



## 心臓血管手術とTEE

山近史郎

長崎大学医学部心臓血管外科講師

近年、心エコーの技術の進歩はめざましいものがある。また、開心術中における経食道心エコー（TEE）も盛んに施行されるようになり、弁膜症を中心とした術前・術中・術後評価は心臓外科領域では欠かせないものとなっている。本稿では、心臓大血管手術における心エコー、特に術中TEEの役割と心エコーの最新技術の応用について述べる。

### 心臓血管外科領域における心エコーの役割

現在では、心臓大血管手術において心エコー法は必須の評価法となっており、術前では正確な診断に加えて手術適応の決定や重症度の評価、また、経食動心エコー法（TEE）による術中の最終確認、血行動態の把握、術直後の評価などに用いられる（表1）。さらに周術期、特に集中治療室における術後急性期管理や、病棟・外来などにおける術後慢性期のフォローアップも重要である。

### ○ 術中TEEによる評価

術中TEEが最も重要な役割を果たす心臓手術は、特に心臓弁膜症の弁形成術であり、体外循環前後での注意深い観察を必要とする。

#### 1) 体外循環前

緊急手術でない限り、僧帽弁逆流の特徴や重症度の診断は、すでに術前心エコーとして行われており、手術室ではそれをTEEで再確認することになる。逸脱部位の範囲や腱索断裂の有無に誤りはないか、増悪はしていないかなどを最終チェックするとともに、左房内血栓

など新たな所見が加わっていないか、心機能はどうか、大動脈に粥腫はないか、なども迅速に判断する。

#### (1) 病変と手術術式

僧帽弁逸脱症を中心に、多くの僧帽弁逆流症例で僧帽弁形成術が行われるようになったが、逸脱部位で形成術式が異なってくるので、術中に最後の確認として病変部位を把握しておく必要がある。後尖の部分的逸脱では、多くは弁尖切除縫合により形成可能で、予後も良好である。前尖逸脱に対しては、主に人工腱索再建術、後尖腱索移植術、腱索短縮術などが行われる。交連部逸脱の場合は切除縫合を行ったり、交連部縫縮を加えたりする。さらには、両尖逸脱があったり、片側でも広範囲逸脱であったり、交連部を含むか否かで手術戦略を修正することもある。

われわれは、弁輪拡大の強くない後尖逸脱症例では自己心膜stripによる後尖弁輪形成を行い、前尖逸脱症例では人工リングによるtotal annular remodelingを行っており、リングの選択からも正確な逸脱部位評価が要求される。

#### 2) 体外循環中

体外循環中は、心臓の拍動が停止しているのでエコーもひと休みというわけにはいかないため、TEEを使って以下のチェックを行っておく。

#### (1) 送血管や脱血管に問題はないか

挿入部位や大動脈遮断部位で、解離

表1 術中TEEの役割

疾患	術中TEEの役割
冠動脈バイパス術	心機能や壁運動の評価 オフポンプバイパス術時の壁運動評価
心臓弁膜症	逸脱や逆流口の部位 残存逆流の評価
大動脈解離	エントリーや解離の広がりや偽腔の血流 大動脈弁逆流 冠動脈への解離の進展

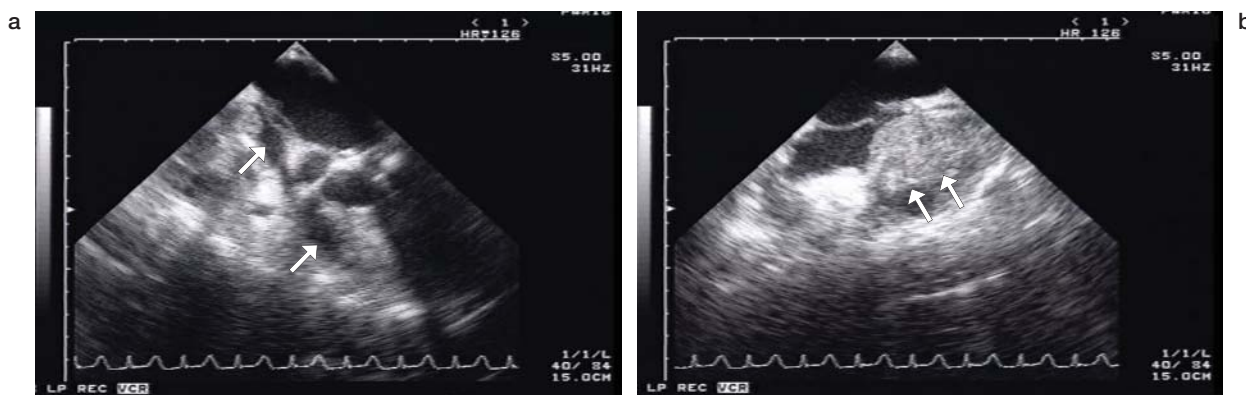


図1 僧帽弁形成術施行例のICUにおけるTEE像

- a: 四腔横断面に著明な右房と右室の虚脱を認める(→)。  
 b: 長軸方向では、右房流入部において心 内血腫が証明された(↑)。

の発生や粥腫が遊離して塞栓症を起こすことがまれにあり、大動脈の性状は事前に把握しておくことが重要である。また、脱血管の挿入困難や脱血不良があれば、カテーテル先端の位置や右房の虚脱などを迅速にチェックする。

## (2) 心筋保護を適切に行うために

心筋保護が適切に行われないと、術中心筋梗塞や術後の心機能の低下に至る可能性がある。大動脈弁逆流の存在、左室の拡張や肥大があり内圧が高いと、心筋保護液は心筋に充分に行き渡らなくなるので、大動脈弁逆流や左室内腔の拡大のチェックを必ず行い、注入量の増量を検討する。

## (3) 心内遺残空気の検出

心臓内に空気が貯留しやすい部位は、右上肺静脈、左房、左室心尖部、右冠動脈洞などで、左冠動脈より右冠動脈に空気塞栓を起こすことが多く、心筋虚血や伝導障害などが出現する。心内遺残空気の存在を適切に把握し、吸引除去を行うこともある。

## 3) 体外循環後

体外循環終了後は、手術の評価を行うとともに、体外循環に伴う合併症がないかをチェックする。形成術においては術中水試験による逆流が認められなくても、術中TEEを行うと逆流を認める場合があり、エコーによる残存逆流の評価は重要である。その場合、逆流ジェット

面積により評価する。術中は、血圧も低くポリウムも少ない状態であり、術前評価での1度に相当する $4\text{cm}^2$ 以下では、逆流制御の目標が甘いと考えられる。病変の広がりや特徴、術式や弁輪の選択などが逆流再発に大きくかかわってくるが、術中は残存逆流を最小にとどめなければならない。まず、残存逆流面積が $1.5\text{cm}^2$ 未満であれば、良好な制御効果があると考えられる。 $1.5\text{cm}^2$ 以上 $2\text{cm}^2$ 未満では、終了しても病棟で経過を注意深く観察する必要があり、退院前に $4\text{cm}^2$ 以上あれば、外来でも慎重なフォローアップを必要とする。また、術中 $2\text{cm}^2$ 以上の残存逆流面積があれば、術者と人工心肺再開を検討し、再形成術、もしくは弁置換術への変更も考慮する。

## ○ 心臓手術直後に起こりうるイベント

### 1) 心 内血腫

開心術直後に中心静脈圧が上昇し、血圧が低下する症例に遭遇することがある。図1は、僧帽弁形成術施行例で、集中治療室(ICU)搬送後、血圧が上昇せず、中心静脈圧高値が持続したため、経胸壁エコー(TTE)後に緊急で施行したTEE所見である。四腔横断面では著明な右房と右室の虚脱を認め(図1a)、長軸方向では右房流入部において心 内血

腫が証明され(図1b)、再開胸により血腫除去術が施行された。心 ドレーンは通常、左室側に挿入されるため、中心静脈圧をモニタしつつ右心系周辺に血腫の残存がないかを確認して閉胸することが重要となる。術直後は、胸帯があることなどによって胸壁からのアプローチが困難な場合もあり、本症例のような心 内血腫が予想される際は迷わず、TEEによってさらなる評価を行うことが望ましい。

### 2) 新たな血栓

冠動脈バイパス術(CABG)における術中TEEは、壁運動の評価が基本であるが、図2は冠動脈主幹部病変に対する2枝バイパス術を施行した症例のポンプオフ直後の術中TEEである。左冠動脈入口部に、術前には認められなかった血栓像が新たに出現しており、冠動脈内に存在していたバイパス術後に血栓が入口部へ移動したものと考えられた。このように、術直後は壁運動だけでなく心臓全体を一通り観察して、異常所見の有無をくまなく検索することが肝要である。

### 3) 大動脈弁の損傷

リング逢着のための縫合を行う際に大動脈弁をひっかけて大動脈弁逆流を生じることがある。前交連部から前尖弁輪にかけての縫合では、損傷しないよう細心の注意が必要である。大動脈遮断解

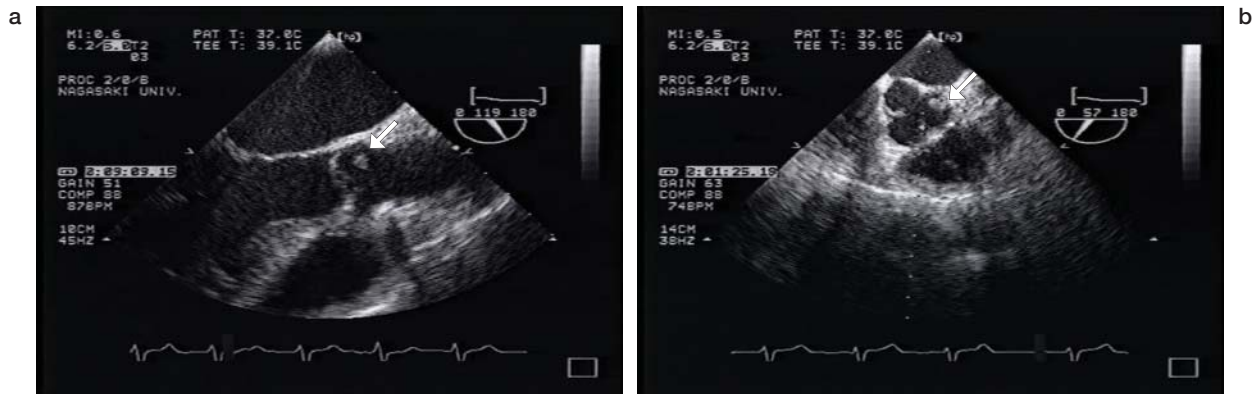


図2 冠動脈主幹部病変のバイパス術施行例

2枝バイパス術を施行し、ポンプオフ直後の術中TEE像。左冠動脈入口部に、術前には認められなかった血栓像が新たに出現しているのがわかる(←)。

除後に大動脈弁逆流が新たに出現した場合には、リング逢着により惹起された可能性があり、すみやかにリングを外してみる必要がある。僧帽弁逆流だけでなく、大動脈弁にも目を向けなければならない。

#### 4) 収縮期前方運動 (SAM) や 左室流出路閉塞

SAM (Systolic Anterior Movement) や左室流出路閉塞の機序は多様で、主因は過剰な僧帽弁組織である。前方に偏移した乳頭筋、拡張のない左室、狭い僧帽弁・大動脈角度なども機序に関連する。弁形成術後のSAMの頻度は、弁尖の接合点がより前方に位置する例で増加することが示されてきた。これは、比較的大きな後尖で、前尖のより基部に接合が移動することで、接合線が前方へ偏移し、流出路で弁尖のゆるんだ部分の範囲が大きくなる。延長した前尖もまた、左室流出路の閉塞に起因するゆるんだ弁尖部分の増大の原因となる。術前・術後を通して、前尖と後尖の接合部が左室流出路へ偏位していないか、注意深く観察する必要がある。また、血行動態として過収縮であったり、左室のポリウムが十分でない可能性があるため、術中SAMが出現した場合はカテコールアミンを減らし、血圧を過度に上げないようにしたり、輸液量を増やしたりする。それでも逆流がコントロールで



図3 IASSISTコントローラ

心エコー装置のほとんどの操作をワイヤレスで行うことができる。例えば、下肢の血管エコーを施行する際に検者が操作パネルから離れていても操作可能な点が、特に有用である。

きない場合は、再形成術、もしくは弁置換術に移行することを検討する。術中水試験では逆流を認めず、動的状態で逆流が出現する例やSAMを生じる例では、術中TEEの評価が必須であり、同時に適切な判断と処置が要求される。

### 心エコーにおける新技術の 術中TEEへの応用

心エコーにおける新技術は、循環器疾患の診断領域において用いられてきている。術中や周術期は、正しい状況判断のもとに適切で遅れない処置や治療が要求されるため、周術期のエコーにおいては迅速で正確かつ簡便に情報が得ら

れることが重要である。心エコーの新技術が周術期、特に術中TEEで応用可能かを検証してみる。

### ○ ワイヤレスリモコン

術中TEEによるモニタリングは、心臓大血管手術において重要な役割を担っていることはすでに述べたが、手術場のスペースは限られており、周囲には種々の点滴セットやモニタ装置、人工心肺装置などが設置されているため、TEEを評価する際は周囲に常に気を配りながら検査を進める必要がある。ワイヤレスリモコン(図3)は、心エコー装置のほとんどの操作をワイヤレスコントローラで行うことができる新デバイスである。

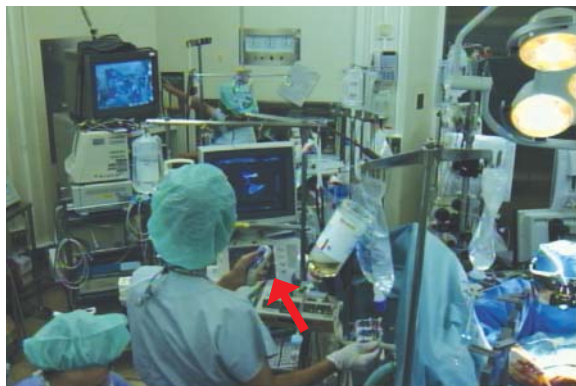


図4 術中にTEEを施行する際のワイヤレスリモコン(←)による心エコー装置の操作風景

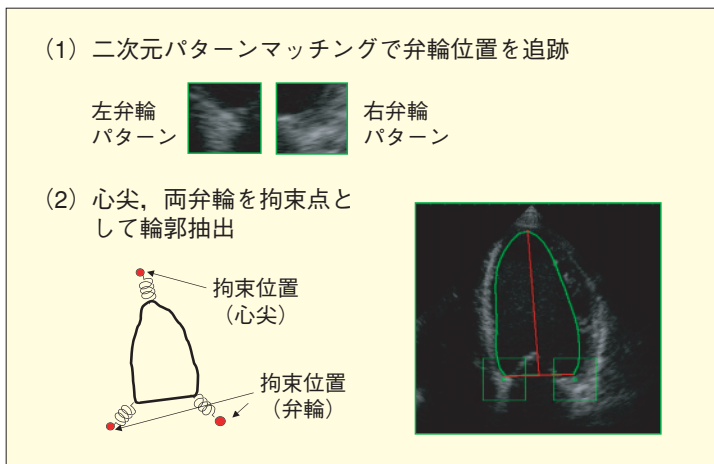


図5 Advanced ACT法の原理

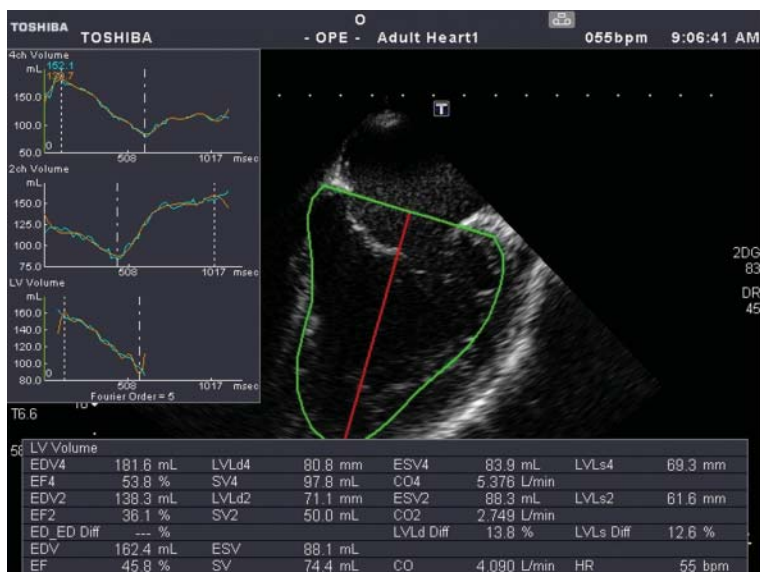


図6 CABG+僧帽弁形成術の術中TEEにおけるAdvanced ACT法使用例  
Biplane Modified Simpson法による左室駆出率は46%であり、術前のTTEの値と近似している。

臨床の間では主に、下肢の血管エコーを施行する際に、検者が操作パネルから離れて行く場合に有用である。手術場での限られたスペースでTEEを施行する場合に、ワイヤレスリモコンで遠隔操作を行うことができれば、より円滑な評価が可能と考えられる(図4)。ただし、術中に迅速に検索を進めていくためには、検者は操作ボタンを熟知しておく必要がある。

### ○ 左室の自動内膜トレース Advanced ACT法 (Automated Counter Tracking)

本法では心尖部、左右僧帽弁輪部の3点を指定することにより、左室容量(EDV/ESA)、面積(EDA/ESA)、左室駆出率(EF)などの値を即座に算出し、左室容量曲線を表すことが可能である。原理は、画像パターンマッチングを用いて、弁輪指定位置の画像パターンとの相関により弁輪を検出する

(図5)。心尖と弁輪を拘束位置として、心腔と心筋の輝度情報から心内膜を検出する。弁輪の検出が正確に得られれば、グローバルな心機能が即座に得られるため、心内膜の画質にあまり影響を受けずに迅速に情報を得ることが期待できる。

### 1) Advanced ACT法の術中エコーへの応用

図6は、CABG+僧帽弁形成術の術中TEEにおいて本法を使用した症例で、Biplane Modified Simpson法による左室駆出率は46%であり、術前のTTEにおける左室駆出率と近似している。TEEでは左右弁輪のパターン認識が重要であるが、TTEほど弁輪のパターン認識が容易ではないため、再現性にやや欠けることが問題点である。今後、TEEにおける僧帽弁輪部のパターンマッチングが向上すれば、術中における心機能モニターとしての有用性が高いと考えられる。

### ○ 三次元(3D)エコーによる局所壁運動解析

複雑な解剖学的特徴や空間的な位置の確認に対して、二次元エコーに加えて三次元エコーの評価を行うことは有用であるが、最近では、三次元エコーを用いた局所の壁運動の定量解析も可能となってきた。図7は、図6における術中TEEによる三次元局所壁運動解析所見

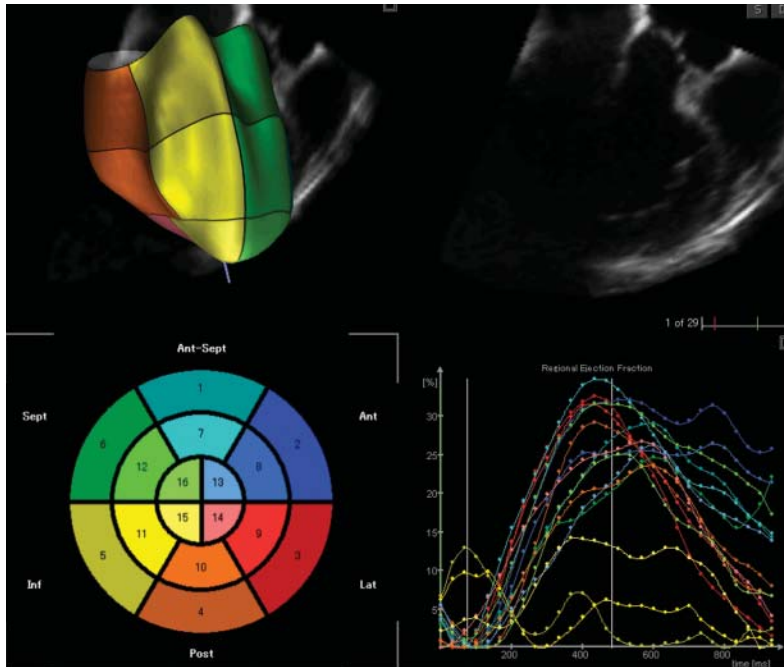


図7 図6の症例における，術中TEEによる三次元局所壁運動解析所見  
黄色で示した部分が下壁領域であるが，局所的な駆出率の低下が示されている。

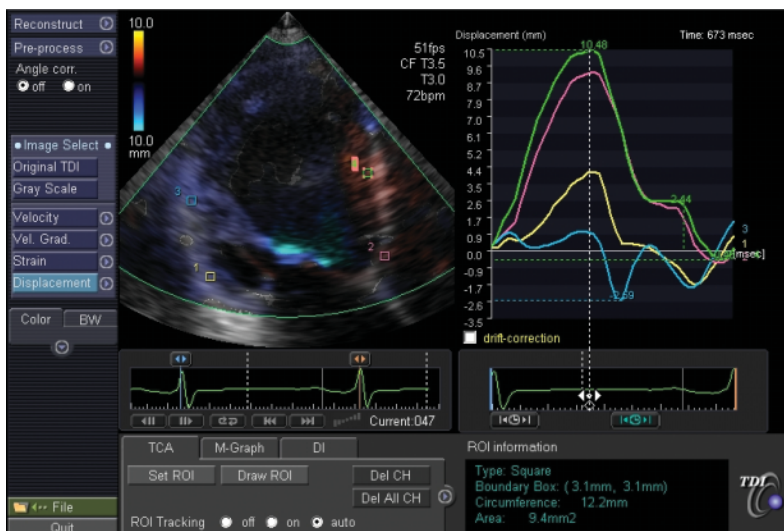


図8 DCM, MR, VT 症例におけるDIを用いた時間変化曲線  
心筋局所の収縮移動のピークに時間的差異を認めない。

である。黄色で示した部分が下壁領域であるが，局所的な駆出率の低下が示されている。しかしながら，この定量解析においては，いまだオフライン解析が現状である。迅速かつ正確な評価が必要とされる術中エコーにおいては，三次元エコーを用いる場合はオンラインによる局所定量評価が可能となることが期待される。

### ○ Dyssynchrony Imaging による局所壁運動解析

近年，組織ドプラやトラッキングの技術が進歩し，心臓再同期療法 (CRT) の評価判定などに用いられるようになってきた。Dyssynchrony Imaging (DI) は，心筋運動の収縮や拡張の同期性をカラー表示し解析する方法である。図8

は，拡張型心筋症 (DCM)，MR，心室頻拍 (VT) の症例におけるTTEでのDIの時間変化曲線である。心筋局所の収縮移動のピークに時間的差異を認めず，Dyssynchronyなしと判定された。このような組織ドプラや心筋ストレイン法は，TTEにおける治療方針や効果判定の目的で評価されるのが一般的である。術中TEEにおいては，主にグローバルな心機能を迅速にモニタするが，これらの新技術が，術中における局所の迅速かつ正確な壁運動評価に寄与することが今後期待される。

### おわりに

術前診断として行うTEEは，手術適応や手術手技を含めた治療方針決定のために，外来，病室，エコーラボにおいて，可能なかぎり詳細な評価がなされなければならない。術中TEEや周術期エコーは，術中・術後の評価や血行動態のモニタ，さらにはその後の合併症の予防などに対して，迅速かつ正確な把握が要求される。したがって，最近開発されてきた心エコーの種々の新技術を用いる場合は，これらの点を踏まえた上で，有用性と問題点を理解して使用しなければならない。