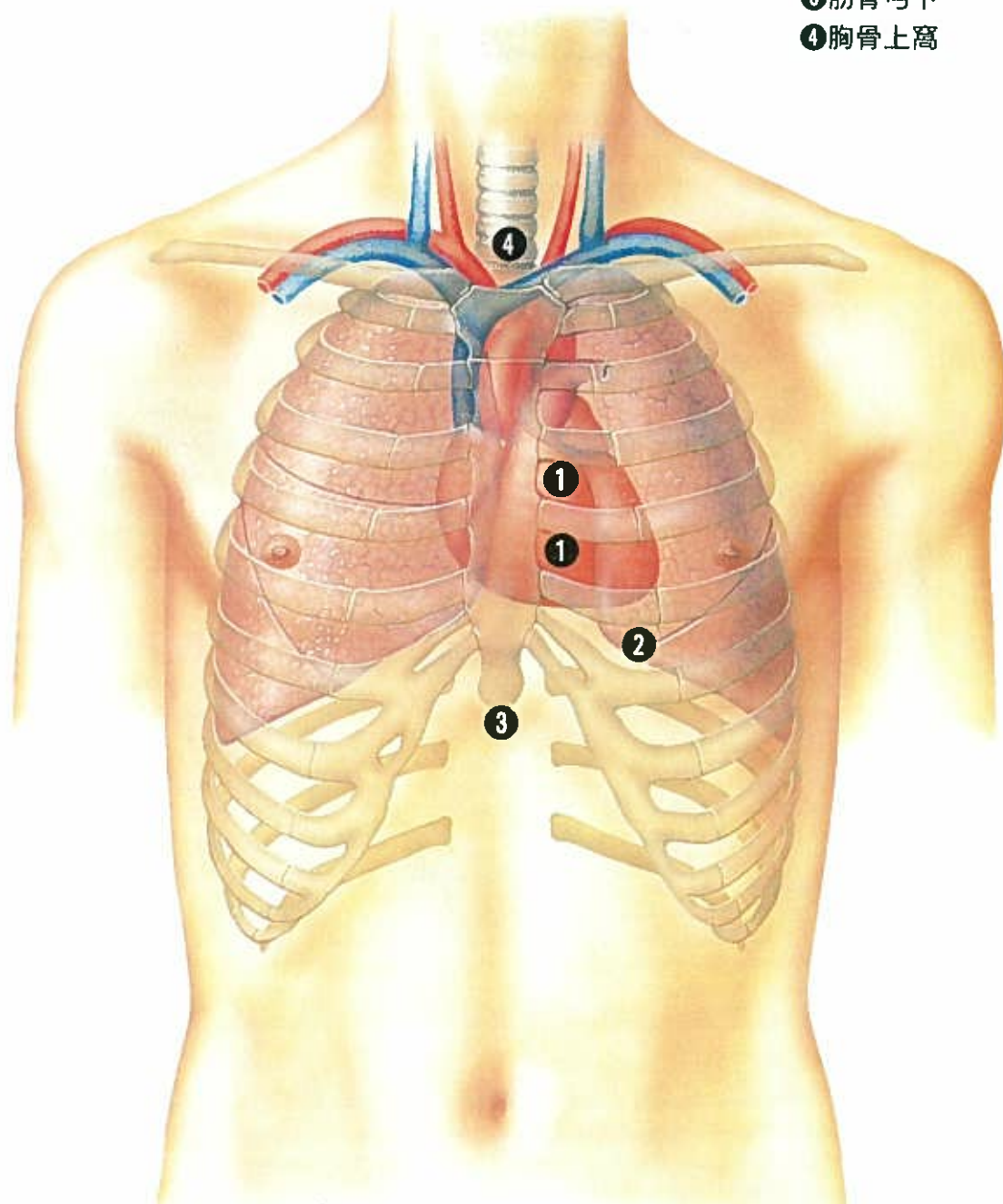
心エコー図のための 超音波解剖



正面からみた心臓の位置と 心エコーの主要なアプローチ

主要なアプローチ

- ① 胸骨左縁
- ② 心尖部
- ③ 肋骨弓下
- ④ 胸骨上窩

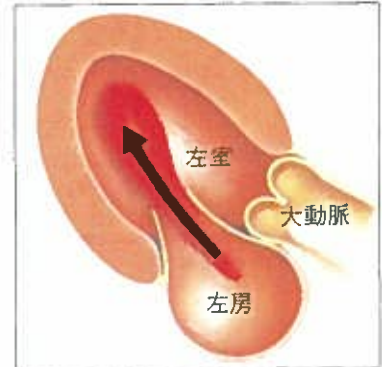
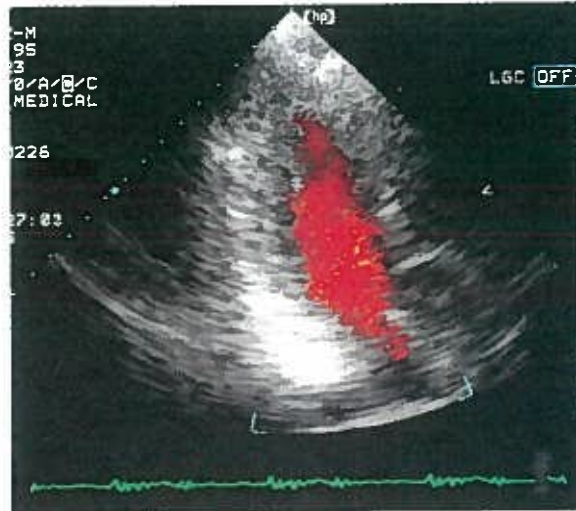


各アプローチに適した体位

- 小児：仰臥位 (①～④)
- 成人：半左側臥位 (①, ②)
- 仰臥位 (③, ④)
- 坐位 (④)

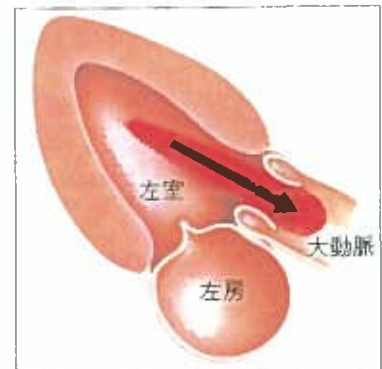
カラードプラ図法 [心尖部第2斜位]

正常左室流入路血流



血流が探触子に近づき、赤で示される。

正常左室流出路血流



血流が探触子から遠ざかり、青で示される。

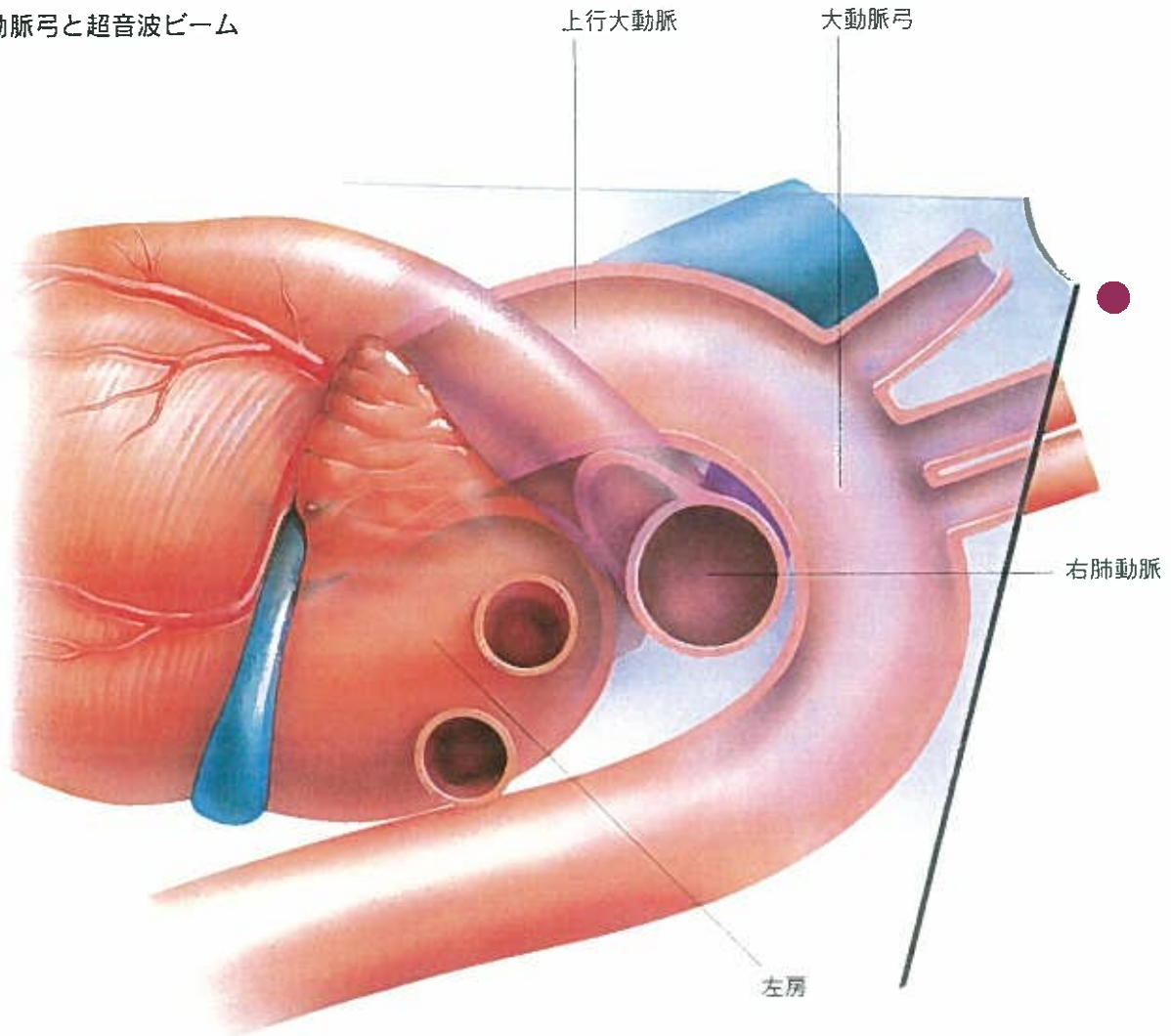
大動脈弁逆流



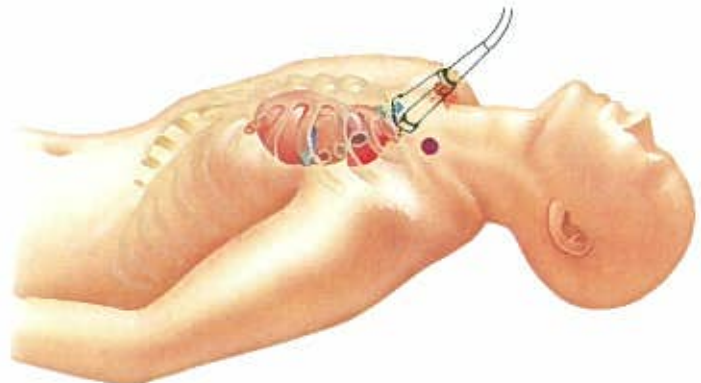
拡張期にモザイクパターンとなり、左室の中に描出される。

胸骨上窩—長軸断面像 (p.65)

大動脈弓と超音波ビーム



仰臥位
胸骨上窩からのアプローチ



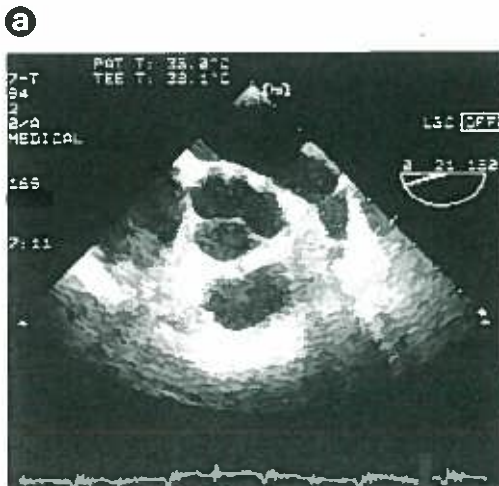
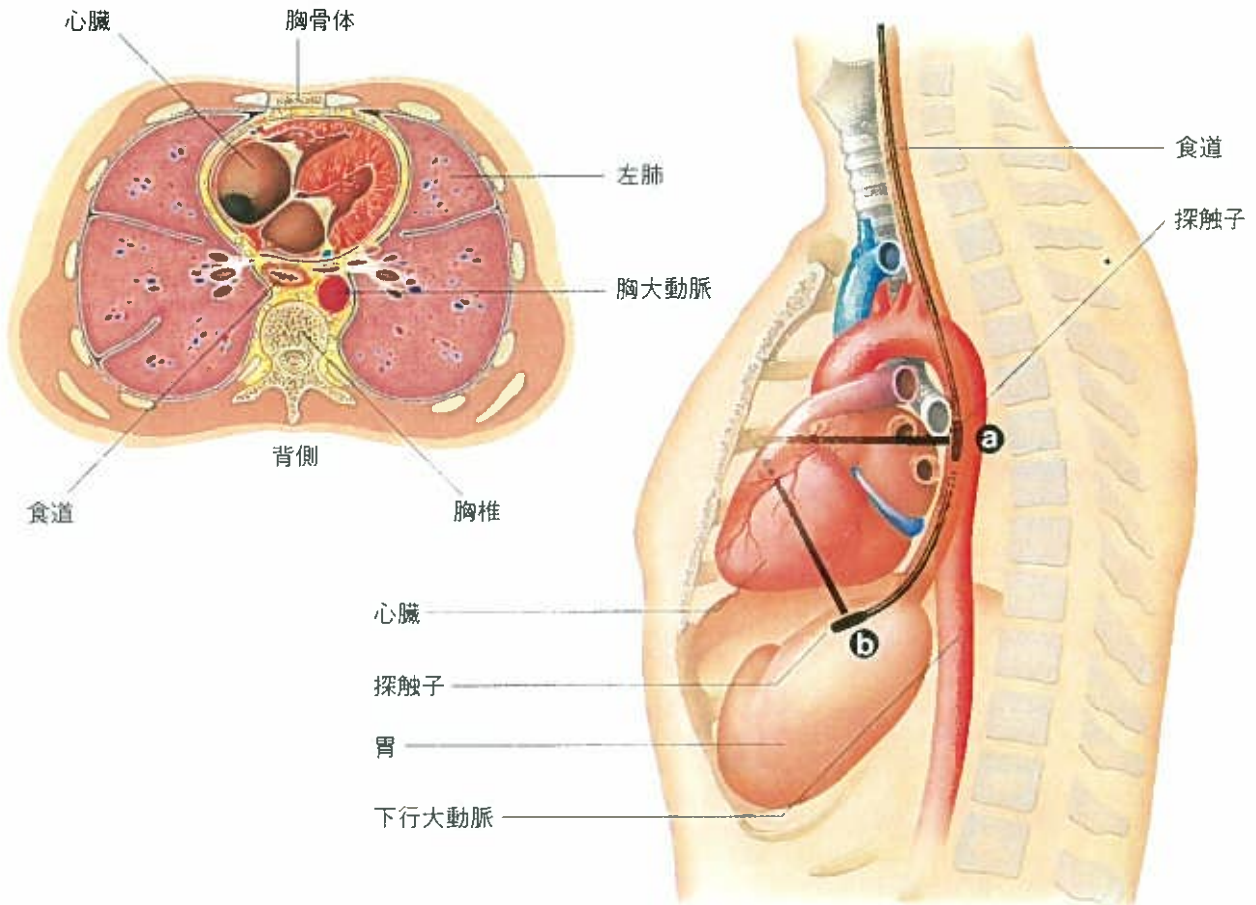
経食道心エコー図法

- ①大動脈弁レベル短軸断面像
- ②左室短軸断面像乳頭筋レベル

探触子の位置や角度により種々のレベルの画像が得られる。ここでは2断面を示す。

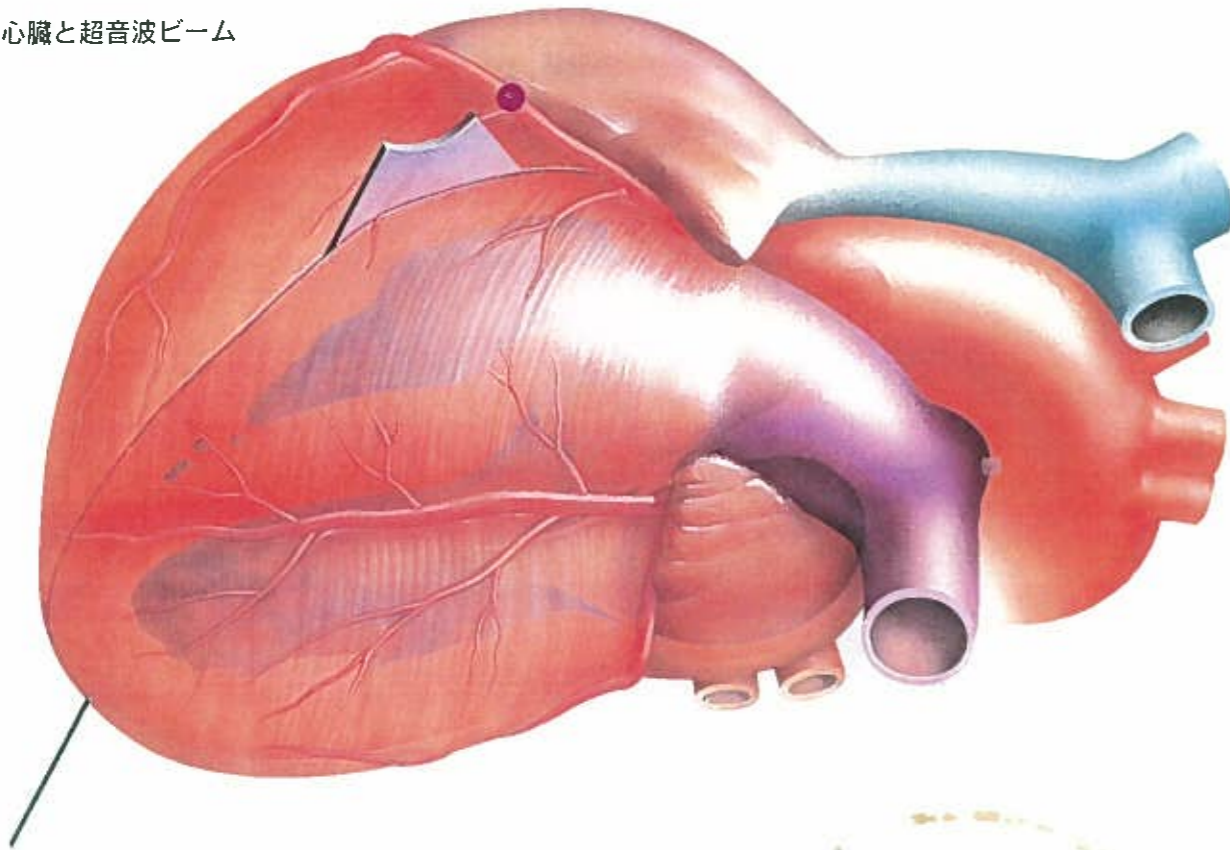
左右心房・心室レベルの横断面イメージ
(腹部よりみる)

経食道心エコー図法の矢状断面イメージ
(左側面よりみる)



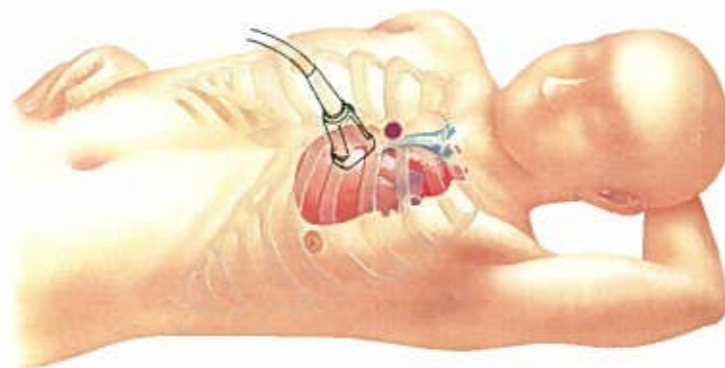
胸骨左縁長軸断面像

心臓と超音波ビーム

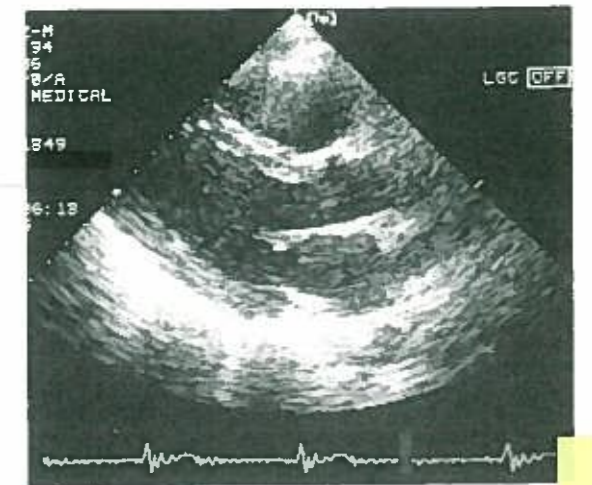
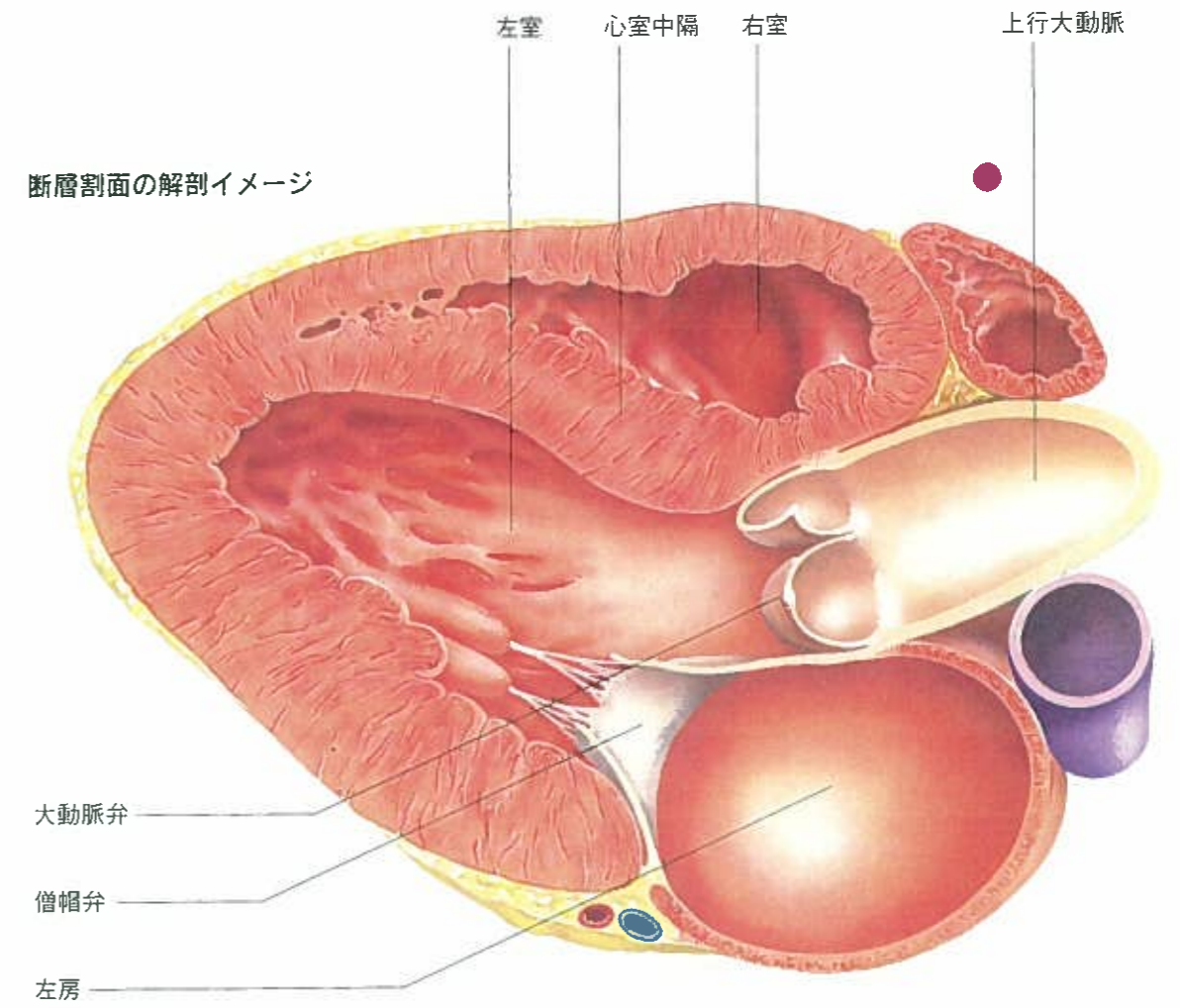


●: 探触子の指標の向きを示す

半左側臥位
胸骨左縁第3、4肋間からのアプローチ

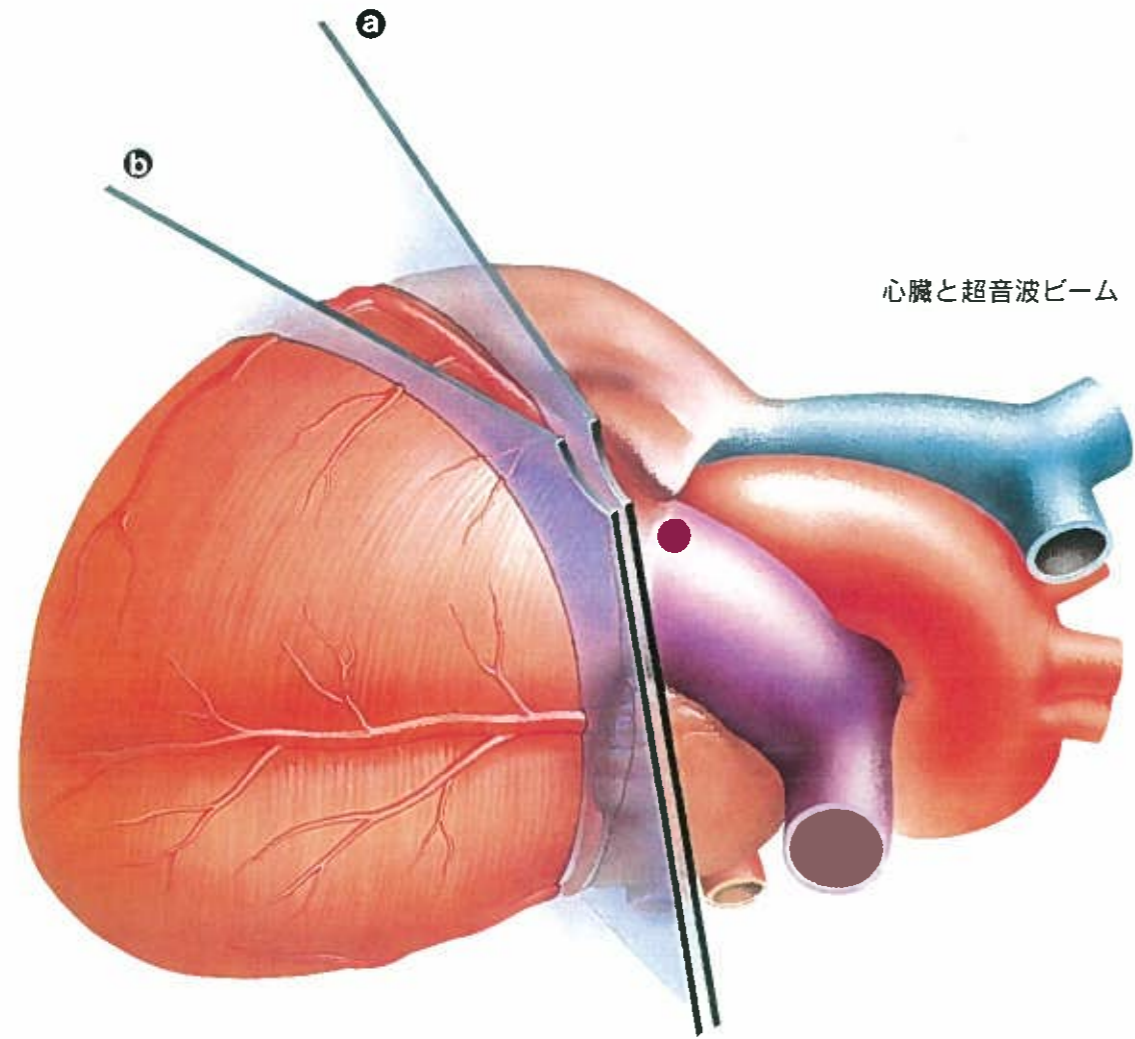


断層断面の解剖イメージ



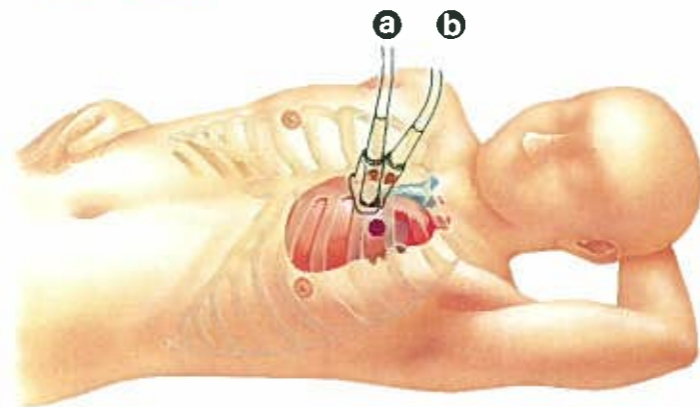
胸骨左縁短軸断面像

- Ⓐ 大動脈弁レベル
- Ⓑ 僧帽弁レベル

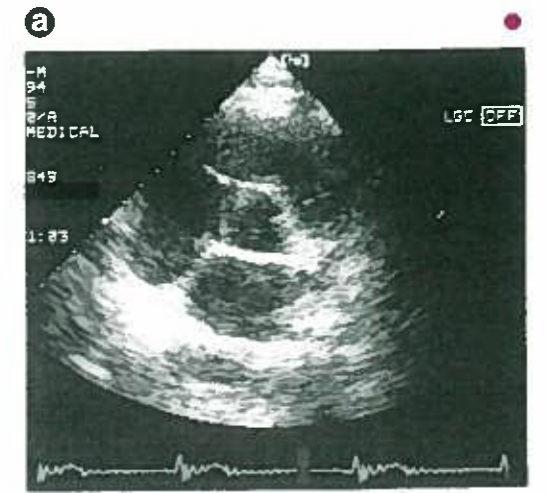
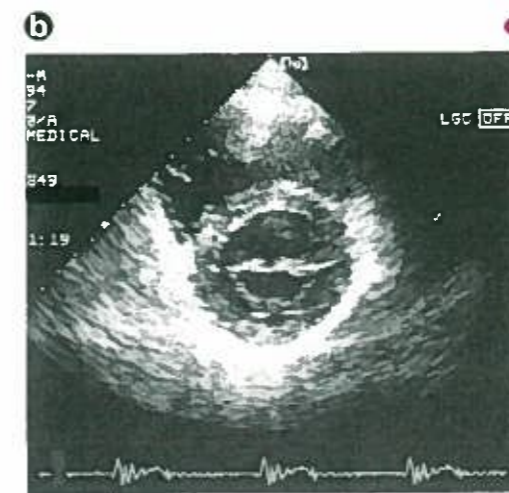
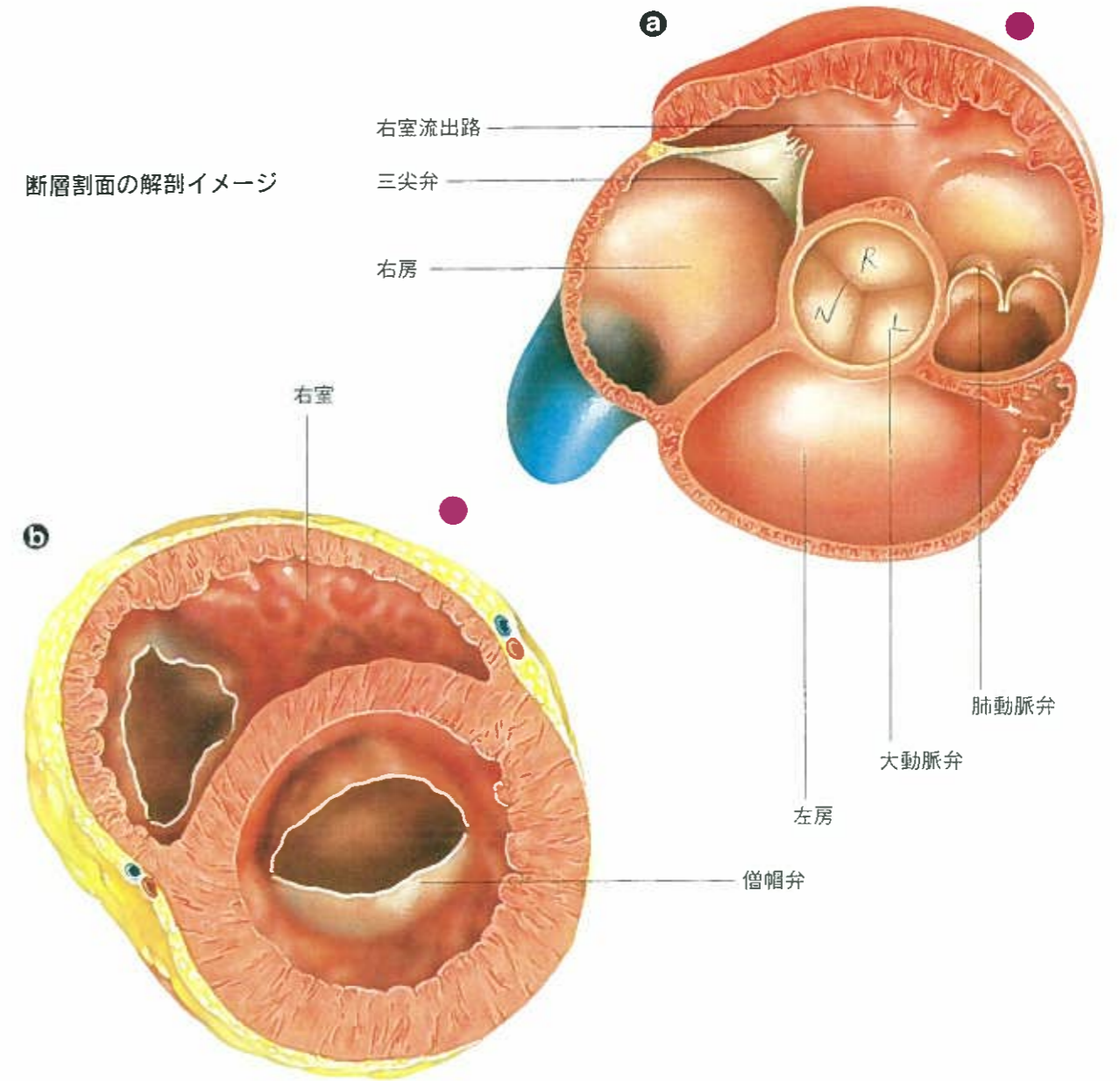


心臓と超音波ビーム

半左側臥位
胸骨左縁第3、4肋間からのアプローチ

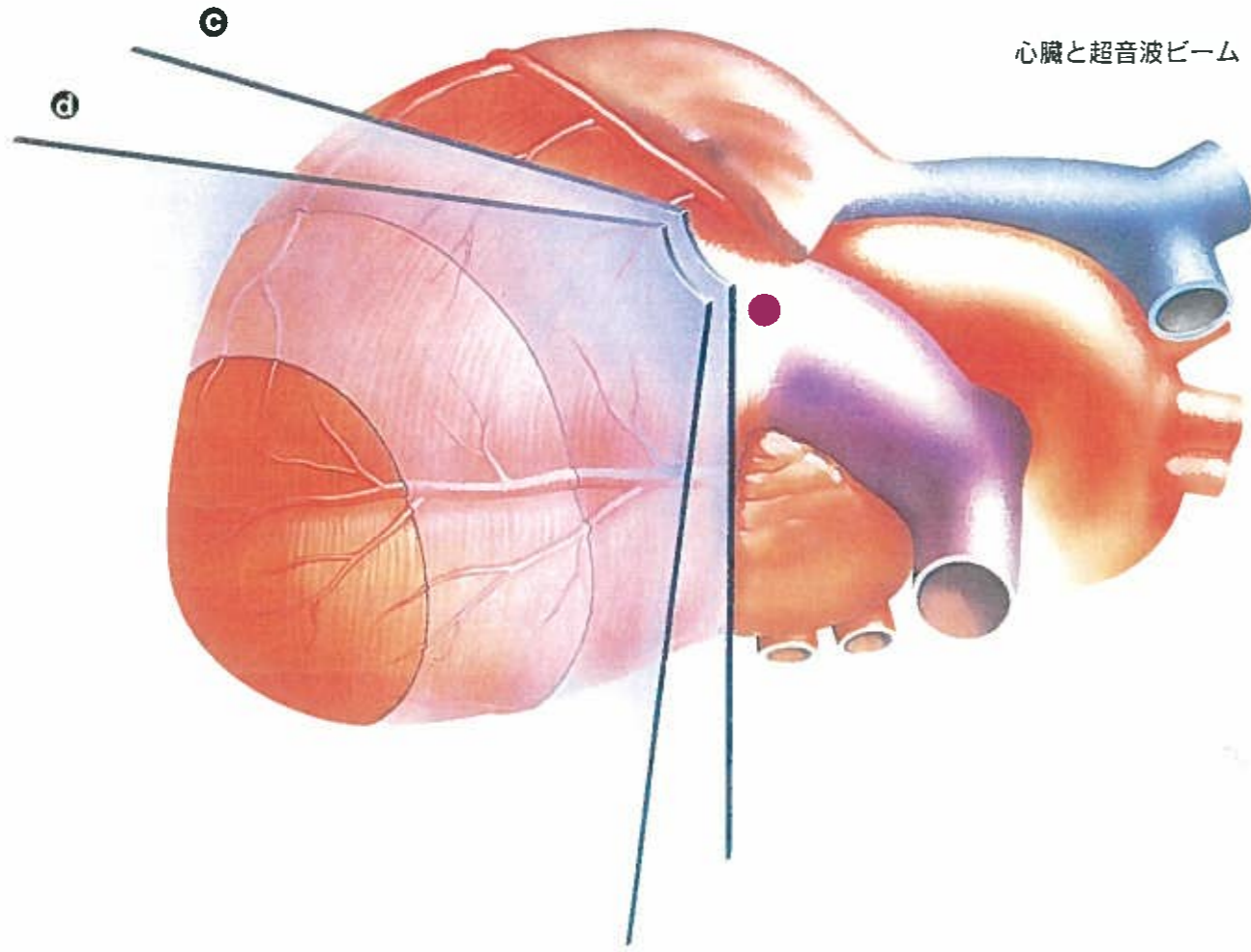


断層断面の解剖イメージ

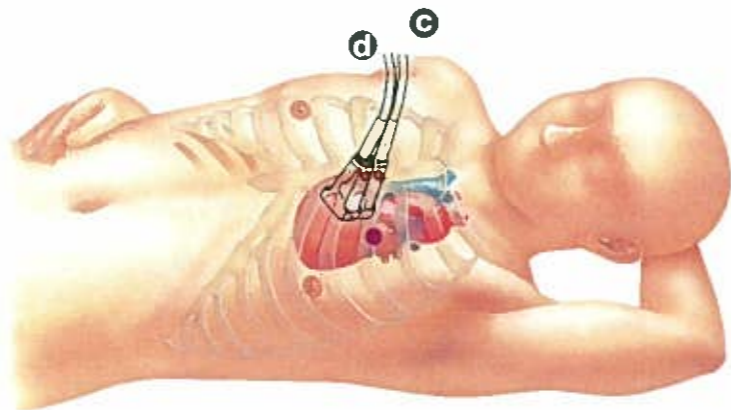


胸骨左縁短軸断面像

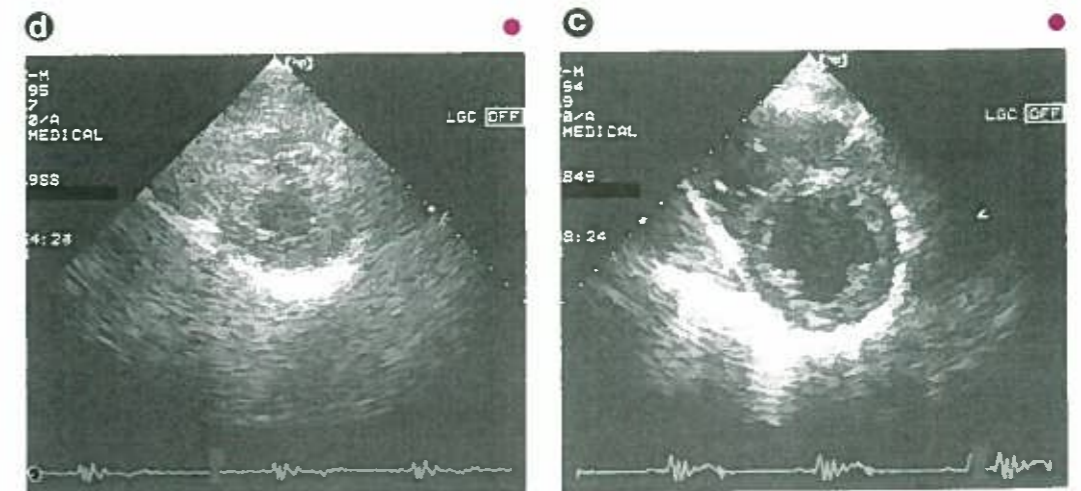
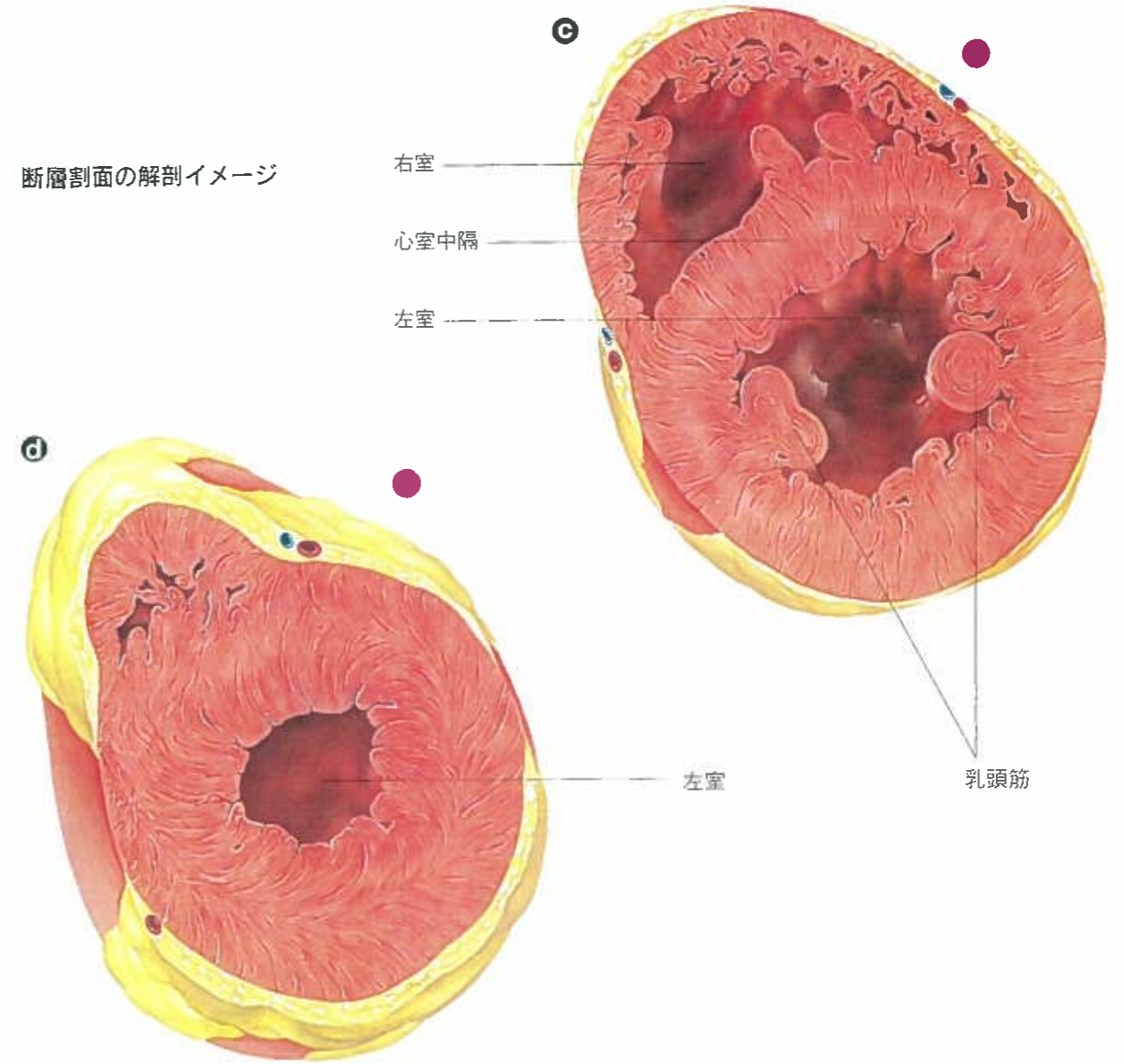
- 乳頭筋レベル
- 心尖レベル



半左側臥位
胸骨左縁第3、4肋間からのアプローチ

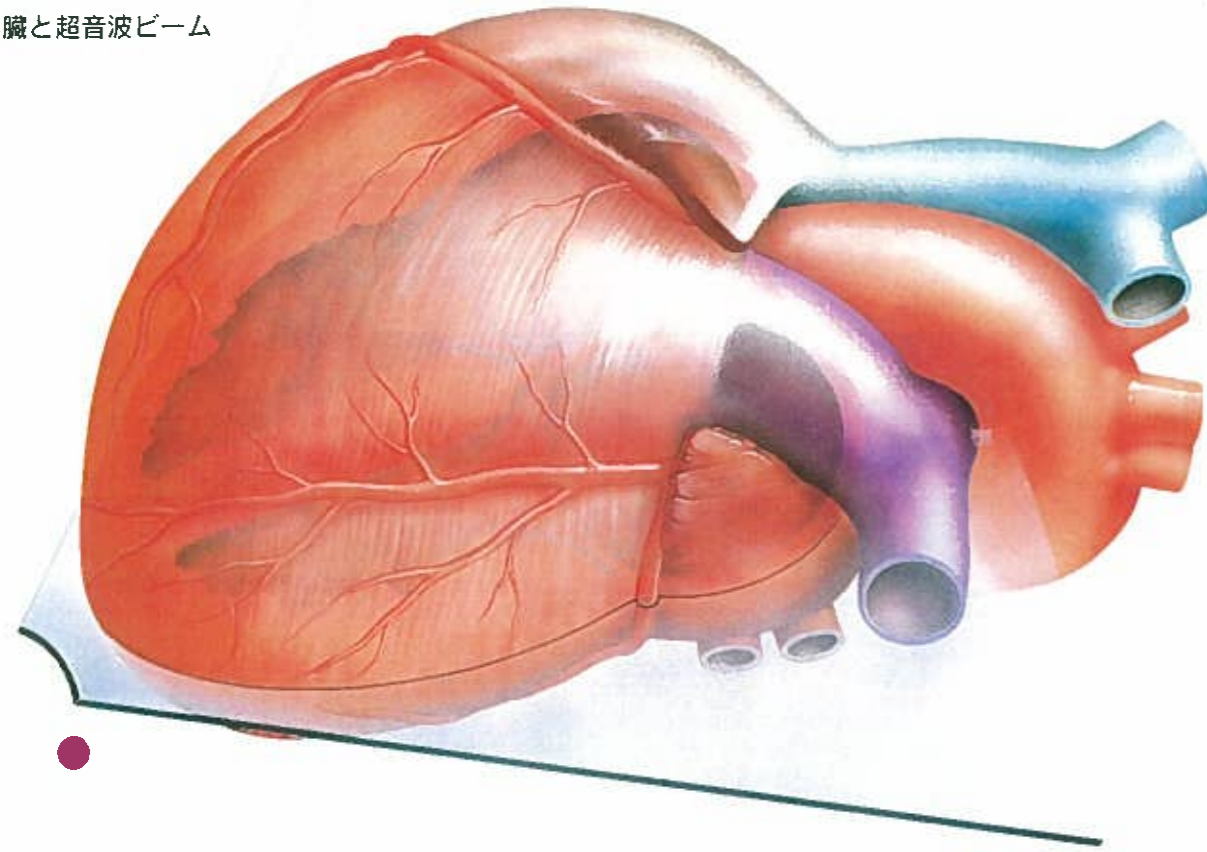


断層断面の解剖イメージ

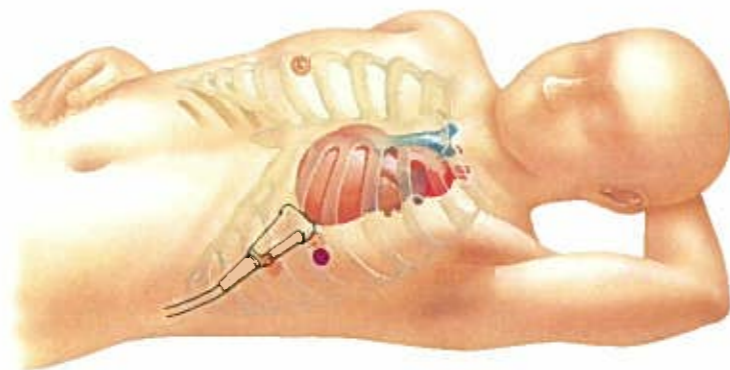


心尖部四腔断面像

心臓と超音波ビーム



半左側臥位
心尖部からのアプローチ



断層断面の解剖イメージ

心室中隔

左室

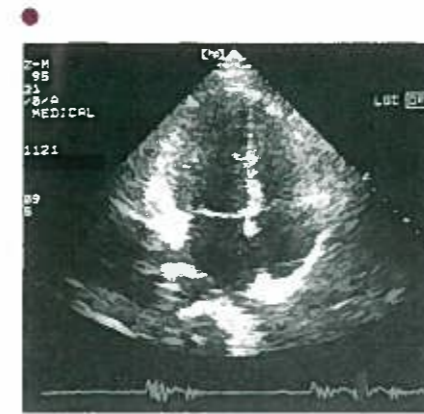
僧帽弁

右室

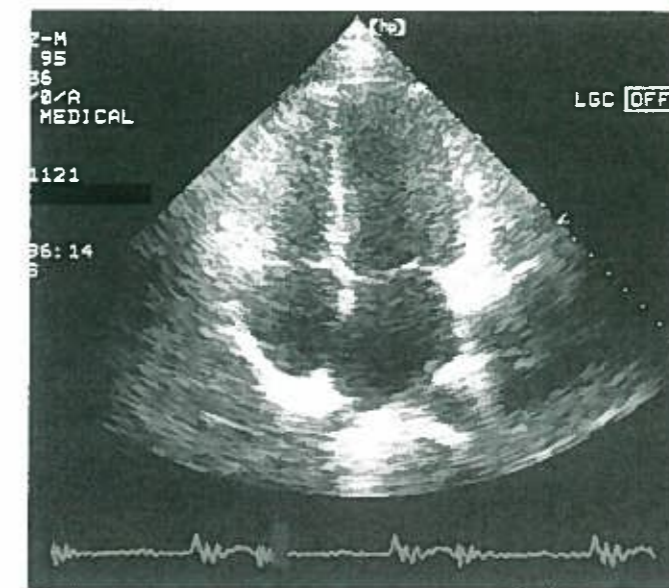
三尖弁

左房

右房



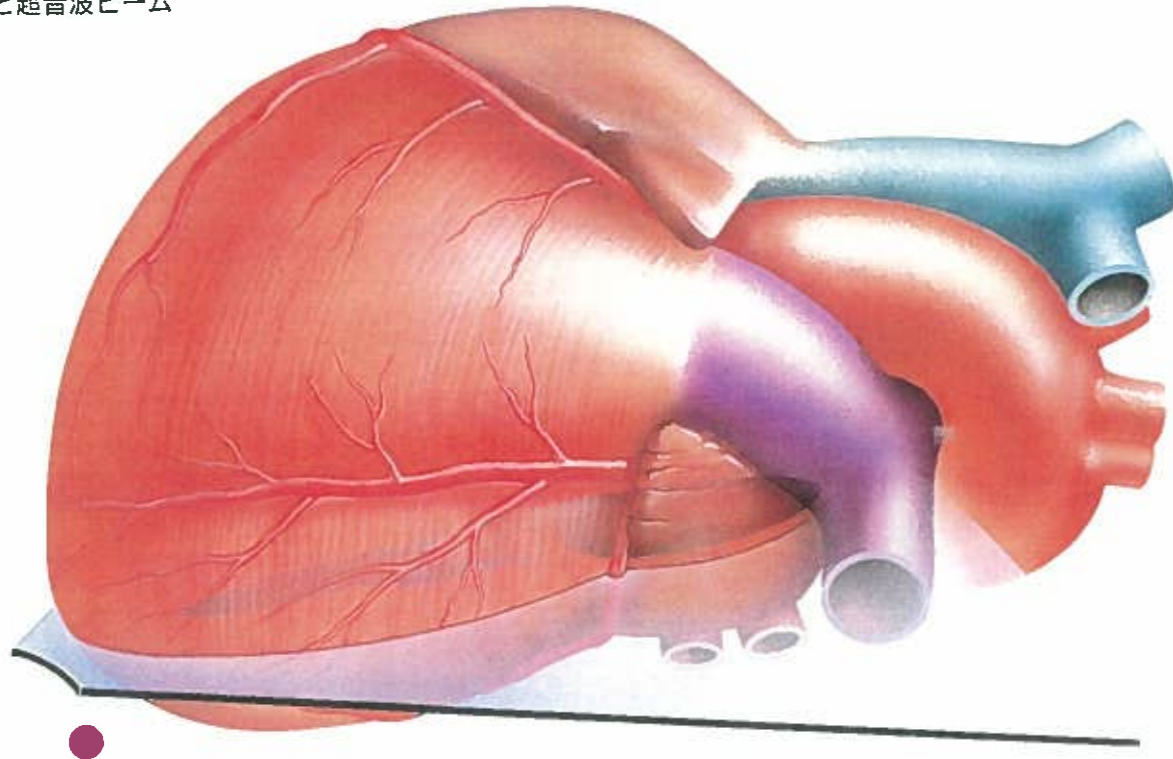
左右反転



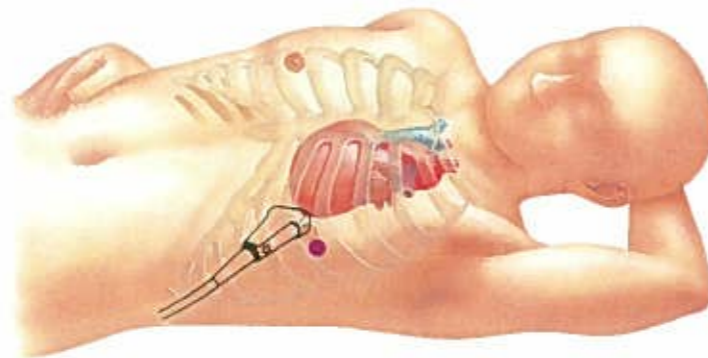
心尖部第1斜位断面像

2 (p. 1)

心臓と超音波ビーム



半左側臥位
心尖部からのアプローチ



断層断面の解剖イメージ

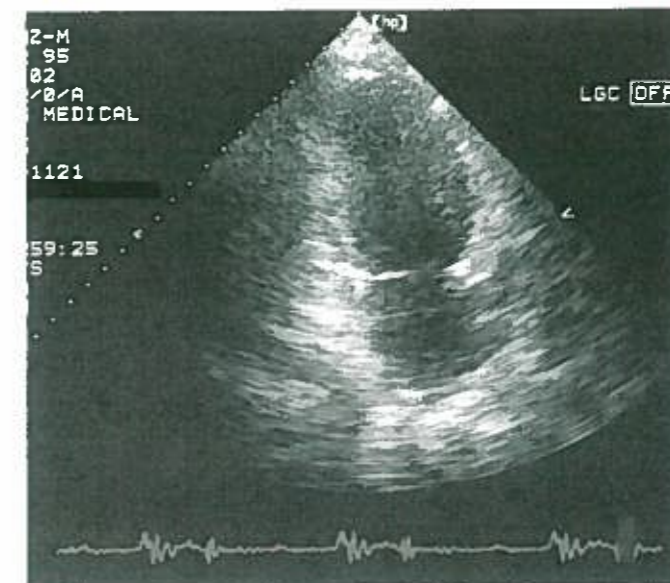
左室

僧帽弁

左房



左右反転



1-3 心エコー図検査の実際

装置の調整

主に、Mモード心エコー図、断層心エコー図で、よい画像を得るために、調整が必要な最低限のつまみ類について概説する（機種ごとに異なる場合があるので、詳細はそれぞれの取扱説明書を参照）。なお、心電図、心音図も、調整が重要である。

●検査ごとに毎回微調整が必要なつまみ

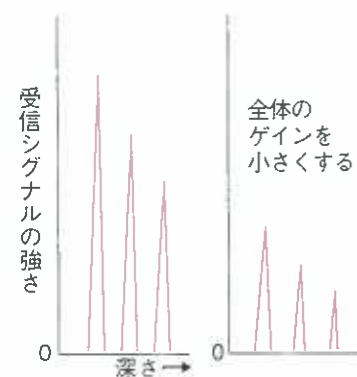
感度（Bモード、Mモード）ゲイン（gain）は、表示全体を明るくしたり暗くしたり調整するもので、一応の目安は、左室内腔など、構造物がないところは黒く（無信号）、心筋や弁など、みたい構造物が十分見えるように調整する。体表面からの距離に応じた部位ごとの調整は、STC（sensitivity time control）とかSDC（sensitivity depth compensation）^{注1)}とよばれるつまみで調整する（図1、2）。

心室中隔よりも体表に近い部位は、初期状態ではエコー信号が強めに出るのでやや弱めて、右室内腔が黒くなるようにし、左室後壁などの深い部分のエコー輝度とのバランスをとる。いずれのつまみでも、十分コントロールできないときは、探触子から発射される超音波の強さを acoustic power つまみなどで調節する。

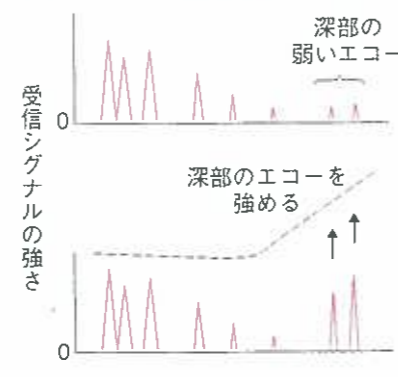
なお、Bモード、Mモードとも、独立して調節できるので、Mモードについては、プリンターで記録された画像をチェックしてMモードゲインを微調整する。

注1) STC (SDC)：探触子から近い部分、遠い部分などについて、それぞれの部位ごとにエコー輝度を調節する。near gain, far gain というつまみの機種もある。

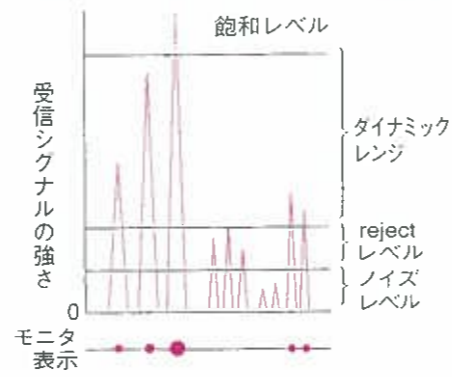
【図1】ゲインの調整



【図2】STCの調整



【図3】ダイナミックレンジの調整



深さ（視野深度） 体表面から近いところ（たとえば心尖部方向から心尖部を観察する場合など）を拡大して詳細にみたりするときは、深さ（depth）つまみを小さい値にする。心尖部からの断層像記録や、体格のよい患者などで心臓が画面からはみ出してしまう場合は、大きい値にして、奥までみえるようにする。

●検査の目的により時々調整が必要なつまみ

ダイナミックレンジ（dynamic range）^{注2)} ダイナミックレンジを大きく設定すれば、体内から戻ってくるエコー信号の弱い信号から強い信号まで幅広く表示できるため、心筋内の組織性状を推定したり、左房内の低速の血流の乱れによる、もやもやエコーなどを検出しやすくなる（図3）。一方、左室径の計測などが目的なら、境界面だけが鮮明に分かれればよいので、ダイナミックレンジを小さくしたほうがよい。

エコーエンハンス（echo enhance）^{注2)} 大きくすると、表示画像の輪郭が強調され、計測に便利となる。小さくすると墨絵的となる。

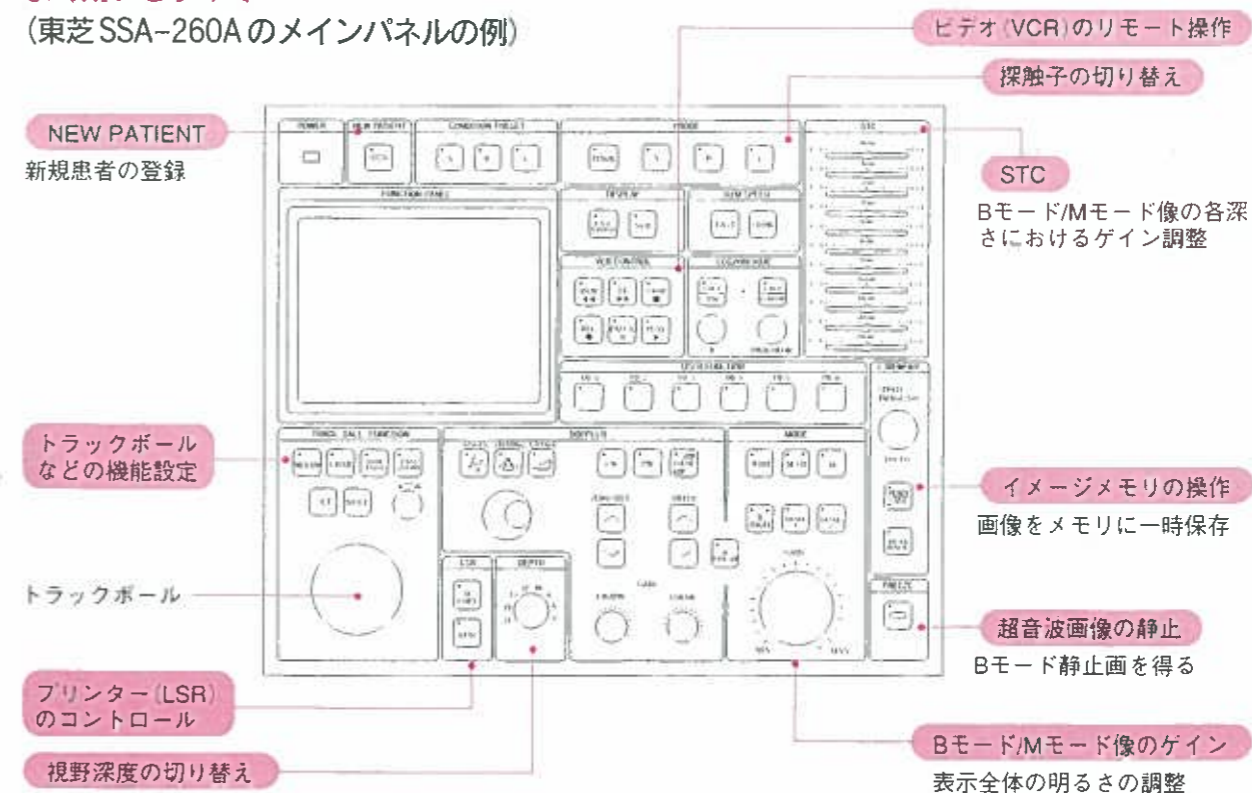
high frame（Bモード） Bモード表示範囲が半分になるが、フレームレートが倍になり、心臓の動きが、よりリアルタイムに見える。

high density（Bモード） 超音波走査密度が倍になり、画像の詳細がみやすくなるが、フレームレートは半分になる。動きをみるより、形態異常の診断が重要な場合に用いる。

注2) ダイナミックレンジ、エコーエンハンスなどの設定は、ある程度、検査者の好みにもよる。

よく用いるつまみ

（東芝 SSA-260A のメインパネルの例）



post-processing (Bモード) 白黒画像のガンマ補正, リジェクションを調整する。これにより, 不要なバックグラウンドエコーなどを消したりすると, 画像の質が向上する。

Mスピード Mモード表示の流れていく速さを変えられる。ストリップチャートに記録する際は, 標準には50 mm/secで記録する。

被検者への注意事項

被検者(患者)には, 検査方法, 目的などを知らせ, 検査にともなう危険はないことを説明しておく。老人保険の患者や健康保険の本人以外には, 検査料がかなりかかることも通知しておく。

前もって, 更衣室などで, 上半身の着衣を, 前開きになるような検査衣に着替えさせておくこと便利である(特に, 女性では, 上半身が裸のまま検査するのは禁忌である)。単に, 上着を首の方まで持ち上げるだけでは検査がしにくく, エコー用ゼリーが被検者の服に付いたり, 心音図に衣服の擦れる音などが混入してしまう(幼児, 小児例では, 保温などのため場合によっては着衣のまま検査することもある)。心電図も記録するため, 靴下を下げしておく(女性ではストッキングを脱いでもらう)。

検査の手順

●心エコー装置のセットアップ

腹部エコーなどと共用の超音波装置で, 探触子を付け替えたりする場合は, 必ず電源を切ってから行う。電源は壁面のコンセントから直接とり(細い家庭用電源のテーブルタップでは危険), 必ずアース線を接続する。

●主電源を入れる

窓のカーテンなどを閉め, エコー検査室の照明をやや暗くする。まっ暗よりも, 患者の状態がよく見え, キーボード操作がしやすい程度の暗さで, しかも, モニターに外からの光が入らないようにする。また, モニター画面の明るさ, コントラストを調節する。次に, ラインスキャンレコーダやビデオデッキの電源を入れる。

●患者をベッド上に寝かせる

皮膚に心電図用クリームを薄くすり込み, 心電図の電極を装着する。心音図用マイクロフォンを患者の第2肋間胸骨右縁または左縁におく(両面テープで固定)。

●患者名, 登録番号, 必要に応じ診断名やコメントなどを入力する

心電図, 心音図の位置やゲインを調整する。心音図のフィルターは普通, M(中音域)ないしH(高音域)とし, I, II音が判別できるようにする。

【表1】探触子の選択法

(1) よく用いる探触子	3.5~3.75MHz	小児や, やせ気味の成人例	綺麗な画像が得られる
	2.5MHz	肥満例, カラードプラ法	深い部位までみえる
(2) 時に用いる探触子	5MHz	小児や, やせ気味の成人例	近距離を精査したいとき, 心尖部アプローチで心尖部をよくみたいときなど
	7~7.5MHz	新生児など	

心電図の基線の揺れが目立つようなら, もう一度, 心電図用電極の金属部分と皮膚をアルコール綿などでよく拭き, 再度クリームを塗る。

●検査に使う探触子を本体のパネルから選ぶ

通常まず使うのは, 3.5~3.75MHzだが, 肥満があれば2.5MHzを用いる。カラードプラ法の際も2.5MHzを用いる(表1)。

●左室長軸のBモード断層法から始め, 全体像を確かめながら断面を変え, 各部位の検査を進める(1-5“経胸壁心エコー図法(断層法・Mモード法)の基本的操作”参照)

Bモード上で, ビーム方向を確認しながら, Mモード心エコー図を記録する。必要に応じ, カラードプラ, パルスドプラ, 連続波ドプラなどの検査を行う。

●一時検査を中断し画像を記録していないときは, フリーズボタンを押す探触子から無駄に超音波が発射されたまま放置すると, 探触子の劣化が早まる。

●検査終了後は, 再度, 写真による記録に失敗がないか確認する(ポラロイドフィルムや, ストリップチャート記録)

探触子先端のゼリーをよく拭きとり, 探触子を落とさないように, 本体横にあるホルダに入れ, 途中のケーブルをケーブルアームにかける。

心電図の電極, 心音図用マイクロフォンをはずす。心電図の電極もクリームをよく拭きとり, また, 心音図用マイクロフォンは落として壊さないように所定の位置へ戻す(探触子やマイクロフォンは落とすと容易に壊れ, 有償交換となる)。

患者の体表のゼリーをよく拭きとり, 服を着るように伝える。

●検査が終了したら, エコー装置の主電源を切る

プリンター, ビデオデッキなど, 別途, 電源を切る必要がある場合, 切り忘れがないように気をつける。

2.5MHz

3.5MHz

5MHz



よい画像を撮るコツ

●ベストの画像

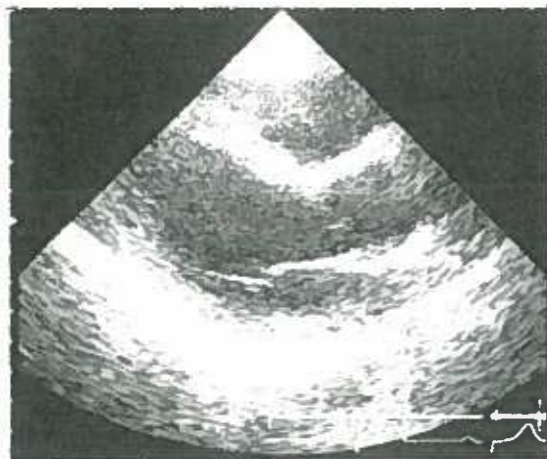
目的とする病変を正しく評価できるような鮮明な画像を得ることが重要で、自信をもって計測できるような画像が望ましい。たとえば、左室計測するには、左室壁の境界面が正しく描出されていなければならない。

エコー画像は、ビデオテープレコーダに記録し、必ず、他の医師と一緒に見直すこととし、いつも、他人にみせるつもりで、恥ずかしくない画像を撮るよう心掛ける。

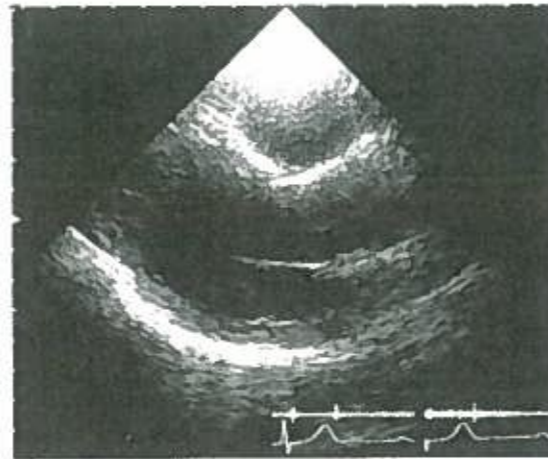
症例ごとのゲインの微調整をしないと、画像が薄すぎたり、全体が白っぽくなったりするので注意する(図4)。

モニターでは、ちょうどよいと思っても、記録紙上では汚いこともあるので、必ず、記録を確認しながら撮影する。

【図4】よい画像と悪い画像の例



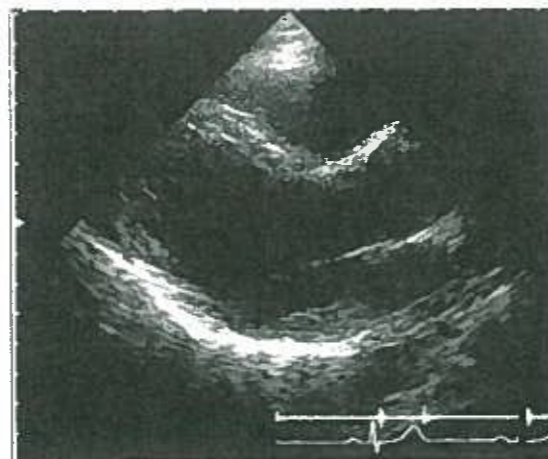
全体のゲインが大きすぎる



体表に近い部位のエコーが強すぎる



深部のエコーが強いのでSTCツマミなどで深部のゲインを下げた方がよい



全体のエコー強度のバランスがとれている

見落としがあってはならず、たとえ異常はないと思っても、必ず、一定の撮り方(たとえば、胸骨左縁からの左室長軸、短軸、心尖部からの四腔断面像、第1斜位断面像、さらに、必要なら肋骨弓下や胸骨上窩からの断面など)に従って、くまなく記録すべきである。特に、心尖部病変は見逃されやすい。同時に記録される心電図なども、基線の揺れなく適切に記録されなければならない。

また、僧帽弁狭窄症なら、弁口面積を測定するとか、肺高血圧症が疑われれば、三尖弁逆流を記録し圧較差をみるなど、疾患ごとに忘れてはならないポイントを考えながら記録する。

いくら頑張っても、肥満症例などでは、不満足な画像しか撮れないことがあり、レポートには、そのことを記載しておき、計測値などの信頼性が低いことを明示する。

●被検者の体位、呼吸管理など

右肩の下に枕などを入れ、左側を下にするような姿勢とする。こうした左下側臥位で心尖拍動が、より触知しやすくなれば、心尖部からの断面も撮りやすい。

記録不良なら、左を向く角度をさらに深くしたり、頭部を少し上げる(ベッドの頭側を20~30度挙上)など工夫をする。エコー記録を撮りやすい部位が、径数mmの範囲しかなくて、しかも肋骨の直下に隠れていたのが、こうした体位変換で、肋間にずれ、良好な記録が得られることがある。心尖部からの記録には、左上肢を挙上させて、肋間を広くさせるとよい。

胸骨左縁からの記録では、呼気止めの状態のほうが記録しやすいので、「息を吸って、吐いて、はい、そのまま止めて」と指示し、十分記録できたら(少なくとも5~6心拍分以上)、「はい、息を楽にして」と声をかける。息を止めさせるときは、検者も同時に息を止める。そうしないと、息を止めさせたまま、何十秒も放置し、患者の信用を失うことになる。

肋骨弓下からの断層図は、息を大きく吸い込んだほうが、心臓が下のほうへ降りてくるのでみやすくなる。また、両膝を曲げさせ、腹壁の緊張をとったほうが撮りやすい。心尖部からの記録の場合は、吸気、呼気どちらのほうがよいか試行錯誤して確認する必要がある。

心エコー図検査は、大変優れた検査法で、聴診器と同程度の有用性があるが、十分な画像が得られない患者や、心エコー図だけでは診断できなかったり、見逃されやすい疾患もあり、さらに、アーチファクトを疾患と誤る可能性もある。必要に応じて、CT、MRI、心臓核医学検査、心臓カテテル検査などを上手に組み合わせることも重要である。

1-4 経胸壁心エコー図法 (断層法・Mモード法)とは

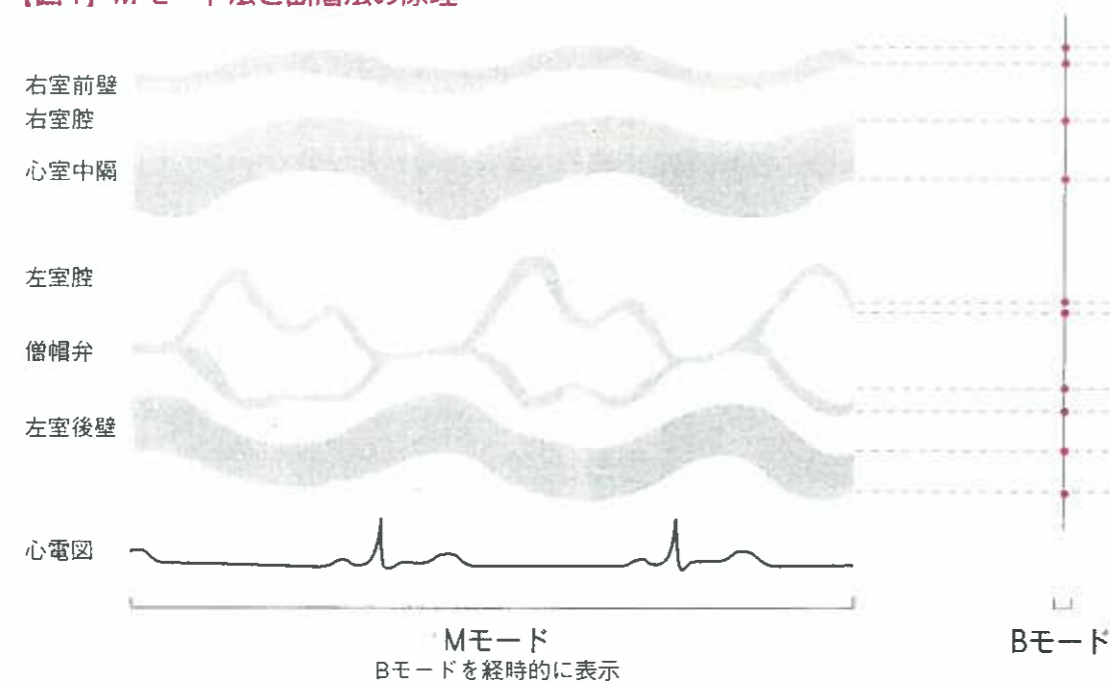
日常の診療で体表面から行う経胸壁心エコー図法には断層法 (Bモード)、Mモード法、およびドプラ法があるが、この章では断層法とMモード法について述べる。

断層法とは

探触子から出た超音波パルスは心臓にぶつかって反射し、探触子へ戻ってくる。戻ってきた超音波エコーの振幅の程度に応じて輝度の強弱を表示したものがBモードであり、この輝度表示をもとにして、超音波ビームを放射、走査させて心臓の形態や動きを二次元で描出したものが断層心エコー図である (図1)。

断層心エコー図法では体表の1点から扇状に、ある断面内でビームを移動させ走査するセクタ方式が適しているので、現在では心エコー装置はセクタ方式のものが主流である。セクタ走査用の探触子にはメカニカルセクタ走査式と電子セクタ走査式の2種類があり、現在普及しているのは後者である (1-1 “心エコー図の原理” 参照)。

【図1】 Mモード法と断層法の原理



【特徴】

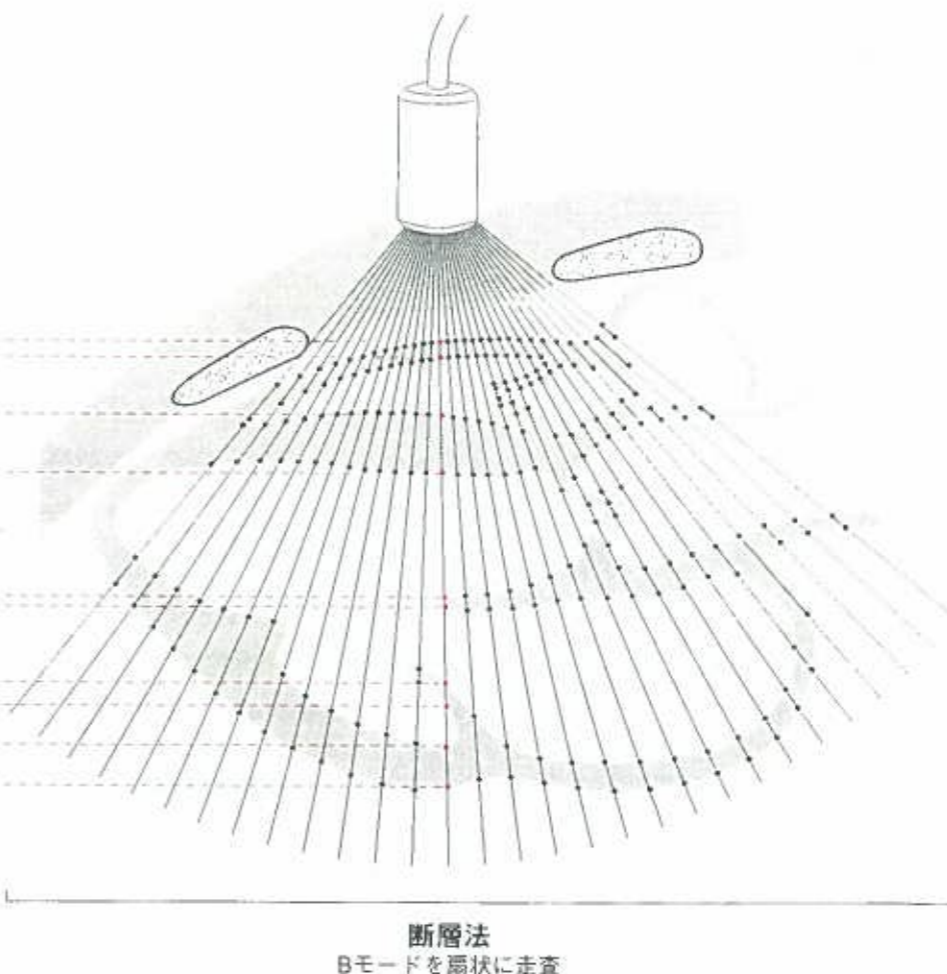
- 探触子を胸壁にあて超音波が届く範囲内で任意の断層像が得られる。
- 心臓全体の形態や、心臓各部位の動きを立体的に把握する手段となる。
- ほぼリアルタイム (実時間) で画像が得られるので動きを評価するのに適している。

Mモード法とは

反射して戻ってきた超音波エコーの強さを輝度変調して表示するのはBモードと同じであるが、この各輝点をパルスの方向と直角に一定の速度で移動させて得られる図がMモード心エコー図である (図1)。

【特徴】

- 超音波検査の主流が断層法とドプラ法へ移ったが、心臓各部位の動きのパターン、時相のずれ、および心臓内構造物の位置関係の異常を検出するのに優れている (時間分解能および時相分析)。
- 心臓各部位の計測 (Bモードでの計測は不正確なことがある) に用いられる。
- 心臓内異常物や音響学的透亮像 (心膜液貯留など) の検出に用いられる。



1-5 経胸壁心エコー図法 (断層法・Mモード法)の基本的操作

最近の超音波機器は性能がよくなり、かつ扱いやすくなっているが、診断能力は検者の技術や経験によるところが大きいといわざるをえない。

症例によって、一通りのスクリーニングでよい場合もあれば、弁膜症例のように弁の性状や機能を細かく評価して治療方針の決定をしない場合もある。多くの症例を経験することはもちろんのこと、ほかの臨床検査成績をも考慮しながら、心エコー図を記録し、注意深く検討していくことが大切である。

断層心エコー図装置を用いれば誰でも任意の断層像を簡単に得られるが、まず基本的な断層像を正確に記録できて、正常か異常かの正しい判断ができるようになることが大切である。限られた時間内で要領よく検査を行うためには、自分なりの検査手順を決めておくのがよい。

Mモード法は、現在では探触子を変えることなく手元のスイッチを切り替えるだけで断層像と同一画面上に表示することができる。したがって、はじめに断層心エコー図法で心臓内構造物および心臓各部位の動きを観察してから、ビームがあたる部位を確認し、Mモード法の検査を始めるのがよい(後出「Mモードへの切り替え」)。

検査時の体勢と位置

●被検者(患者)の姿勢

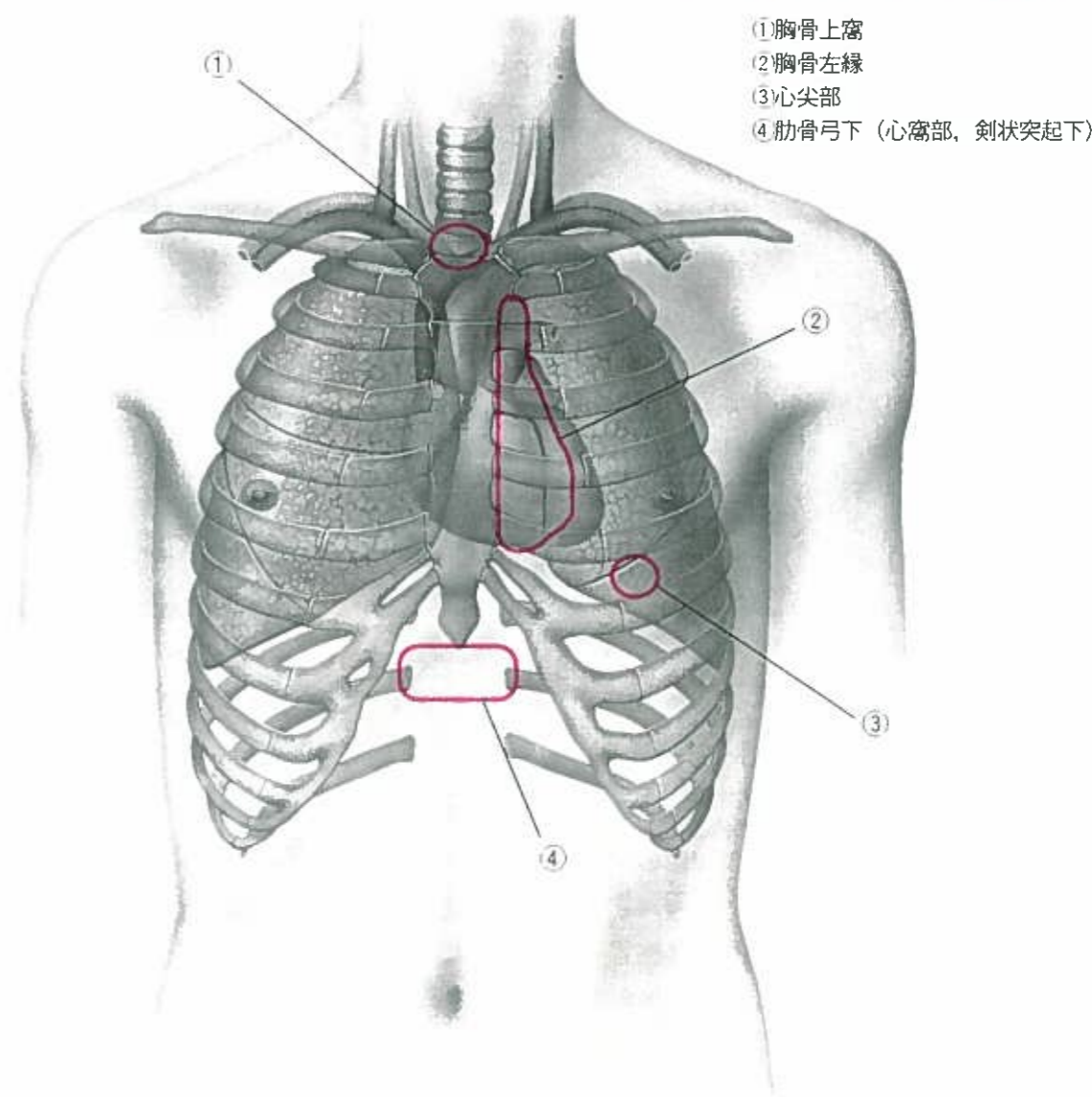
被検者の上半身を裸にし、ベッド(超音波検査用に作られたチルト・テーブルがあれば理想的である)に寝かせる。

心臓の周囲には、肺、胸骨、肋骨があって超音波ビームの通過可能な部位は限られている(図1)。幼児では仰臥位でも比較的よい画像が得られるが、成人では肺が心臓前面にかぶさっているため、超音波の入射可能な音響窓(acoustic window)と呼ばれる範囲がさらに狭くなり、よりよい画像を得るための工夫が必要となる。

一般的には、被検者を左側臥位、あるいは半左側臥位にして、胸骨左縁、心尖部、胸骨上窩、あるいは肋骨弓下(心窩部、剣状突起下)から探触子を用いてアプローチする。

原則として、左室流出路と心尖を結ぶ方向の心臓長軸と、それに直交す

【図1】超音波の入射可能な音響窓



- ①胸骨上窩
- ②胸骨左縁
- ③心尖部
- ④肋骨弓下(心窩部、剣状突起下)

る短軸を基準にして走査する。

●被検者と検者の位置

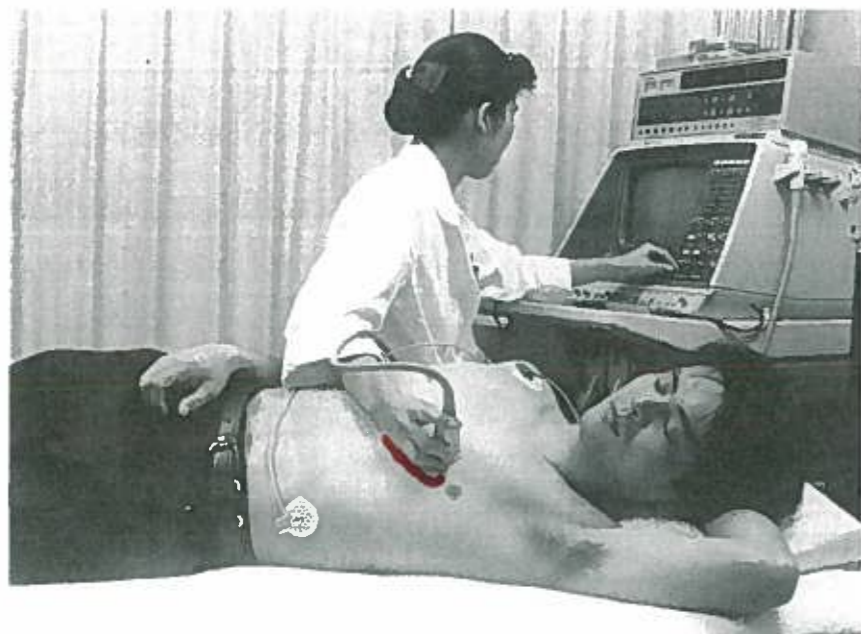
心エコー装置を被検者頭部の右側に置き、検者は右手で探触子を持って固定し、左手で装置のパネルを操作する(図2)。

●探触子の持ちかた

探触子の側面に付いている丸いポッチ(あるいは線)が、得られる画像の上下、左右の関係の指標となるので、その付いている方向に注意し、あらかじめ探触子の向きと画像の映り方の関係を確認しておく。

探触子は、拇指と人差し指、中指の間にしっかりと把持し、手のひらの小指側は、被検者の胸壁上に固定する(図3)。探触子は、被検者が痛がるほど強く押しつけてはならないが、記録しているうちに先端の位置が滑って場所がずれないように注意する。

【図2】被検者の姿勢と検者の位置



検者は右手で探触子を持ち、左手で装置のパネルを操作する。

【図3】探触子の持ちかた



拇指と人差し指、中指の間にしっかりと把持し、手のひらの小指側は被検者の胸壁に固定する。

基本的断面像の描出

●胸骨左縁長軸断面像の描出

まず、探触子を第3、4、あるいは5肋間胸骨左縁に置き、探触子側面の指標を内側(検者側)に向けると、胸骨左縁長軸断面像が得られる(図4)。

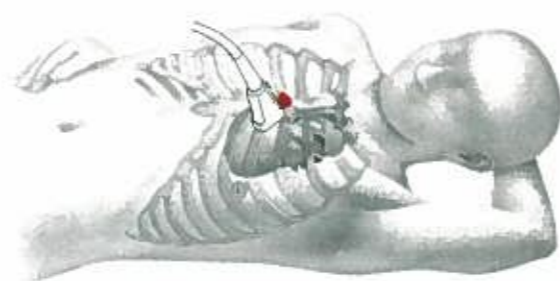
このときに、心室中隔と後壁とが平行になり同時に左室流出路から大動脈弁までがきれいに観察できるように、探触子の位置を少しずつずらしたり、微妙に回転させたり、傾斜させたりしてよい画像が得られるよう工夫し、操作の要領やコツをおぼえることが大切である。体表に置く位置をほんの数mmずらすだけでも、画像はかなり変化する。

●胸骨左縁短軸断面像の描出

胸骨左縁長軸断面像を描出した位置から、探触子を時計方向に90度回転し、探触子の先端を斜め内側上方に傾けると、中央に大動脈弁の3つの弁尖がみえ、その下に左房、左隣に右房および三尖弁がみえる。見えにくい場合は1肋間上に探触子をずらして観察する(図5)。

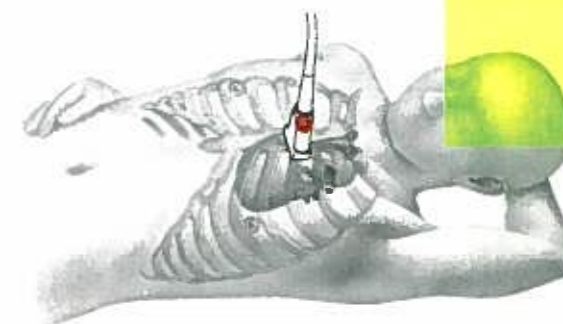
【図4】胸骨左縁長軸断面像描出のためのアプローチ

探触子を第3、4肋間胸骨左縁に置き、探触子側面の指標を内側に向ける。



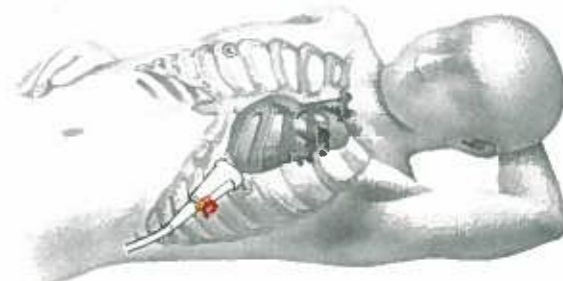
【図5】胸骨左縁短軸断面像(大動脈弁レベル)描出のためのアプローチ

図4の探触子を90度時計回転させる。見えにくい場合は1肋間上にずらす。



【図6】心尖部四腔断面像描出のためのアプローチ

心尖拍動が触れる部位に探触子を置き、画面をみながら調整する。



【図7】肋骨弓下からの断面像描出のためのアプローチ

三尖弁や大動脈弁の上方には右室流出路が斜めに切れてみえ、それに続いて右上方に肺動脈弁がみえる。これが胸骨左縁短軸断面の大動脈弁レベルである。その位置で探触子の先端を斜め外側下方へ扇状に傾けていくと僧帽弁レベル、乳頭筋レベル、心尖部の断層像が得られ画面中央に輪切り状の左室がみえ、その左上方に右室がみえるはずである。心拡大や位置異常があるときには、探触子を心尖方向へ少し移動させないと斜め切りになってしまうので注意が必要である。

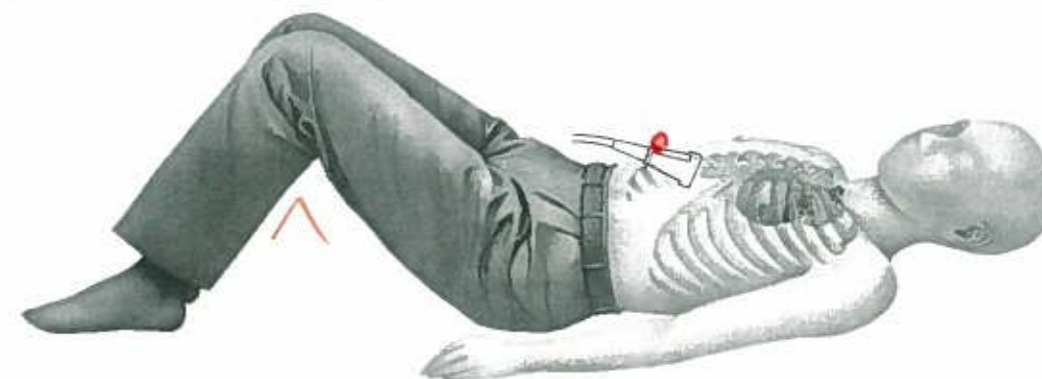
●心尖部四腔断面像、心尖部第1斜位および心尖部第2斜位断面像の描出

心尖部からのアプローチは、心尖拍動が体表から触れる場合はその部位に、触れない場合はおよその見当をつけて、画面をみながら探触子をあて、適当な部位を探す。

探触子側面の指標を検者と反対側(外側)に向けると、画面の右側に左室と左房が、左側に右室と右房が描出される(図6)。これが心尖部からの四腔断面像である。その位置で探触子を右室がみえなくなるまで30~45度反時計回転させると、左室の前壁が右側に、後下壁が左側にみえてくる。これが心尖部第1斜位(RAO)断面像(心尖部二腔断面像)で、おそらく描出が最も困難で苦勞する断面である。さらにその部位で心室中隔が描出されるまで探触子を反時計回転すると、心尖部第2斜位(LAO)断面像(心尖部左室長軸像)が得られる。

●肋骨弓下、胸骨上窩からの断面像の描出

被検者を仰臥位にし下肢を屈曲させ、肋骨弓下、正中線からやや右側に探触子をあて、腹部を圧



【表1】基本断面像とアプローチの部位

基本断面像	アプローチの部位			
	胸骨左縁	心尖部	肋骨弓下	胸骨上窩
左室長軸断面	○			
後交連側	○			
前交連側	○			
大血管・左室短軸断面				
大動脈弁レベル	○		○	
僧帽弁レベル	○		○	
乳頭筋レベル	○		○	
心尖部		○		
右室流出路長軸断面	○		○	
右室流入路長軸断面	○		○	
四腔断面	○	○	○	
四腔十大動脈断面		○		
心尖部第1斜位 (RAO)		○		
心尖部第2斜位 (LAO)		○		
大動脈弓				○

迫すると下大静脈、肝静脈、右房などが観察される(図7)。また、仰臥位で、背部の肩甲骨の下に枕を入れて首を後方に屈曲させ、胸骨上窩に探触子をあてると上行大動脈、大動脈弓、下行大動脈が観察できる(図8)。

表1に心エコー図の基本的な断面像を得るためのアプローチの部位を示す。

断面像の表示方法 (図9)

- 画面上、探触子に近い部分が上方に、探触子から遠いものほど下方になるように表示する。
 - 心臓の長軸に沿って縦切りにする胸骨左縁長軸断面では心基部が画面の右側、心尖部が左側になるように表示する。
 - 心臓を輪切りにする短軸断面や心尖部四腔断面では被検者の左右は、そのまま画面の左側と右側になるように表示する。
- つまり、経胸壁法では、一般に胸骨左縁長軸断面では検者が被検者の左側の方向から縦断された心臓断面を眺めるような断層像(図9-a)を、短軸断面では横断された心臓断面を心尖部の方向から眺めるような断層像(図9-b)を、また、心尖部四腔断面では被検者の下肢の方向かつ背側から心臓断面を眺めるような断層像(図9-c)を描出し表示する。

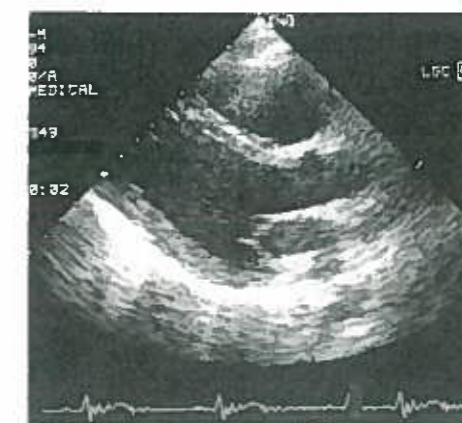
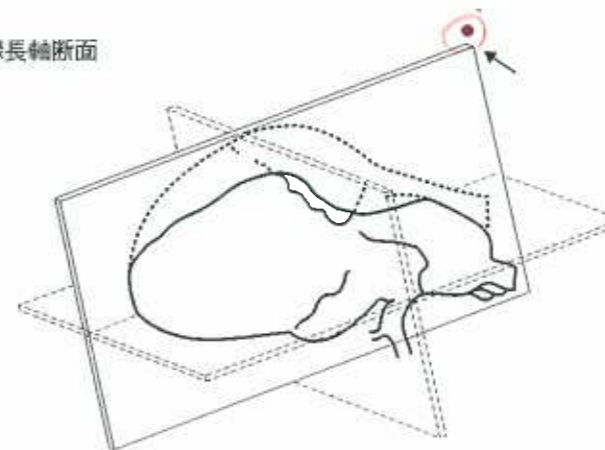
【図8】胸骨上窩からの断面像描出のためのアプローチ



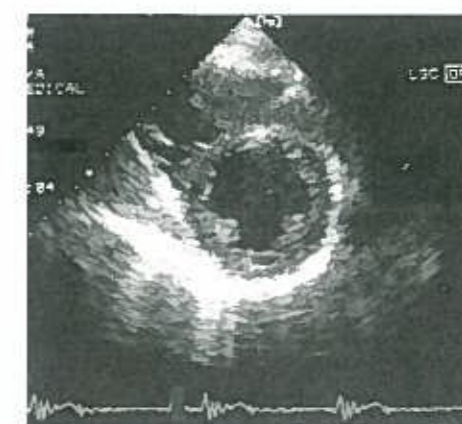
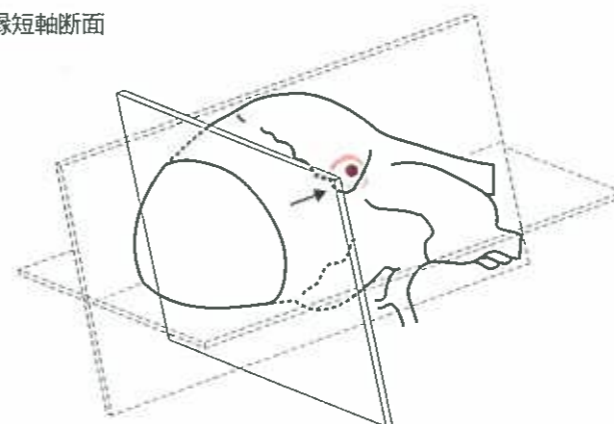
【図9】断面像の表示方法

●印が画面の向かって右側にくるように表示される。

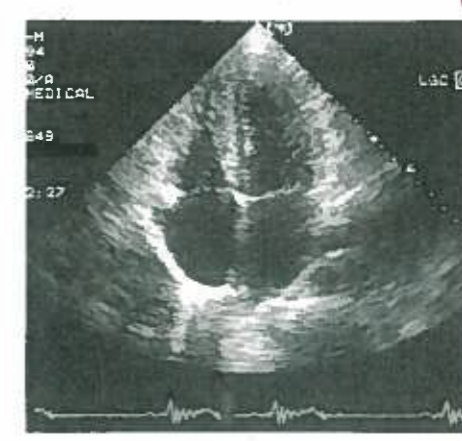
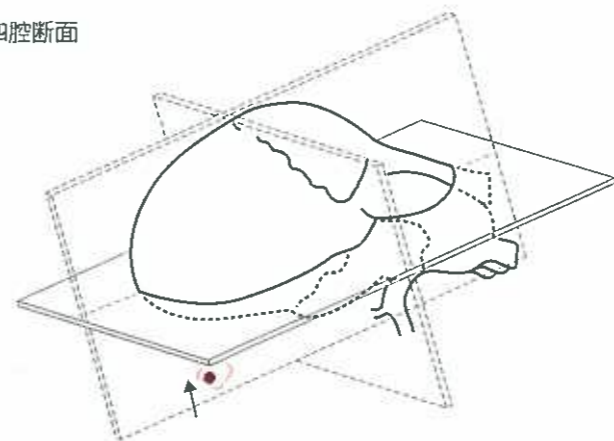
a 胸骨左縁長軸断面



b 胸骨左縁短軸断面

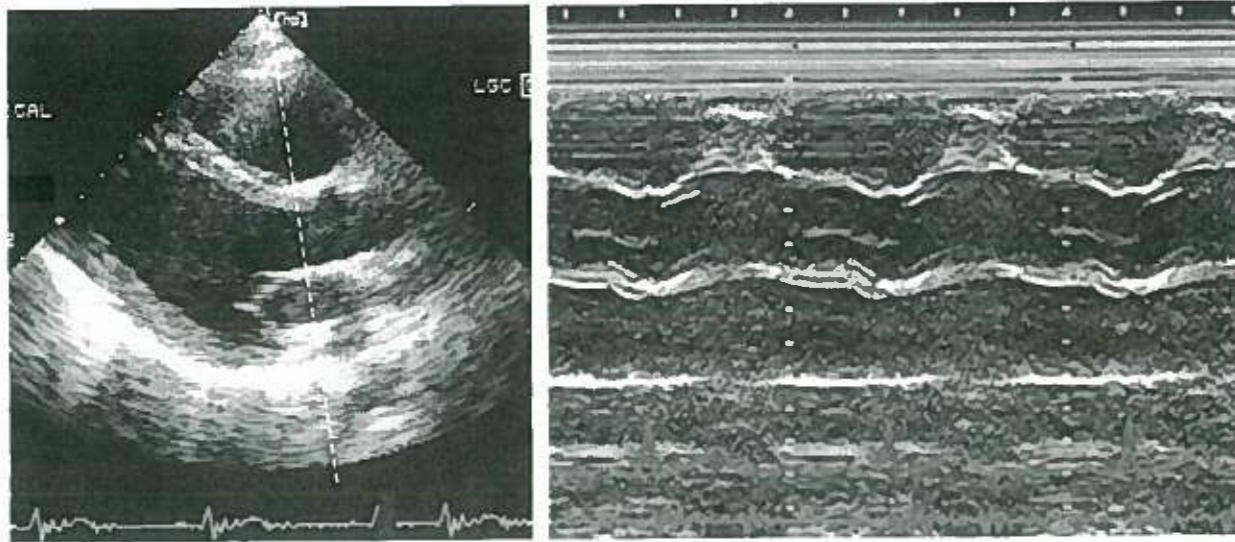


c 心尖部四腔断面



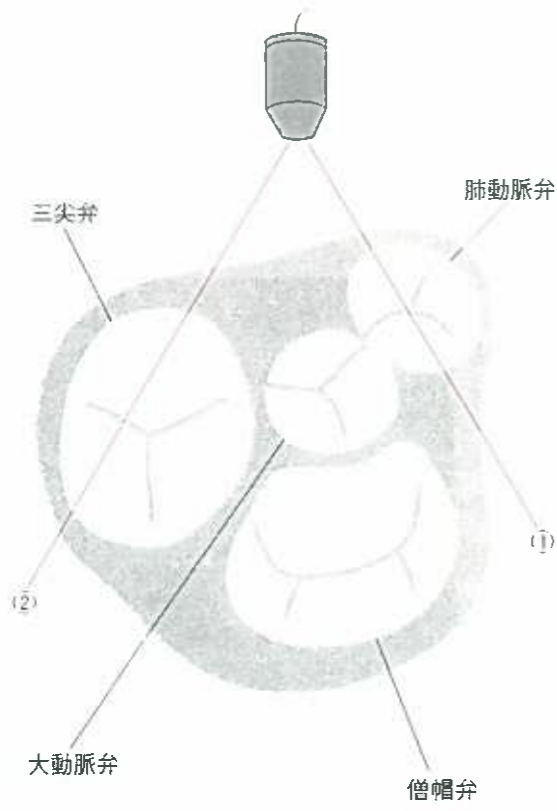
【図10】 Mモード心エコー図への切り替え

断面像(左)上のカーソルはMモード心エコー図(右)のビーム方向を示す。

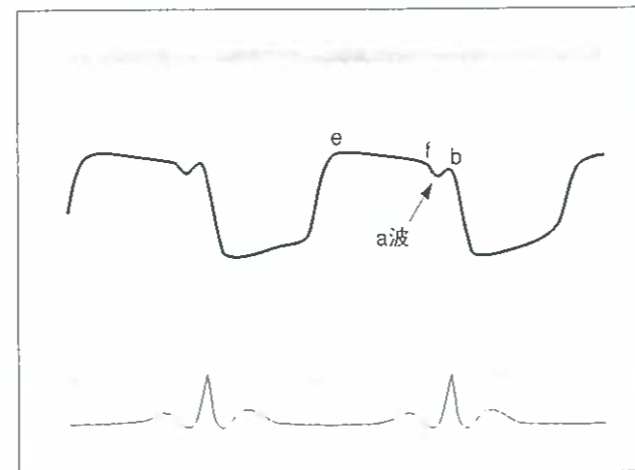


【図11】 主なMモード像と断面との関係

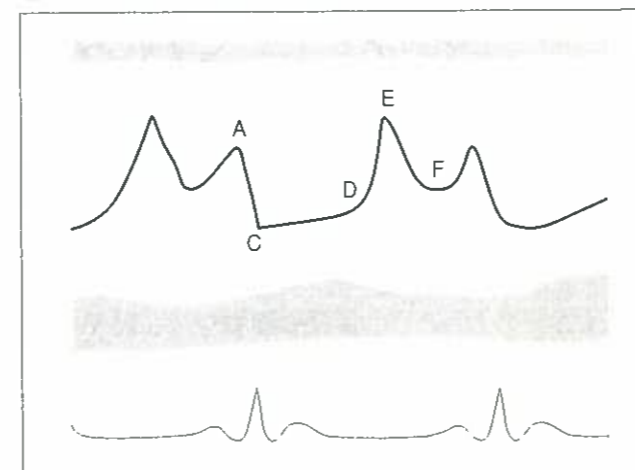
■胸骨左縁短軸断面大動脈弁レベル
心尖部からみた4つの弁の位置とビームの方向



①肺動脈弁Mモード心エコー図

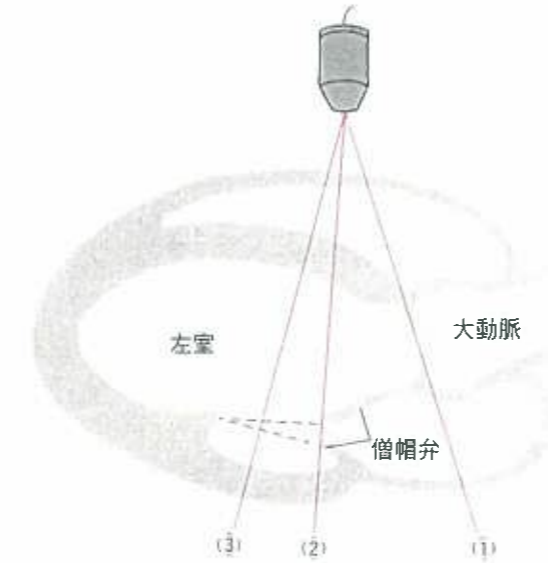


②三尖弁Mモード心エコー図

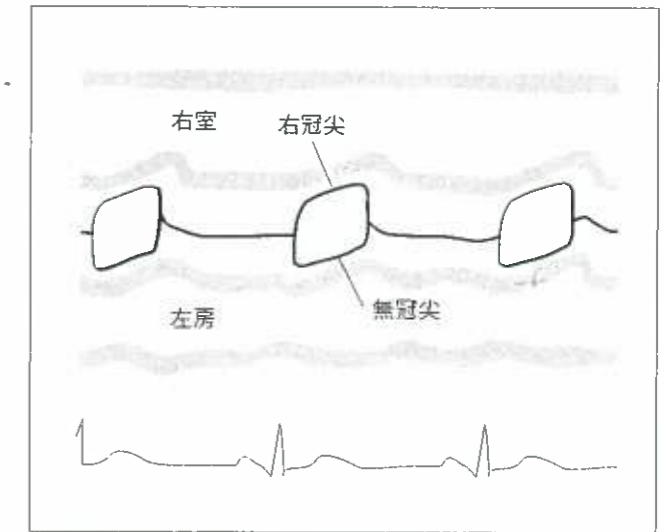


【図11】

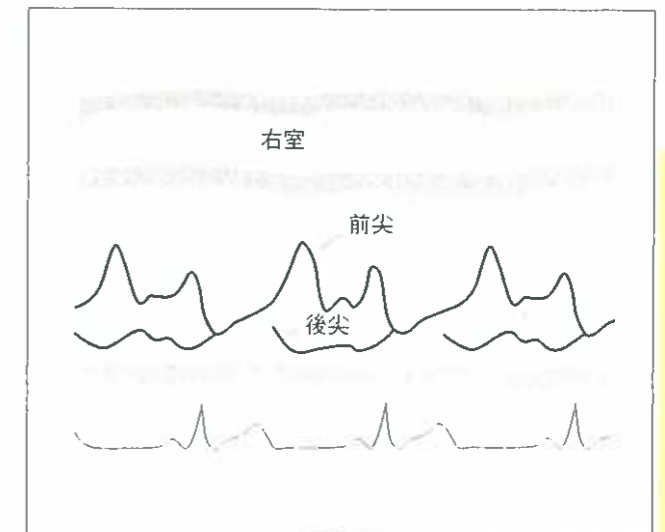
■胸骨左縁左室長軸断面



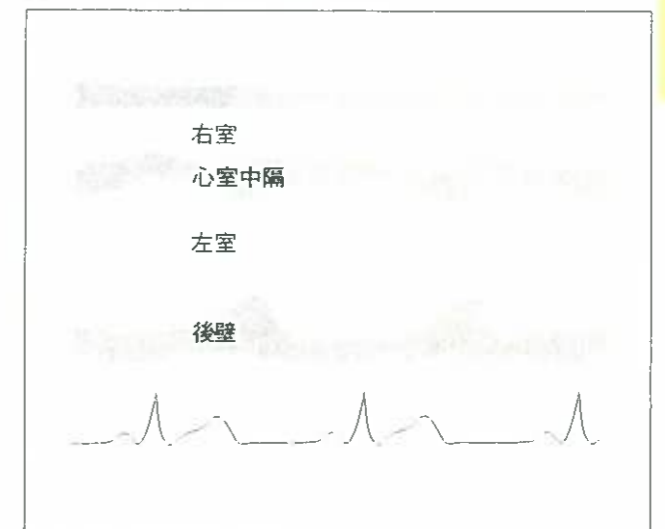
①大動脈弁Mモード心エコー図



②僧帽弁Mモード心エコー図



③左室Mモード心エコー図



【表2】基本Mモード図とその記録に用いられる断面像

基本Mモード図	用いられる断面像		
	胸骨左縁 左室長軸像	胸骨左縁 短軸像	心尖部 四腔断面像
大動脈弁	○	○	
僧帽弁	○	○	
三尖弁		○	○
肺動脈弁		○	
左房	○	○	
左室	○	○	
心室中隔	○	○	
左室後壁	○	○	
心膜	○	○	
右室	○		

Mモード心エコー図への切り替え

胸骨左縁に探触子を置いて左室長軸断面像を描出し、操作パネルのMモードスイッチをオンにするとMモードと断面像が同一画面に映し出され、断面像上にはMモード心エコーのビーム方向を示すカーソルが表示される(図10)。このカーソルを移動させることにより、任意の部位のMモードエコー図が記録される。

胸骨左縁の左室長軸断面像では大動脈弁、僧帽弁、および左室のMモード心エコー図が、胸骨左縁の左室短軸断面像の大動脈弁レベルでは三尖弁と肺動脈弁のMモード心エコー図が得られる(図11)。

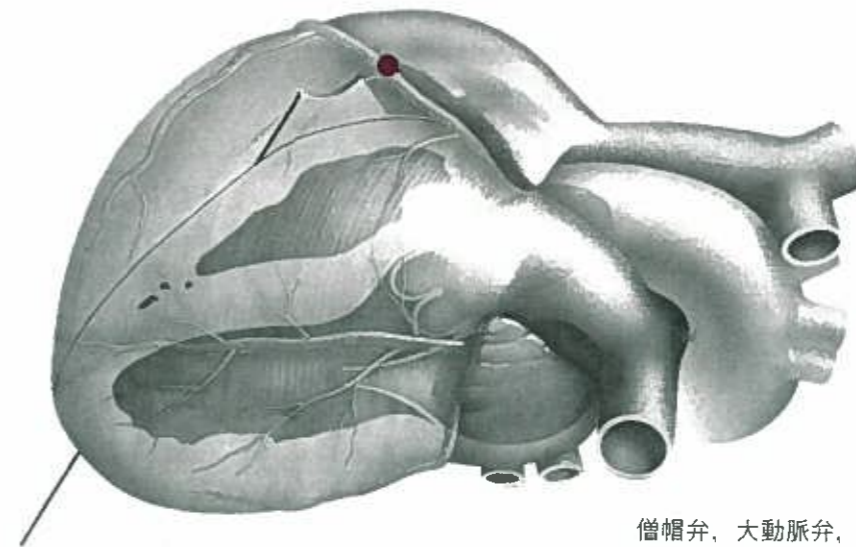
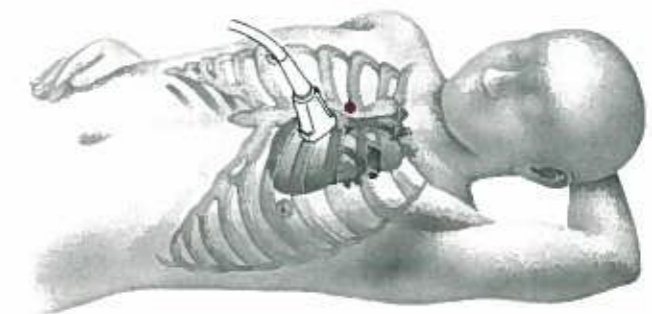
表2は種々のMモード心エコー図を記録する際に、どの断面像を用いたらよいかということを示している。

1-6 経胸壁心エコー図 (断面像・Mモード像)のみかた

経胸壁心エコー図を記録しうるアプローチ部位は、狭い音響窓内に限られている。ここでは主なアプローチ部位ごとに、記録された画像をどう判読するかについて解説する。

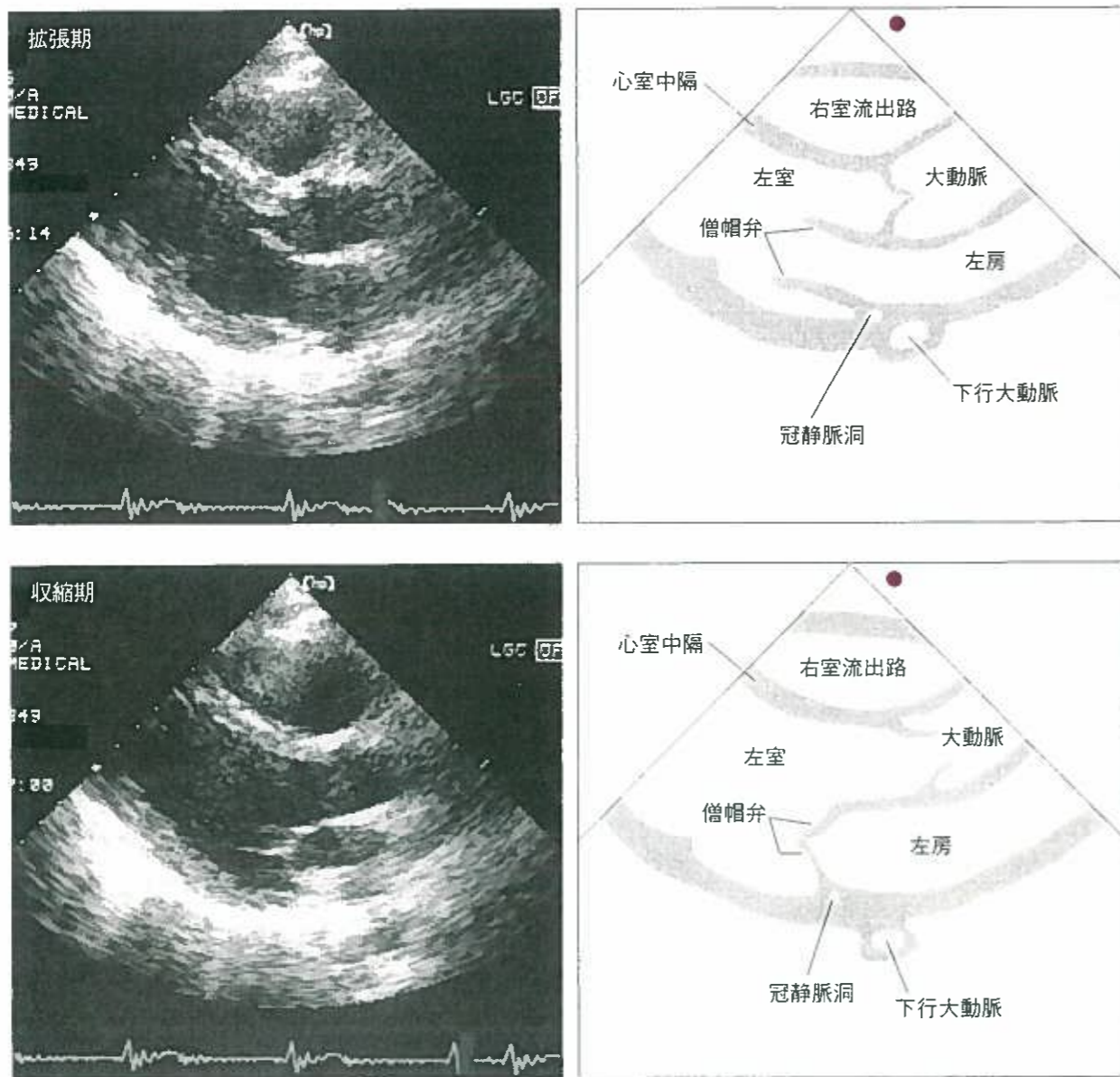
胸骨左縁からのアプローチ

左室長軸断面像 (parasternal long-axis view)



僧帽弁、大動脈弁、左室のMモードエコー図は、この断面で撮る

図1は正常例の左室長軸断面像で、画面の右から左へ大動脈、大動脈弁、左房、僧帽弁、右室腔、左室腔(心室中隔と左室後壁)、腱索、乳頭筋などが描出され、それぞれのサイズ、形態、動きが観察できる。



【図1】
胸骨左縁左室
長軸断面像

特に僧帽弁の大きな動きは特徴的であるから、初心者はこれを他の部位観察の足がかりにするとよい。

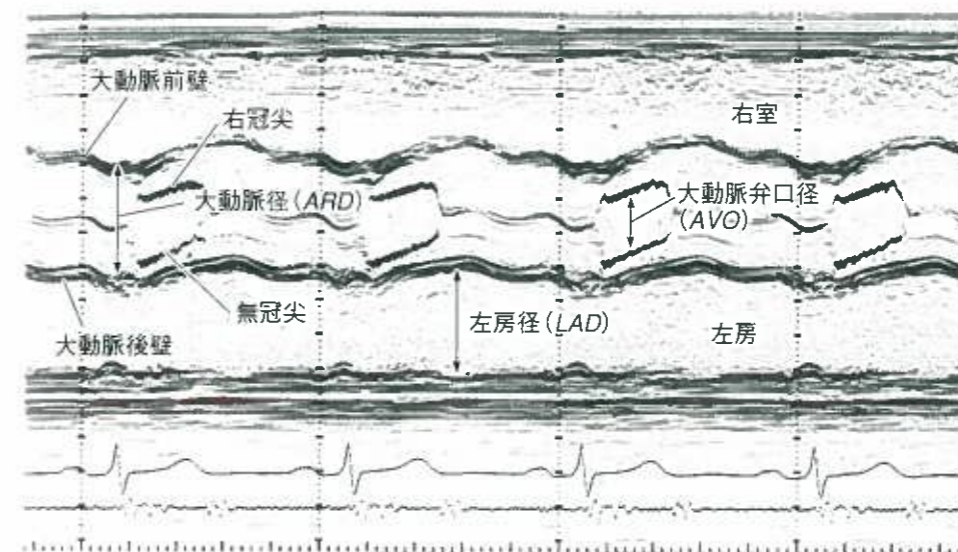
探触子を内側に振ると僧帽弁の後交連部側が、やや外側に振ると前交連部側が描出される。大動脈の前壁は心室中隔へつながり、大動脈後壁は僧帽弁前尖へと続く。

右室は斜め切りになっていて右室流出路がみえている。

左房から左室へと移行するところが僧帽弁輪、房室間溝である。

僧帽弁後尖基部の左房よりのところに冠静脈洞 (coronary sinus) があるが正常例ではみえても小さい。

左房の後方(下方)に下行大動脈の輪切り断面がみられる。



【図2】
大動脈弁Mモード
心エコー図

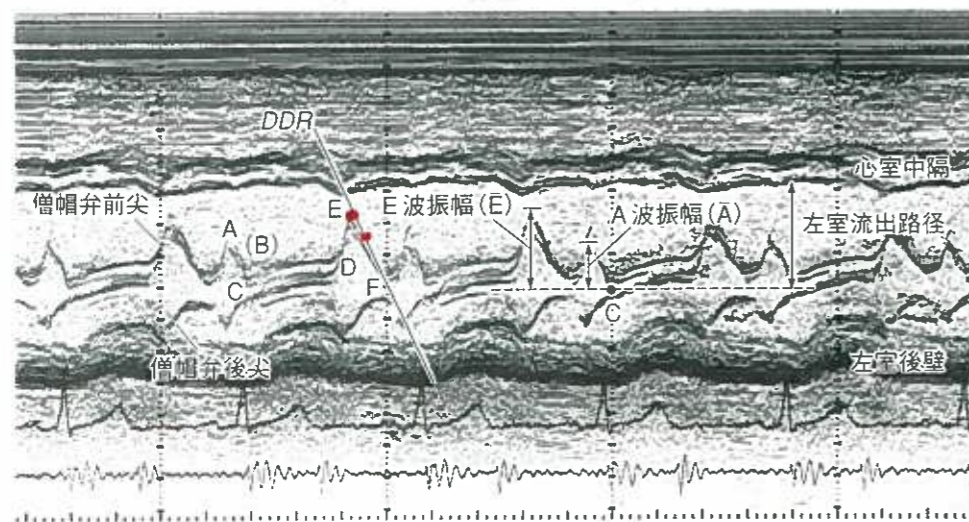
●大動脈弁 Mモード心エコー図 (図2)

操作手順の項 (52 ページ) で述べたように、装置の操作盤上の M モードスイッチをオンにし、左室長軸断面像上のカーソルを大動脈弁にあてると、大動脈弁 M モード心エコー図が得られ、前方(上方)から右室、大動脈前壁、大動脈弁、大動脈後壁、左房が観察される。

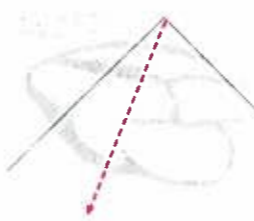
この際、カーソルを大動脈壁に垂直にあてるように心掛ける。

大動脈弁は拡張期には閉じているので1本の曲線として描かれるが、収縮期には前後に対称的に開放し平行四辺形 (box-like) を呈し、前方成分はほとんどの例で右冠尖、後方成分は無冠尖の動きを示している。

弁尖の細かい揺れは fluttering と呼ばれ、正常例でも認められることがある。大動脈径、大動脈弁口径、左房径などの計測値が求められる。



【図3】僧帽弁Mモード心エコー図



- A: 心房収縮時のピーク
- B: A波から弁閉鎖までの間の変曲点
- C: 心室収縮による弁の完全閉鎖点
- D: 弁の開放点(左室等容拡張期の終了)
- E: 急速流入期に弁が最大に開いた点
- F: 拡張中期に弁が半ば閉鎖する点
- G: E波とA波の間で軽度前方運動がみられる場合の波(図の例ではGはみられない)

●僧帽弁Mモード心エコー図(図3)

大動脈弁からカーソルを心尖部方向へ移し僧帽弁弁尖にあてる。基本的な前尖の動きはきわめて特徴的な拡張期の二峰性の前方運動で、拡張期初期の大きな振れをE波、拡張期後期の小さい振れをA波と呼ぶ。後尖は振幅は小さいが正反対に後方運動をする。波形がなまってしまうときは前尖、後尖を別々に記録する。このA波から順にGまでの記号が各変曲点につけられている。

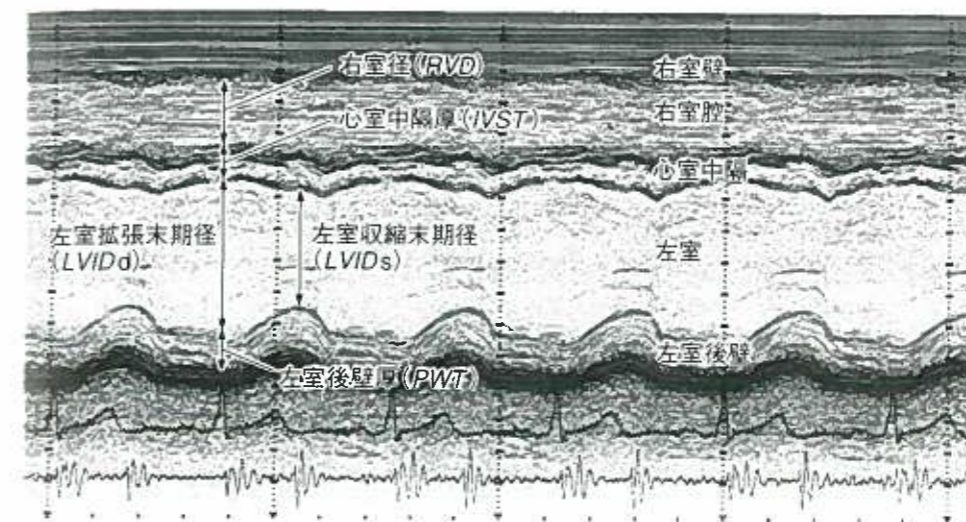
僧帽弁Mモード心エコー図で得られる計測値はE-Fの勾配、拡張期後退速度(DDR)、E波の振幅(E、C-E)、A波の振幅(A、C-A)、左室流出路(C-心室中隔)などである。DDRは急速流入期の僧帽弁口を通過する血流量を反映する。僧帽弁逆流ではDDRが増大し、僧帽弁狭窄や左室肥大(左室コンプライアンス低下)ではDDR低下が認められる。

Mモードスキャン(図5)

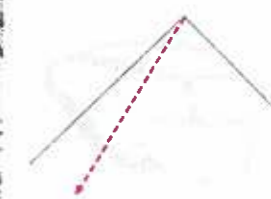
胸骨左縁左室長軸を描出してMモード記録にし、画面上のカーソルを大動脈弁方向からゆっくりと心尖部方向へ一定の速度で移動させながら、ストリップチャートで1枚のMモード心エコー図のなかに連続的に記録したものをMモードスキャンと呼ぶ。

本法は心臓内構造物の連続性を理解す

るのに役立つが、計測は不正確になりやすい。つまり縦軸は探触子からの距離を示すが、胸壁からの深さが同じであってもスキャンの操作にしたがってビームの傾きが異なるため、探触子からの距離は異なり、前胸壁エコーから同じ距離であっても胸壁からの真の深さは同じではないからである。



【図4】左室Mモード心エコー図

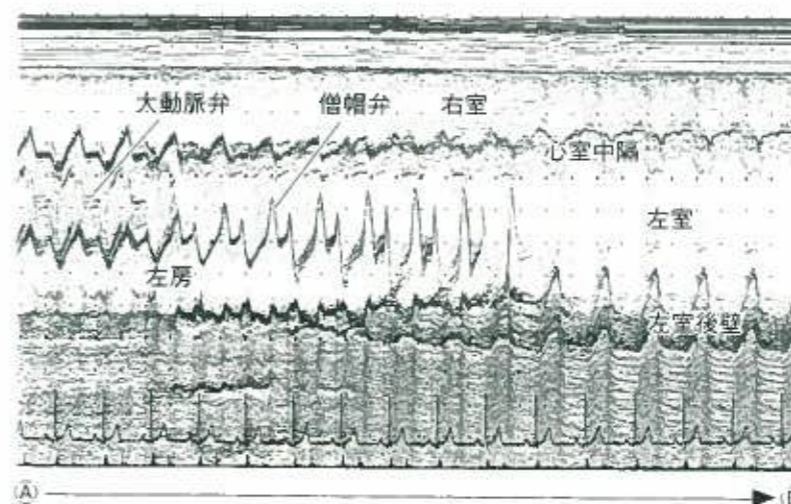


●左室Mモード心エコー図(図4)

僧帽弁Mモード心エコー図の記録が終了したら、カーソルをさらに心尖方向へ動かして腱索レベルに移すと、左室のMモード心エコー図が記録できる。

前方(上方)から順に右室壁、右室腔、心室中隔、左室腔、左室後壁が観察される。心室中隔は心房収縮後にやや前方へ向かい、その後に後方へ向かうが、拡張期には緩やかに前方へと向かう。これに対し左室後壁は心房収縮後やや後方へ向かい、その後に前方へ向かう。拡張期には比較的速く後方へ戻る。

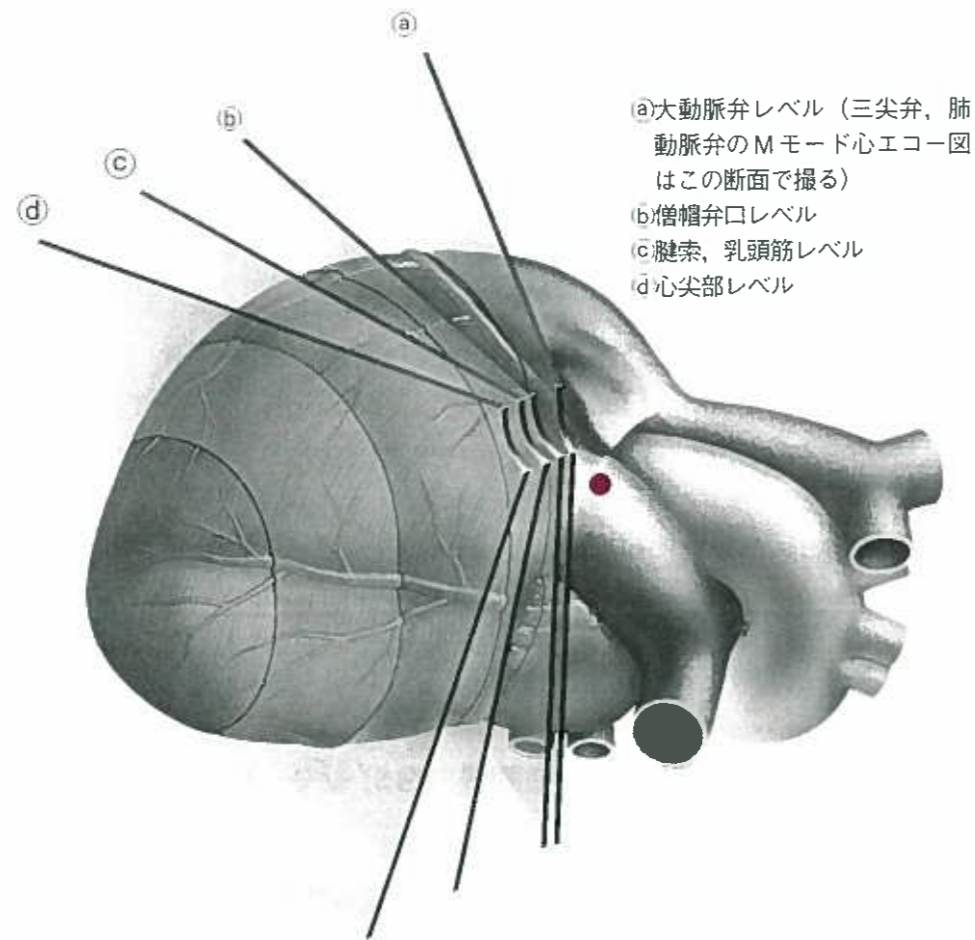
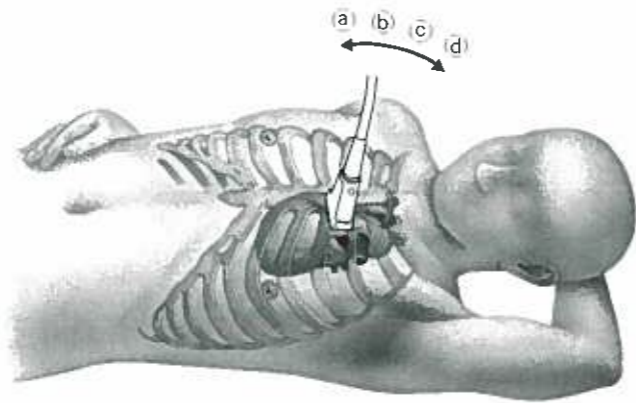
左室Mモード心エコー図の計測は重要で、左室拡張末期径、左室収縮末期径、心室中隔厚、左室後壁厚、右室径などの測定値は両心室機能評価に用いられる。



【図5】Mモードスキャン



左室短軸断面像 (parasternal short-axis view)

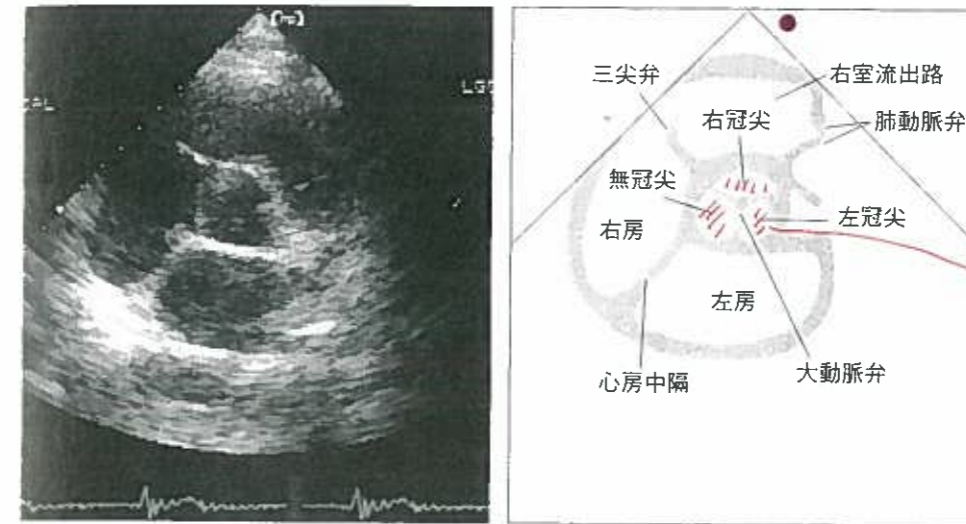


- a) 大動脈弁レベル (三尖弁, 肺動脈弁のMモード心エコー図はこの断面で撮る)
- b) 僧帽弁口レベル
- c) 腱索, 乳頭筋レベル
- d) 心尖部レベル

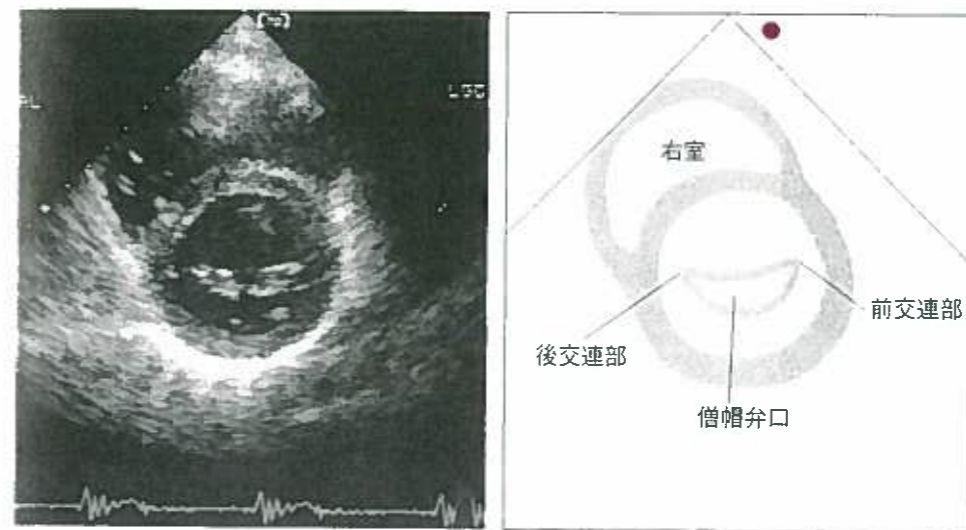
●大動脈弁レベル短軸断面像 (図6)

胸骨左縁左室長軸断面像を記録してから、その位置で探触子を時計方向に90度回転させ、さらに斜め内側上方へゆっくりと傾けていくと中央に大動脈弁がみえてくる。見えにくい場合は探触子を1肋間上にずらすとよい。画面の向かって右側が心臓の左側になる。

うまく描出されると、右冠尖、左冠尖、無冠尖の3つがみえ、その境はY字型を呈する。さらにこのレベルから探触子の先端を少し内側上方に扇



【図6】
胸骨左縁大動脈弁レベル短軸断面像



【図7】
胸骨左縁僧帽弁口レベル短軸断面像

状に振ると、ビームは大動脈弁の直上を横断することになり、バルサルバ洞が描出される。右冠尖と左冠尖の外側にはそれぞれ右冠動脈と左冠動脈の起始部がみえるはずであるが、成人では小児よりもみえにくい。

そのほかに左房、右房、三尖弁、肺動脈、肺動脈弁などが観察できる。

左心耳、肺動脈の分岐部、心房中隔などは一つの画面ではみえないので少しずつ探触子を動かして、よりよく観察できる部位を探すのがよい。

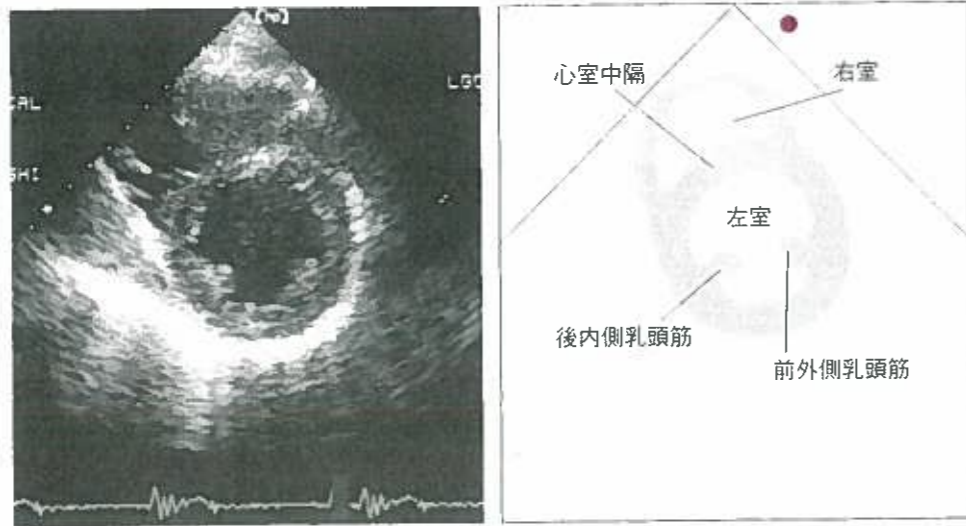
●僧帽弁口レベル短軸断面像 (図7)

大動脈弁レベルの短軸断面から探触子の先端を少しずつ斜め外側下方へ扇状に傾けていくと、左室の輪切り像の中央に開閉している僧帽弁がみえてくる。

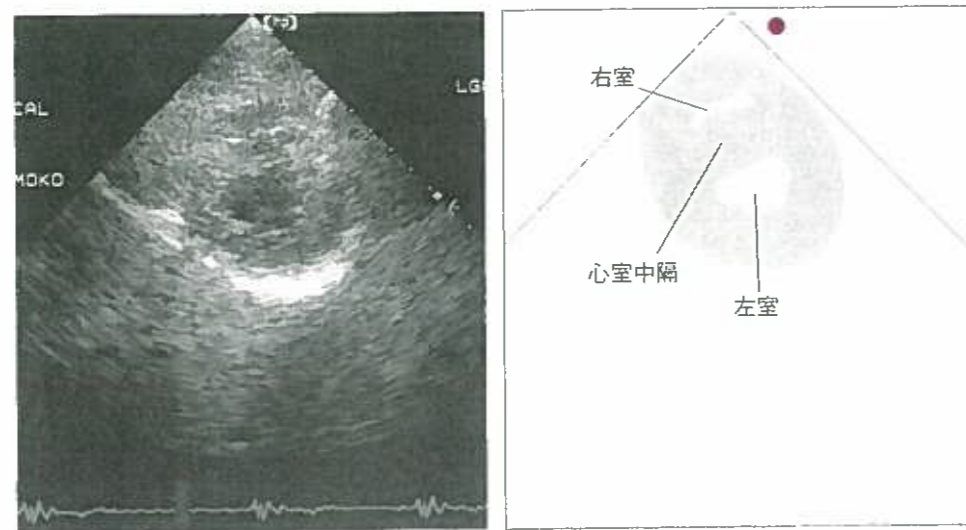
僧帽弁は拡張期に開放し魚の口が開いているような形をしている。

画面の向かって右側が僧帽弁の前交連部、左側が後交連部である。このレベルでは左室壁運動の評価はできない。

6
経胸壁心エコー図
(断面像・Mモード像)のみかた



【図8】
胸骨左縁腱索および乳頭筋レベル短軸断面像



【図9】
胸骨左縁心尖部レベル短軸断面像

●腱索および乳頭筋レベル短軸断面像 (図8)

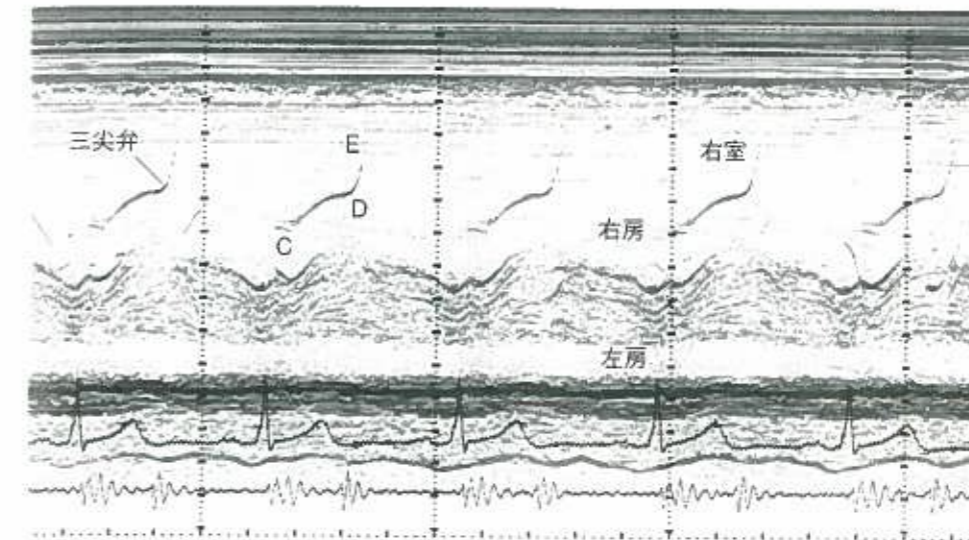
僧帽弁レベルよりもさらに探触子の先端を外側下方へ扇状に傾けていくと、僧帽弁の像が消えて、左室内腔の両側に何本かの腱索エコーがみえてくる。

さらに外側下方に探触子の先端を傾けると左室内腔に画面向かって右側に前外側乳頭筋、左側に後内側乳頭筋が描出されてくる。左室の長軸に対して垂直にビームがあたっていればほぼ円形に見える。このレベルで左室壁厚と壁運動を観察する。

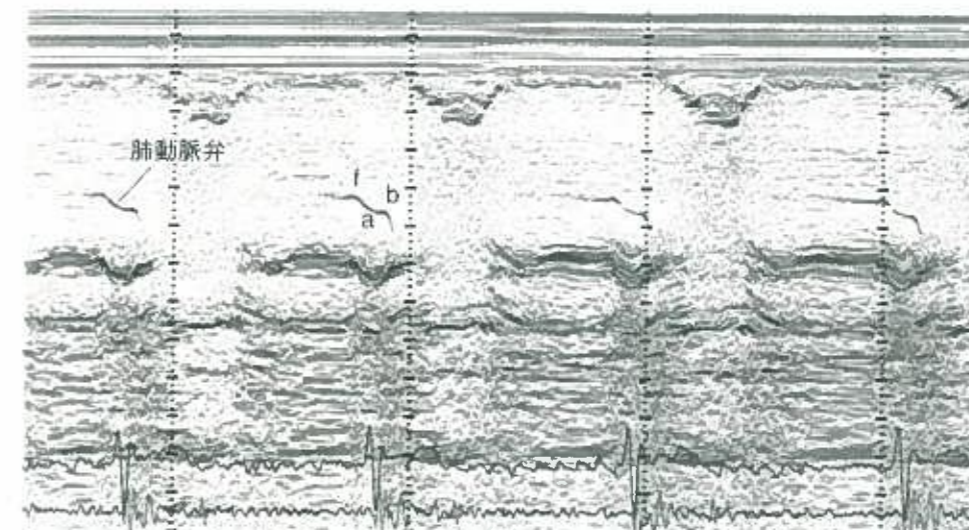
●心尖部レベル短軸断面像 (図9)

乳頭筋レベルからさらに探触子の先端を外側下方に傾げるか、あるいは探触子を1肋間下げて、乳頭筋像が消えるところまで外側へ傾けると心尖部レベルの左室の輪切り像が得られる。ここでも斜め切りにならないように注意する。このレベルでも壁運動の評価をする。

また、胸骨左縁からでは完全に描出することは困難であるが、可能であ



【図10】
三尖弁Mモード心エコー図



【図11】
肺動脈弁Mモード心エコー図

れば右室の壁運動も観察する習慣をつけるとよい。

●三尖弁Mモード心エコー図 (図10)

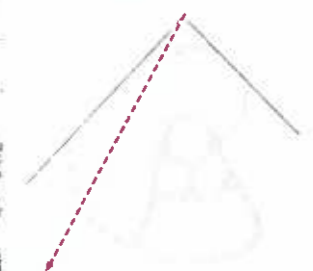
大動脈弁レベル短軸断面像でカーソルを三尖弁にあてると前尖のMモード心エコー図が得られるが、正常例では完全な形を描出することは難しい。

僧帽弁と同じように拡張期二峰性で各変曲点にAからFまでの記号が付けられているが、通常はC、D、Eあたりまで描出される。

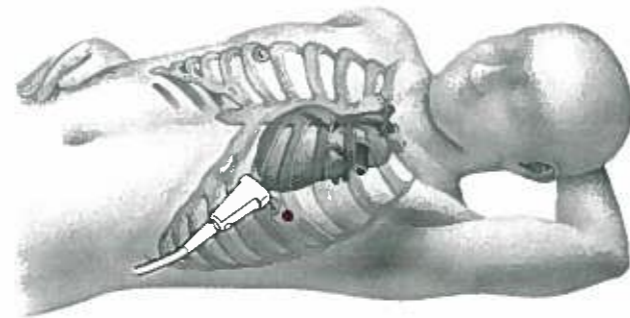
●肺動脈弁Mモード心エコー図 (図11)

同じように、大動脈弁レベル短軸断面像で肺動脈弁の左尖のMモード心エコー図が得られる。

正常例では完全な形では描出されないが、各変曲点にaからfまでの記号が付けられ、普通みられるのは拡張期のeからcまでで、心房細動、肺動脈弁狭窄、肺高血圧症では特徴的なパターンがみられる。

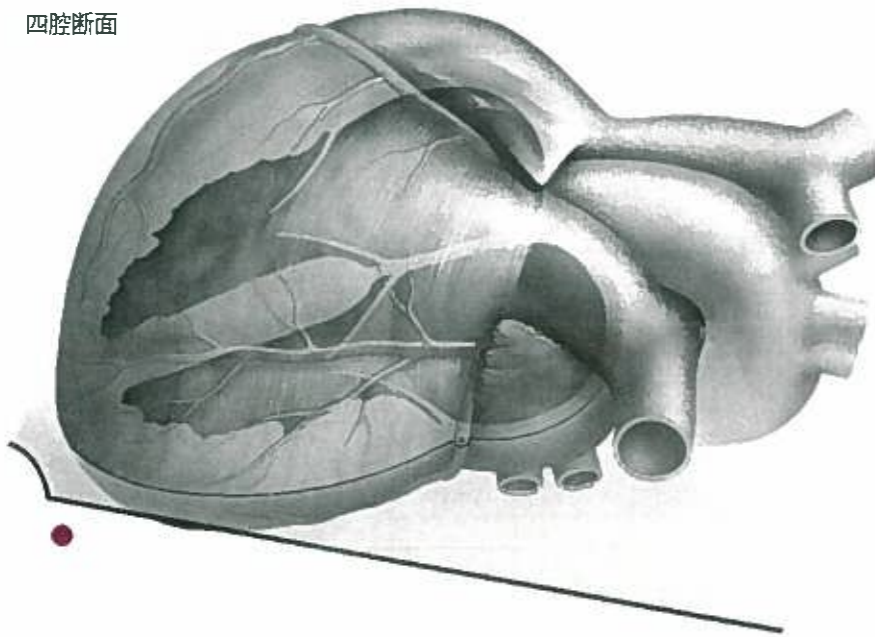


心尖部からのアプローチ

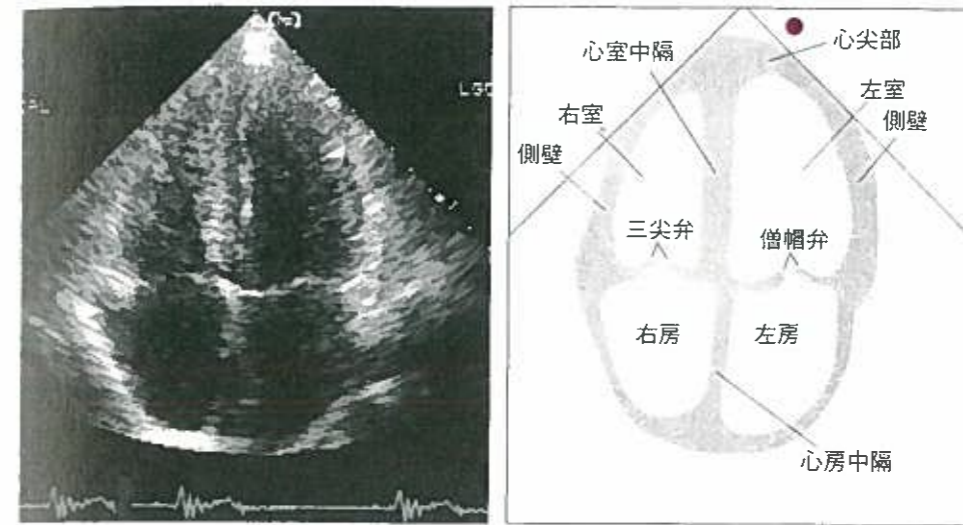
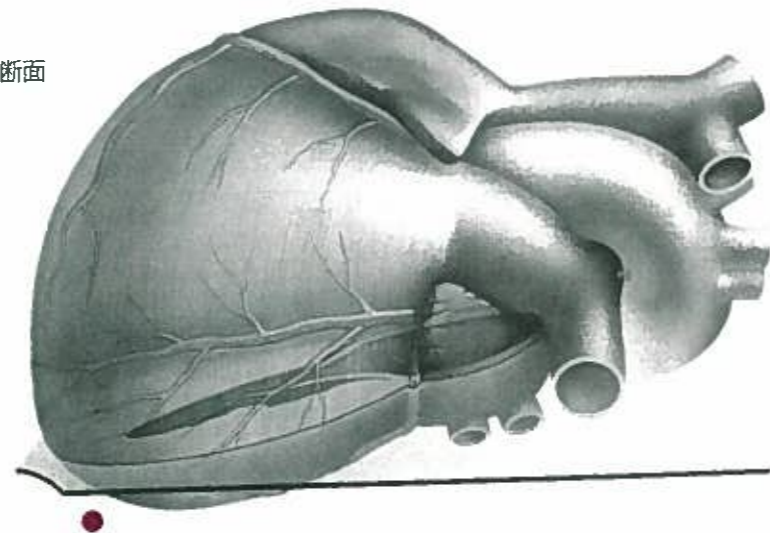


探触子は四腔断面

四腔断面



第1斜位断面



【図12】
心尖部四腔断面像

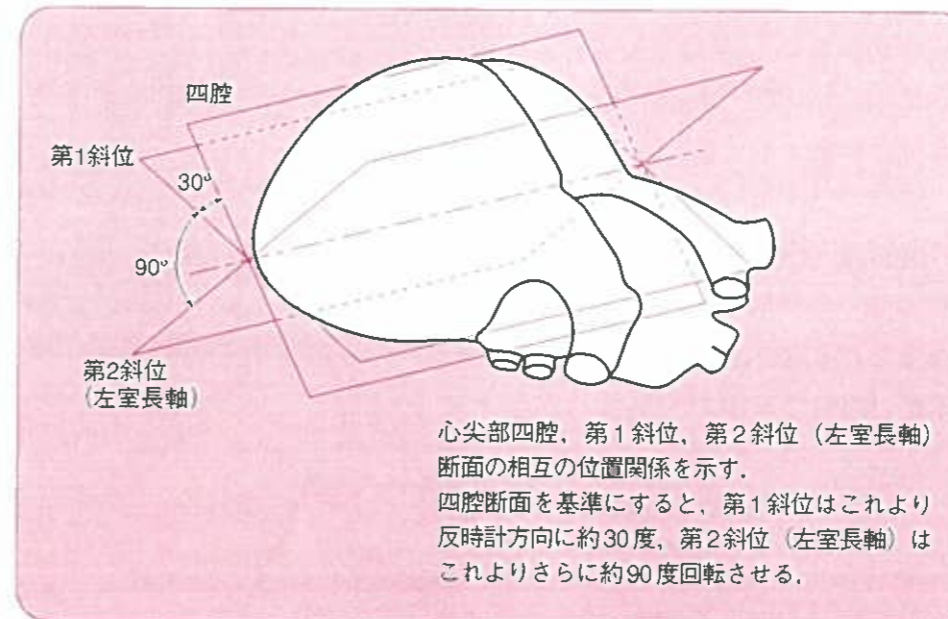
●心尖部四腔断面像 (apical four-chamber view) (図12)

探触子側面の指標を検者の反対側(外側)に向けて、心尖部の拍動している所に探触子をあてて、探触子の先端を心持ち斜め内側上方(被検者の右肩方向)へ向けると四腔断面像が得られる。

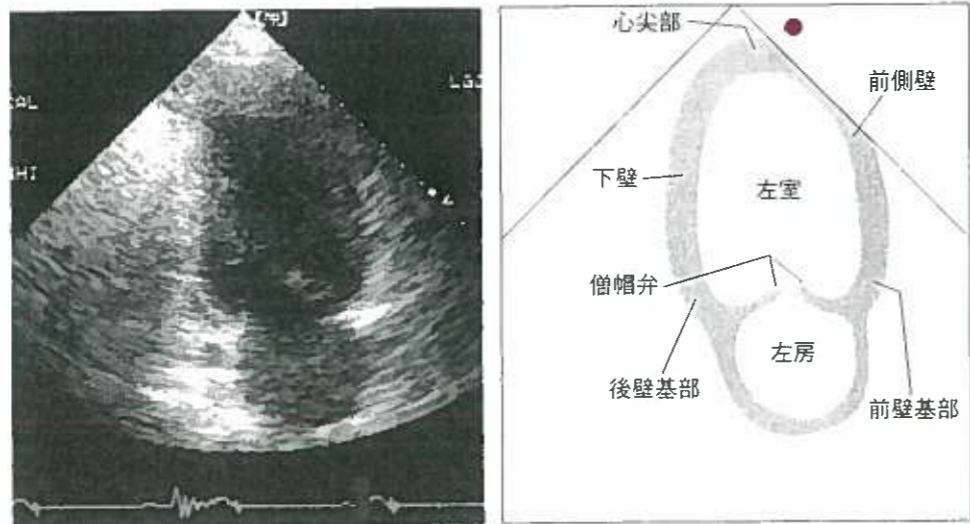
この断面像では画面向かって左側に右室、右側に左室が描出される。この断面では両心室の壁運動、各部位のサイズ、弁の動きを観察し、ドブラ検査も行う。

●心尖部四腔+大動脈断面像

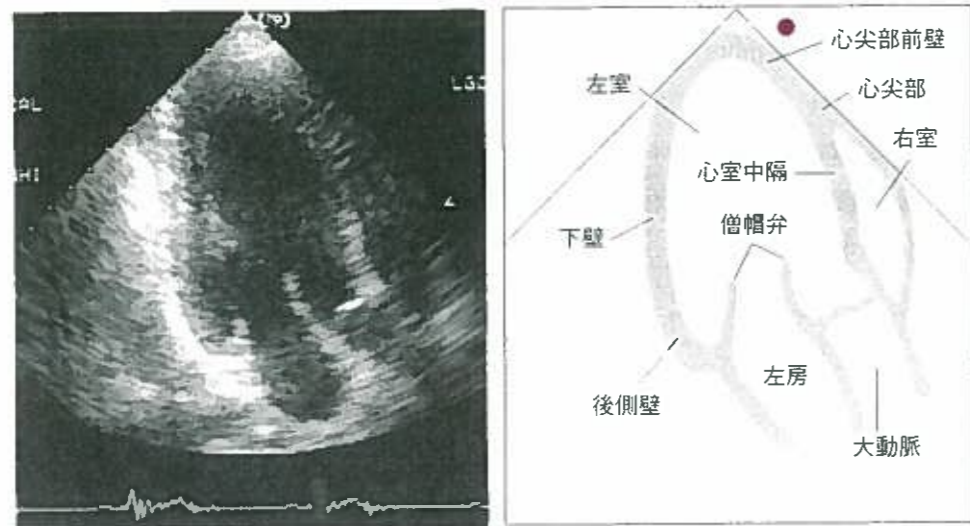
四腔断面記録時の探触子の位置からやや心基部よりにずらして上方へ探触子の先端を向けると、4つの腔の中央から斜め下方に大動脈が描出されてくる。この断面では左室流出路の観察とドブラ検査を行う。



心尖部四腔、第1斜位、第2斜位(左室長軸)断面の相互の位置関係を示す。四腔断面を基準にすると、第1斜位はこれより反時計方向に約30度、第2斜位(左室長軸)はこれよりさらに約90度回転させる。



【図13】
心尖部第1斜位断面像



【図14】
心尖部第2斜位断面像

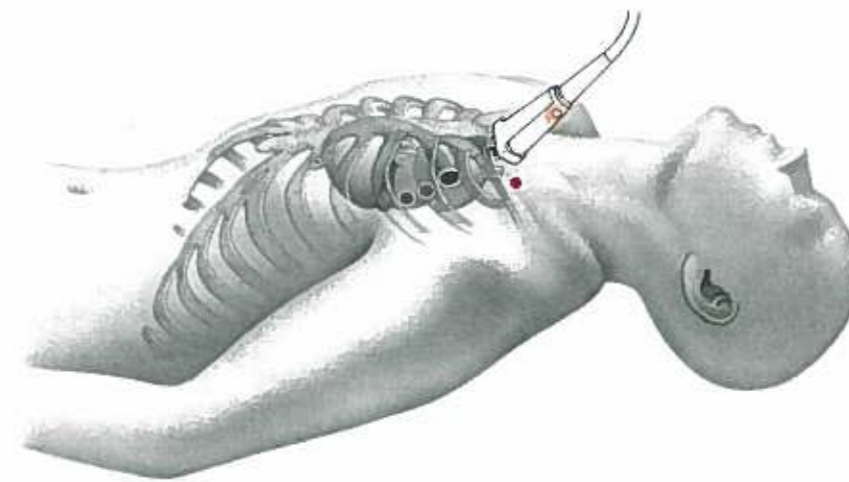
●心尖部第1斜位(RAO)断面像(二腔断面像)

四腔断面像記録時の探触子の位置から約30度反時計方向へ回転させ、右室腔がみえなくなった位置の断面像で、画面向かって右側が左室前側壁で、右側は左室下壁～後壁基部に相当する(図13)。この断面では左室壁運動を評価する。

●心尖部第2斜位(LAO)断面像(心尖部左室長軸断面像; 図14)

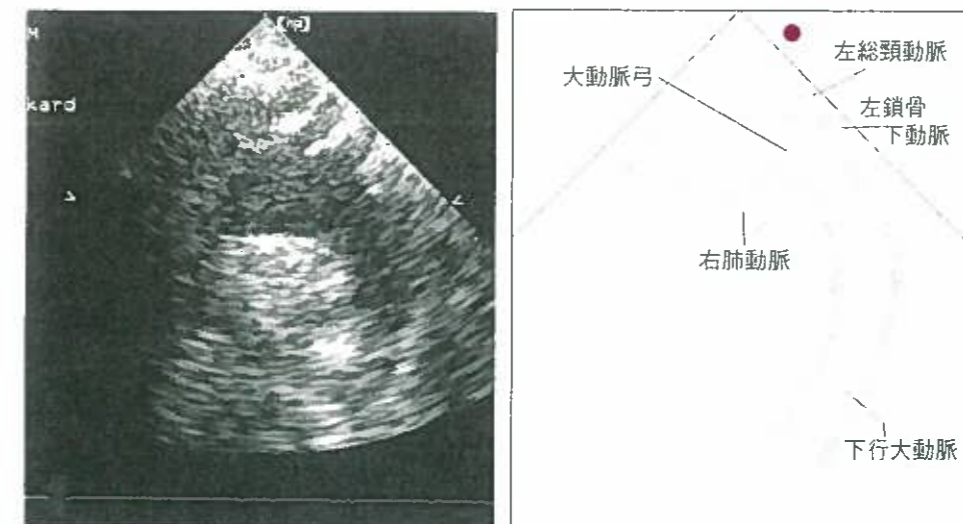
第1斜位断面像(二腔断面像)の探触子の位置からさらに約90度反時計回転させて得られる断面像で右室流出路が出現し、心室中隔や下～後壁の壁運動の評価や左室流出路の観察に適している。

胸骨上窩からのアプローチ(図15)



被検者を仰臥位にして、背部の肩甲骨の下に枕を入れて首を後方に屈曲させ、胸骨上窩に探触子をあてて上行大動脈、大動脈弓、下行大動脈を観察する方法である。

大動脈解離の症例などでは緊急時に試みる診断的価値がある。しかし明瞭に描出できない場合もあり、あまり時間を浪費しないように注意する。



【図15】
胸骨上窩からの断面像

肋骨弓下(心窩部, 剣状突起下)からのアプローチ



探触子は矢状断面

●肋骨弓下矢状断面像 (図16)

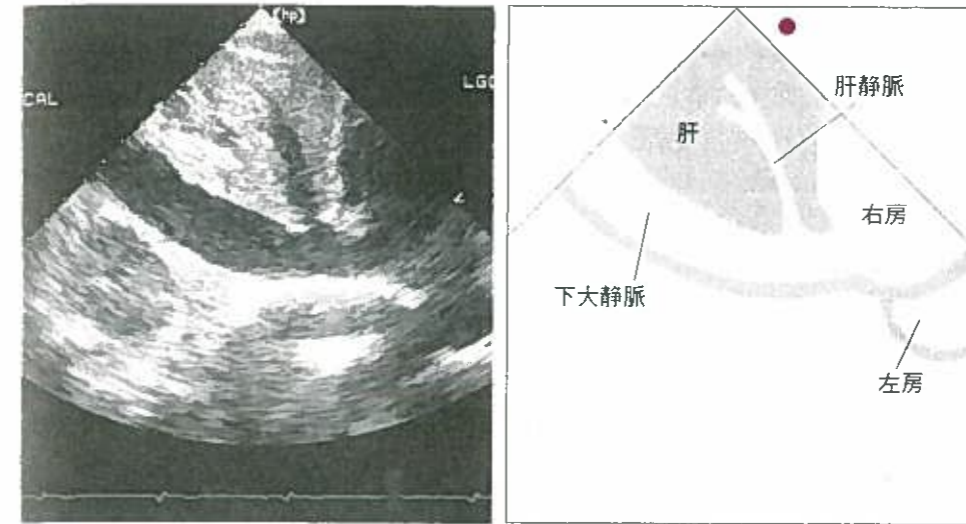
被検者を仰臥位にし下肢を屈曲させ剣状突起下, 正中線からやや右側に探触子(側面の指標を上に向けて)をあて, 腹部を圧迫すると下大静脈, 肝静脈, 右房などが観察される。

●肋骨弓下四腔断面像 (図17)

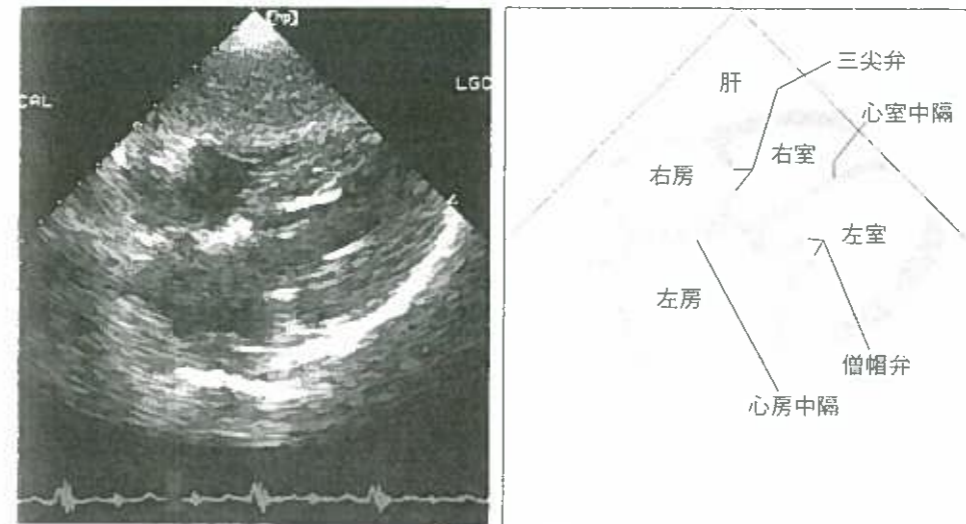
矢状断面像とほぼ同様にして, 側面の指標を検者の反対側へ向けて探触子を剣状突起下にあてて, やや斜め上方向に圧迫し被検者に腹部をふくらませてもらうと両心室, 両心房, 心房中隔が観察される。

●肋骨弓下左室短軸断面像 (図18)

四腔断面像から探触子を反時計方向に回転させていくと大動脈弁レベルから左室の乳頭筋レベルまでの短軸断面像が観察できる。これは胸骨左縁からのアプローチでよく描出できない場合に試みられる方法である。



【図16】肋骨弓下矢状断面像



【図17】肋骨弓下四腔断面像



【図18】肋骨弓下左室短軸断面像

I-10 各種計測法と心機能評価法

Mモード法による計測

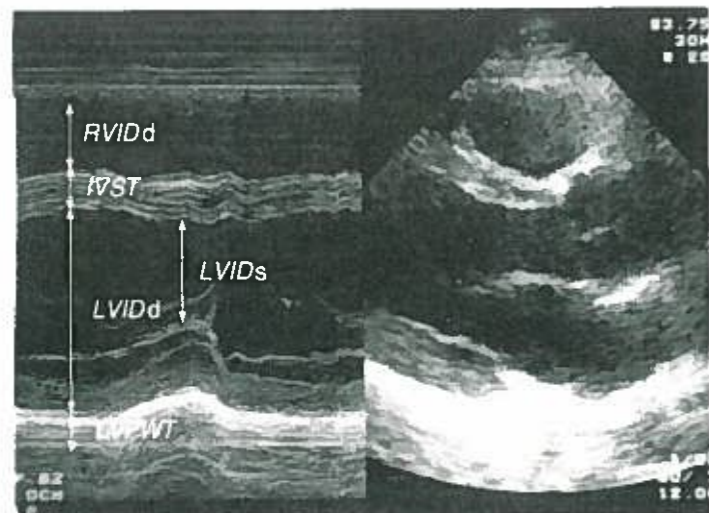
●左室の測定

左室内径は、左室腱索レベルのMモード心エコー図を用い、左室拡張末期径(LVIDd)と左室収縮末期径(LVIDs)として測定する(図1)。通常、拡張末期は、心電図Q波の開始点(あるいはR波)に、また収縮末期は、心音図上のII音大動脈成分開始点に、それぞれ定義される。

実際の計測においては、いわゆる「斜め切り」を避けることが最も重要である。すなわち、断層心エコー図を観察しながら、胸骨左縁左室長軸断面上で、超音波ビームが左室壁に対して直角に入射していることを確認する。

通常、臨床で使われる超音波装置では、画面上でカーソルを動かしてこれらの計測を行えば、左室内径短縮率、左室拡張末期容量、左室収縮末期容量、駆出率、一回心拍出量などが自動的に算出されるようにプログラムされている。

心室中隔厚(IVST)と左室後壁厚(LVPWT)は拡張末期、すなわち心電図Q波の開始点(あるいはR波)で計測する。これらが厚いことは、左室肥大を意味する。肥大が軽度な場合には、心室中隔のみが肥大することが多いが、右室の肉柱を心室中隔厚に含めていないかどうか、断層法に



【図1】
左室内径の計測

胸骨左縁左室長軸断面(右)で確認しながら腱索レベルMモード図(左)を得る。

LVIDd: 左室拡張末期径
LVIDs: 左室収縮末期径
IVST: 左室中隔壁厚
LVPWT: 左室後壁厚
RVIDd: 右室拡張末期径

- ・左室駆出率: ejection fraction (EF) = $(EDV - ESV) / EDV$
- ・左室内径短縮率: %fractional shortening (%FS) = $\{(Dd - Ds) / Dd\} \times 100$ (機能評価法)
- ・左室平均円周短縮速度: mean velocity of circumferential fiber shortening (mVCF) = $(Dd - Ds) / (Dd \cdot ET)$ (ET: 左室駆出時間)
左室駆出時間は頸動脈波曲線、大動脈弁エコーの同時記録、左室後壁エコーのCD時間

Mモード法による計測

左室内径短縮率(%FS) = $100 \times (LVIDd - LVIDs) / LVIDd$

左室容積(V) = $\pi / 3 \times (\text{左室短軸径})^3$ Pombo法
= $7.0 \times (\text{左室短軸径})^3 / (2.4 + \text{左室短軸径})$ Teichholz法

一回心拍出量 = 左室拡張末期容量 - 左室収縮末期容量

駆出率 = (左室拡張末期容量 - 左室収縮末期容量) / 左室拡張末期容量

左室心筋重量(LV mass) = $1.04 \times \{(LVIDd + IVST + LVPWT)^3 - (LVIDd)^3\} - 13.6$ Devereuxらの式
* 1.04: 心筋の比重

表1 Mモード法による成人の正常値

部位	測定項目	正常値
僧帽弁	DDR 振幅C-E	95 ± 20ms (60~120) 24 ± 3mm (19~30)
大動脈	AoD	22 ± 4mm (18~30)
左房	LAD	24 ± 3mm (15~30)
左室	LVDd LVDs %FS IVST LVPWT	49 ± 6mm (39~59) 32 ± 5mm (22~42) 33 ± 4% (28~38) 9 ± 2mm (7~11) 9 ± 2mm (7~11)
三尖弁	DDR 振幅C-E	110 ± 6mm s 33 ± 4mm
肺動脈弁	e-f slope 振幅a波	46 ± 11mm (21~77) 3.5 ± 0.8mm
右室	RVDd	18 ± 3mm (13~21)

より注意深く確認する必要がある。

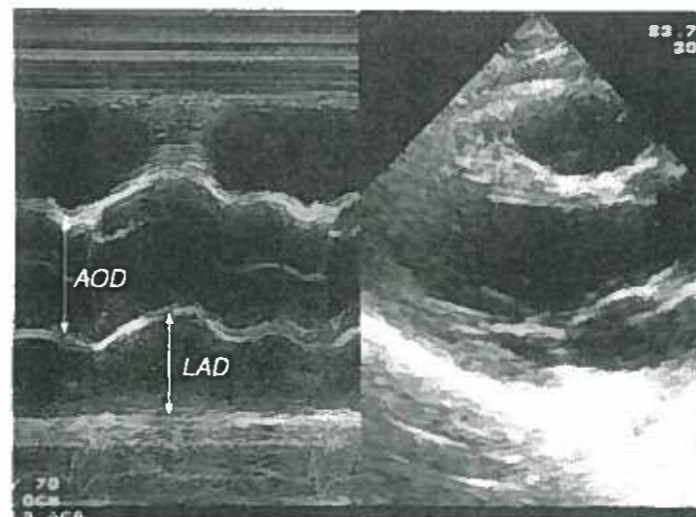
左室心筋重量をMモード法で求めるには、左室の心外膜で囲まれる部分の容積から心内膜で囲まれる容積(左室容積)を差し引き、心筋の比重(1.04)を乗じる。このとき、心内膜エコーの厚みを、壁厚の値には加えず、左室内径の値に加える。

●右室の測定

右室拡張末期径も同じMモード心エコー図から測定され、右室容積の指標として用いられる。しかし、断層心エコー図の胸骨左縁左室短軸断面から明らかのように、Mモード法でとらえられる右室径は、右室の中央部の最大径ではなく、右室の端を横断する径にすぎないため、Mモード心エコー図上の右室径から右室容積を推定することはあまり正確とはいえない。

●大動脈と左房の測定

大動脈弁が記録されるMモード心エコー図を用い、大動脈径は、左室拡張末期で、左房径は左室収縮末期で計測する(図2)。



【図2】
大動脈径、左房径の測定

胸骨左縁左室長軸断面(右)で確認しながら腱索レベルMモード図(左)を得る。

AOD: 大動脈径
LAD: 左房径

断層法による計測

Mモード法による計測は、一次元の情報で全体を押し量るために、拡大や肥大が均等に起こることを前提にしている。しかし、実際にはこのような前提は成立しない場合が多く、また、心筋梗塞は、心室壁の形態や機能の異常が局所的に起こるために、もしMモード法のビームからその部位が外れている場合には、その局所壁の異常は当然のことながら結果には反映されない。

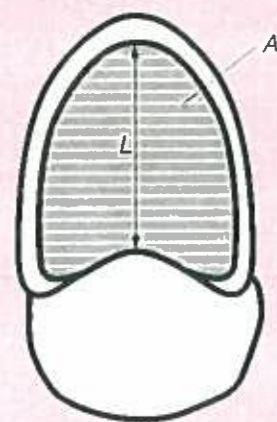
このように、異常の不均一さや局在性が目立つ場合は、Mモード法による評価は、不適當であり、断層法による評価がすすめられる。

●左室腔の測定

断層法による左室容積の測定法には下図に示した方法があるが、これらはほとんど超音波装置にプログラムが組み込まれており、画面上で必要な長さや領域をカーソルを用いて直接指定することで自動的に算出される。

断層法による計測

●左室容積 (V)



A: 断面積, L: 左室長軸径

single plane area-length 法

長軸を含む断面 (心尖長軸断面、心尖四腔断面、心尖二腔断面) を1つ記録し、そこからLとAを測定し、左室容積を算出する。

$$V = (8A^2) / (3\pi L)$$

biplane area-length 法

直交する2断面から、 A_1, L_1, A_2, L_2 を測定し、容積を算出する。Lには、 L_1 と L_2 のうち、長い方の長軸径 (L_1 とする) を使用する。

$$V = (8A_1 A_2) / (3\pi L_1)$$

この方法では、2つの断面の面積が考慮されるので、壁運動異常例でも従来の方法より良好な結果が得られる。直交する2断面の組み合わせとしては、胸骨左縁長軸断面と心尖二腔断面、胸骨左縁短軸断面と心尖四腔断面、心尖二腔断面と心尖四腔断面、胸骨左縁短軸断面と心尖二腔断面、心尖四腔断面と心尖長軸断面などが使用される。

●左室心筋重量 (LVmass)

$$LV\ mass = 1.055 \times \pi \{ (b+t)^2 [(2/3)(a+t) + d - d^2/3(a+t)^2] - b^2 [2a/3 + d - d^2/3a^2] \}$$
$$= 1.055 \times (5/6) \times [A_{epi} \times (L + 1^{**}) - A_{end} \times L]$$

t: 乳頭筋先端レベルの短軸断面積から平均の心筋壁厚

2b: 短軸径

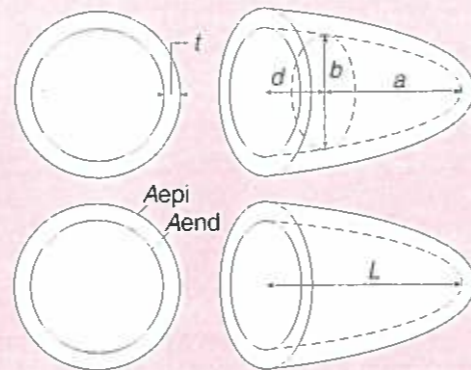
a, d: 乳頭筋先端レベルで2分割された長軸径

A_{epi} : 心外膜内側の面積 (乳頭筋レベル)

A_{end} : 心内膜内側の面積 (乳頭筋レベル)

L: 左室長軸径

*: 心筋の比重, **: 心尖部の厚さを1cmとする



さらに、Mモード法と同様に、これらにより求めた左室拡張末期容量および左室収縮末期容量から左室収縮能の指標である駆出率、一回心拍出量が計算される。

また、左室心筋重量も下図に示した式から求めることができる。

●右室腔の測定

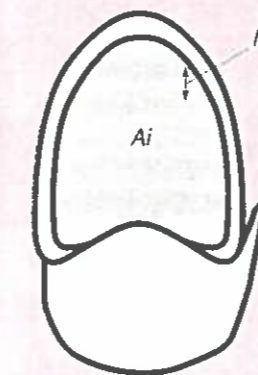
右室形態は複雑で、単純な幾何学的モデルに近似することが不可能なために、容積算出は困難である。

心尖部四腔断面とそれに直交する心尖部右心二腔断面を描出し、Simpson法により右室容積を求める方法などがある。

●左房、右房の測定

断層法では左房前後短径、長径、および断面積が計測される。左房容積の変化は、短径、長径、横径に均等には反映されない、thin chest例では短径が短く、胸郭形成術後例では長径が長く、右房拡大例では横径が短縮する。左房拡大が最も反映されるのは短径であるが、拡大著明例では横径の

Simpson 法



A_i : 各断面の面積
h: スライス間隔

左室長軸に垂直な断面を等間隔(h) (この“等間隔”は、実際には必ずしも正確には行われず、できるだけ多く描出し左室をn個のスライスに分割したとすると、

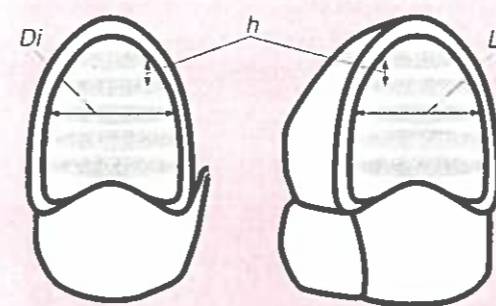
$$V = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n) h$$

により左室容積を計算する (A_i : 各断面の面積, $h = L/n$). Lはいままでと同様に長軸を含む断面から測定する。断面の数および式は報告者により異なる。断面の数は多い方が正確であるが、実際には数断面以内に留まる報告が多い。

実際においては、僧帽弁レベルの短軸断面 (その面積: A_m) と乳頭筋レベルの短軸断面 (その面積: A_p)、および心尖四腔断面 (その長径: L) を描出し、Simpson法、つまり、

$$V = (L/3) \times A_m + (L/3) \times [(A_m + A_p)/2] + (L/3) \times (A_p/3)$$

により左室容積が求められる。



D_i, L_i : 各レベルの径, h: スライス間隔

modified Simpson 法

直交する2断面上の共通軸上において等間隔 (h) のn個のスライスに左室を分割する。i番目のスライスの容積は $V_i = (\pi h/4) D_i L_i$ で表され、左室容積は、

$$V = (\pi h/4) (D_1 L_1 + D_2 L_2 + \dots + D_n L_n)$$

で求められる。

拡大も目立つ。

●弁口面積の計測

僧帽弁、大動脈弁については断層法で弁口の短軸が記録できるので、弁が開放したときの断層画面を描出し、弁口面積を測定することができる(図3)。しかし、明瞭な画像が描出できないときは得られた弁口面積も不正確なものとなる。

ドプラ法による計測

血流速度サンプリング部位は、上行大動脈、左室流出路、右室流出路、主肺動脈、僧帽弁、三尖弁がある。

●上行大動脈血流速度の測定

上行大動脈血流速度は、パルスドプラ法で、心尖部、胸骨上窩、あるいは胸骨右縁から記録される。

この大動脈血流速度 (cm/sec) 波形の時間積分値 FVI に測定部位の大動脈断面積 A (cm²) を乗じると一回心拍出量 (SV) が得られる。

SV = (FVI × A) / cos θ

ここで、血流速度曲線とゼロ線との間の面積は、血液が収縮期の間にどれだけ動いたか (traversed distance : 移動距離) を表し、その単位は cm である。

血流量をパルスドプラ法で求める際には、modal velocity (最頻値) を測定することが一般的である(図4)。modal velocity を自動的に測定する機能をもつ装置もあるが、実際には、速度信号の密度の高い部分のほぼ中央をとればよい。もし、最大値 (envelope) をとると、集団の中で特に速い流速の赤血球群の速度を選ぶことになり、流量を過大評価することになる。検査の際に注意すべき点は、できるだけ乱れ度の少ない血流速度記録を得ることである。乱れ度の大きい流速記録では、modal velocity が低く出て、流量を過小評価してしまうことになる。

なお、連続波ドプラ法で、狭窄病変の圧較差を推定する場合には、modal velocity ではなく、最大値 (envelope) をとる。

パルスドプラ法による一回心拍出量の計測も、一般に超音波装置にプログラムがあり、血流波形と断面積を画面上で指定すると自動的に計算されるようになっている。

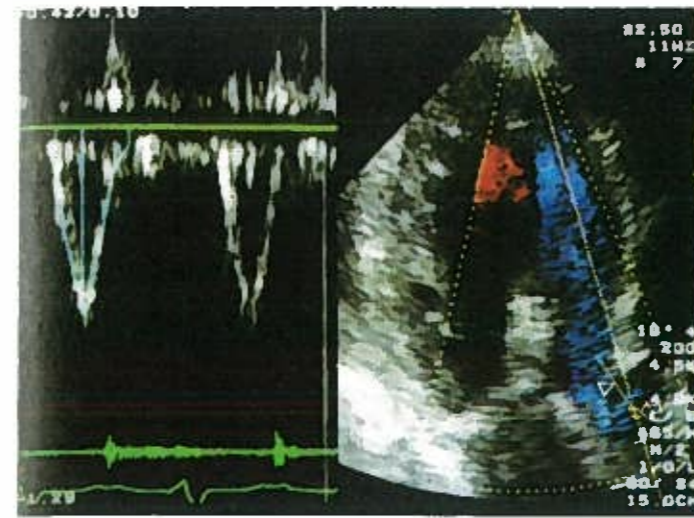
主肺動脈 (あるいは右室流出路) と上行大動脈 (あるいは左室流出路) で求めた一回心拍出量を比較し、短絡疾患における肺体血流量比 (Qp/Qs) を推定することも可能である (表1)。

ドプラ法で求められる他の左室収縮能の指標としては、大動脈血流の最

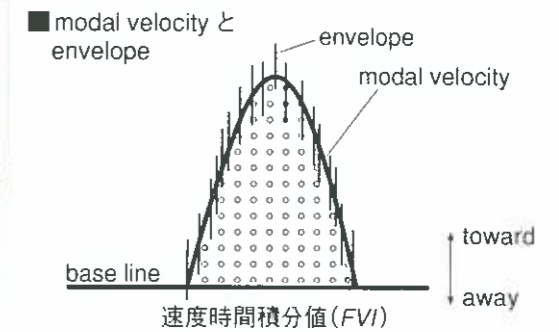
【図3】断層法による僧帽弁口面積測定例(僧帽弁狭窄症)



注1) 血流速度は、超音波ビームと血流の方向のなす角度(θ)により過小評価されるため、ドプラ入射角度(θ)が30~30度以上の場合には角度補正を行う。角度補正は画面上で流れの方向を指定することで超音波装置が自動的に計算する。



【図4】大動脈血流速度の時間積分値測定例
カラードプラ法(右)で描出された血流表示中にカーソル(⇄)を移動し、角度補正(Δ)を行う。これをパルスドプラ法で記録し(左)、画面上で計測する(青線)。



【表1】流量測定による各種計測式

Table with 2 columns: Measurement type (心内短絡, 心外短絡, 弁逆流) and Calculation formula (e.g., 左-右短絡量=肺動脈血流量(Qp)-大動脈血流量(Qs)).

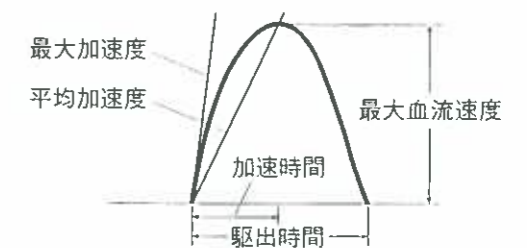
大血流速度、最大加速度、加速時間がある。大動脈血流の最大流速よりもその加速度の方が、左室収縮能を反映する指標となる可能性が示されて以来、血流加速期の指標の研究が行われてきた。しかし、大動脈血流の最大加速度は、駆出期のきわめて早い時期に生じ、現状では、弁ノイズなどの混入によりパルスドプラ法による測定は困難であり、平均加速時間が代用されることも多い(図5)。

連続波ドプラ法による僧帽弁逆流ジェット波形から、簡易ベルヌーイの式を利用し、max dP/dt を求めることも可能である。左房圧の変化は左室圧の変化に比べ小さいため、僧帽弁逆流ジェット波形は左室圧の変化(ΔP)を表し、このときかかった時間(Δt)で割ればΔP/Δtが求められる(図6)。ただし、本法は、ドプラ入射角度が0度近くでないとき誤差が大きくなる。

●僧帽弁血流速度の測定

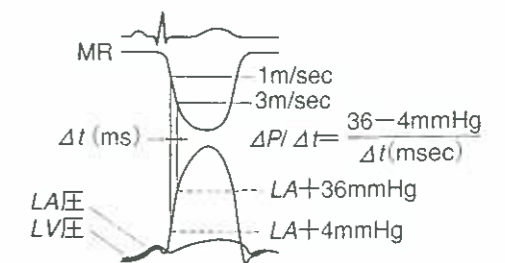
僧帽弁血流速度は、心尖部アプローチで記録する

【図5】大動脈血流速度による左室収縮能の諸指標



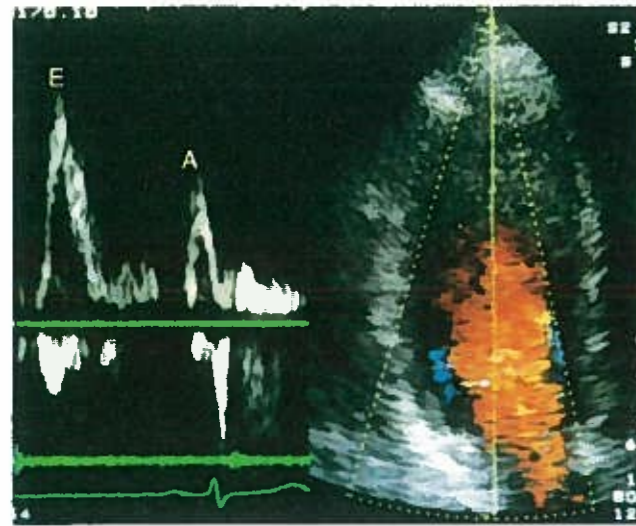
【図6】連続波ドプラ法によるΔP/Δtの測定

たとえば速度が1m/secから3m/secまでの時間を測定すれば、左室圧が32mmHg (= 4 × 3² - 4 × 1²) 増加するのに要した時間が求められたことになる。



【図7】左室流入血流波形

カラードブラ法(右)で血流の位置(矢印)を確認しながら、パルスドブラ法(左)で記録する。



(図7). ドブラ入射角度による補正が必要となることは、若年者で心尖部断面が描出されにくい場合を除けば、まずない。

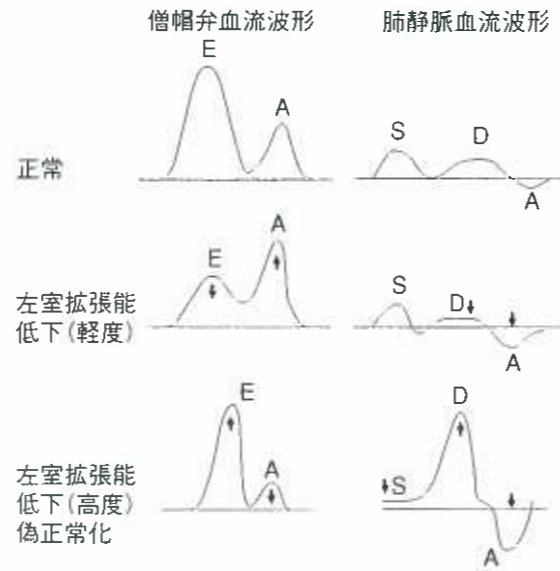
正常の僧帽弁血流は、拡張早期波(E波)と心房収縮期波(A波)の二峰性を呈し、その正常値は年齢により変化する。すなわち、加齢とともに拡張早期波は低くなり、心房収縮期波は高くなる傾向を示す。健康者ではE波とA波が等しくなるのは55歳ごろで、55歳以前ではE波はA波よりも高く、55歳以後では逆に低くなる。

パルスドブラ法による左室流入血流波形は拡張能の評価に用いられる。拡張能は収縮能の評価に比べ複雑であり、まだ、完全には確立されていないが、拡張能が低下すると普通、E波は低下し、A波は高くなり、E波の deceleration time は延長し、等容弛緩期(II音からE波の立ち上がりまでの時間)は延長する。

しかし、心不全などにより拡張能が高度に障害されると逆にE波は高く、A波は低く、E波の deceleration time と等容拡張期は短縮し始める。

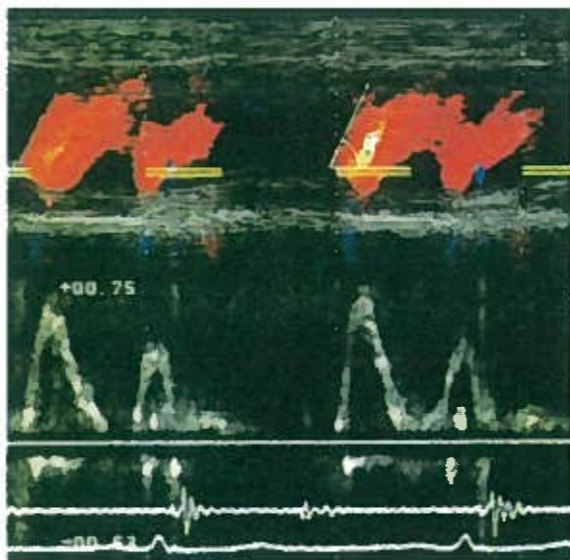
これは偽正常化^{注2)}と呼ばれ、左室拡張末期圧の著明な上昇と左房圧の

【図8】左室流入血流波形と肺静脈血流波形による左室拡張機能評価



【図9】Mモードカラードブラ法による左室内血流伝播速度の測定

左室拡張能が障害されると左室内血流伝播速度(上のθ)は低下する。左室拡張能が高度に障害され、左室流入血流が偽正常化(下)している場合でも左室内血流伝播速度は偽正常化しない。



上昇により説明される現象である。偽正常化がさらに顕著になり、supernormalとなった状態を restrictive パターンと呼ぶ。正常の流入血流波形と偽正常化した流入血流波形を区別するには、肺静脈血流波形が使われる(図8)。

また、最近では左室流入血流のMモードカラードブラ法を記録することで、左室拡張能をみる方法が話題となっている。Mモードカラードブラ法により求められる左室内血流伝播速度を記録することで、左房圧に影響されない左室拡張能の指標が得られる可能性が示されている(図9)。

●弁口面積の計測

PHT (pressure half time) 法は、拡張期に左室と左房の圧較差が1/2になる時間から僧帽弁の面積を求める方法である。これはもともとカテーテル法で行われていたものを簡易ベルヌーイの式を利用して連続波ドブラ法で置き換えた方法である(図10)。

連続の式 $A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$ (A_1, A_2 は断面積, V_1, V_2 は血流速度)を用いる方法は、僧帽弁や大動脈弁などで用いられている(図11)。

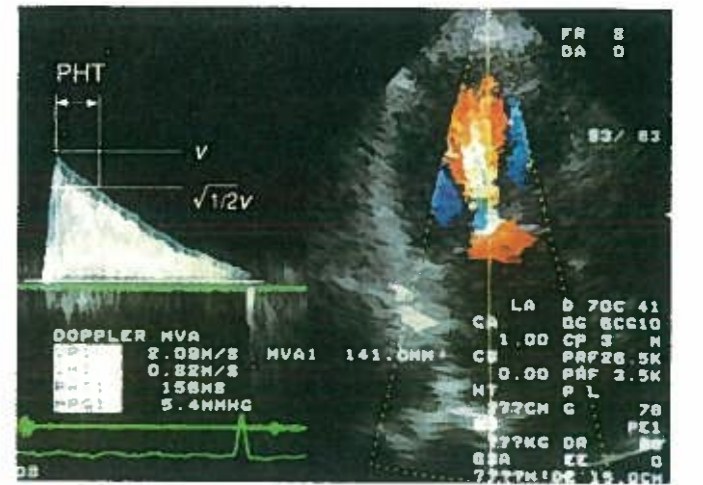
狭窄前の速度とその場所の断面積、そして狭窄部の速度が測定されれば、狭窄部の断面積が計算できる。厳密には速度のかわりに、速度波形から求めた時間積分値を用いる方がよい。

大動脈弁狭窄に用いる場合、圧較差を用いる評価に比べ、この方法は複雑だが、心拍出量が低下している例では、圧較差は大動脈弁狭窄の程度を過小評価してしまうため、この方法を用いる必要がある。

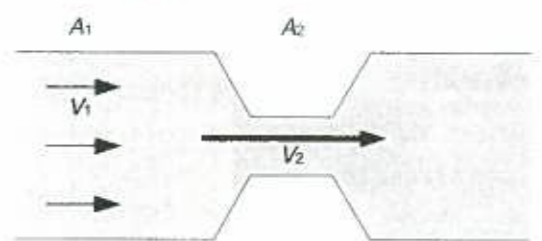
僧帽弁にこの方法を用いる場合は、一般には大動脈弁口面積とその速度時間積分値および僧帽弁での速度時間積分値を用いる。

【図10】 pressure half time (PHT) 法による僧帽弁口面積測定例

最大血流速度(v)から $\sqrt{1/2}v$ までの時間がPHTであり、僧帽弁口面積は220/PHTで求められる。



【図11】連続の式



A_1, A_2 : 断面積
 V_1, V_2 : 速度 (速度時間積分値)

注2) 正常の流入血流波形と偽正常化した流入血流波形を区別するには、肺静脈血流波形が使われる。肺静脈血流を明瞭に記録するには経食道エコー法が必要と考えられていたが、最新の超音波診断装置を用いるとほぼ全例で肺静脈血流波形の記録が可能である。