

## 超音波診断装置による小児期僧帽弁閉鎖不全の質的及び量的評価

豊野 学朋

秋田大学医学部附属病院小児科

## Qualitative and Quantitative Assessment of Mitral Valve Regurgitation Using Echocardiography in Pediatric Population

Manatomo Toyono

Pediatrics, Akita University Hospital, Akita, Japan

超音波診断装置は、われわれにとって聴診器に次いで重要な「仕事道具」といっても過言ではないであろう。本稿では臨床現場で広く用いられている経胸壁二次元心エコーを中心に、経食道二次元心エコーと今後の普及が期待される三次元心エコーによる小児期僧帽弁閉鎖不全(逆流)の評価法について概説する。

## 経胸壁二次元心エコー

## 1. 質的評価

## 1) 弁構造の観察

僧帽弁尖の翻転や弁尖接合の離開、乳頭筋断裂の所見があれば重度の逆流と考える。逆流機序を知るうえで、弁輪・弁尖・腱索・乳頭筋といった僧帽弁装置の評価のみならず、左室の局所壁運動を含めた機能評価も重要である。

## 2) 左室と左房のサイズ

慢性僧帽弁逆流では一般的に左室と左房の拡大が認められ、拡張期及び収縮期左室径は手術適応や時期を考えるうえで大いに有用である。小児期に発生する慢性僧帽弁逆流では左室機能が保持されている例が多いが、拡張型心筋症の様に左室機能が障害されている例では逆流の重症度と左室・左房のサイズに乖離が生じ得る。小澤らの論文<sup>1)</sup>にある2症例のような急性発症の僧帽弁閉鎖不全では逆流の重症度と左心腔サイズの関係は相関しない。

## 3) 肺静脈血流速波形

肺静脈内の収縮期逆流血流の存在は重度例に特徴的である。器質的僧帽弁逆流で見られることが多い eccentric jet では1本の肺静脈だけに本所見が認められることもある。肺静脈血流の収縮期/拡張期血流速度比も逆流の重症度評価に有用とされるが、左室拡張障害による左房圧上昇が存在する場合も同所見が認められるため判定には注意を要する。

## 4) 逆流ジェットの詳細波 Doppler 速波形

僧帽弁逆流が強いほど連続波 Doppler 速波形は辺縁が明瞭で三角形に近くなる。

## 5) 拡張早期左室流入血流速波形

僧帽弁逆流が強いほど、左室流入血流速波形は拡張早期優位となる。成人と異なり拡張障害を有する例が少ない小児では本所見が認められやすい。当然ながら僧房弁狭窄兼逆流例には適用できない。

## 6) Color Doppler 法による逆流ジェットのサイズ

僧帽弁逆流の存在や逆流口の同定に color Doppler 法は不可欠である。僧帽弁逆流量が大きいほど、逆流ジェットの面積や到達距離は増大する。左室拡大に伴う弁輪拡大及び弁尖の tethering に起因する機能的僧帽弁逆流で主として認められる central jet では、逆流ジェット面積と左房面積の比が 0.2 未満であれば軽度、0.2 以上 0.4 以下であれば中等度、0.4 を超えれば重度とされる<sup>2)</sup>。しかし、小児例の多くを占める器質的僧帽弁逆流では eccentric jet を呈することが多く、逆流ジェットの全体像を任意の 1 断面で描出することは困難であり、そのため重症度を過小評価することがある。左房壁あるいは心房中隔への逆流ジェットの衝突や左房壁に沿って渦を巻く血流の存在は重度例に特徴的である。しかしジェットサイズによる重症度評価は装置の種類や設定条件、さらには被験者の超音波透過性に影響されうる。逆流弁口を通過する血流(vena contracta)幅は重症度の半定量に有用とされ、成人では 0.3 cm 未満が軽度とされている<sup>2)</sup>。

## 2. 量的評価

### 1) Pulsed Doppler 法による逆流量と逆流率の算出

本法は僧帽弁と左室流出路の各々の通過血流量を算出し、両者の差を逆流量とする手法である。

$$SV \text{ (ml)} = CSA \text{ (cm}^2\text{)} \times VTI \text{ (cm)} = \pi d \text{ (cm)}^2 / 4 \times VTI = 0.785d^2 \times VTI$$

SV は通過血流量、CSA は断面積、d は内径、VTI は血流速度時間積分値である。本式を僧帽弁と左室流出路に適用することで、以下の指標を算出することができる。

$$RV \text{ (ml)} = SV_{MV} - SV_{LVOT}$$

$$RF = (SV_{MV} - SV_{LVOT}) / SV_{MV}$$

RV は逆流量、 $SV_{MV}$  は僧帽弁順行性血流量、 $SV_{LVOT}$  は左室流出路順行性血流量、RF は逆流率をそれぞれ示す。成人の基準では、RF 0.3 未満は軽度、0.5 以上は重度とされている<sup>2)</sup>。本法を施行する際の注意点として、内径の測定に細心の注意を払うこと(計測値が 2 乗されるため誤差が大きくなる)、血流と Doppler ビームの方向が平行となるように努めること、VTI 計測時の血流速度波形トレースを正確に行うこと、心拍数が一定の状態を計測すること、が挙げられる。 $SV_{LVOT}$  の代わりとして biplane Simpson 法から算出される左室拍出量を用いることもあるが、計測値のばらつきに注意を有する。

### 2) Proximal isovelocity surface area (PISA) 法 (Flow convergence 法)

Color Doppler の Nyquist limit を調整することで、僧帽弁の左室側に逆流弁口に向かう求心性で半球に近い、あたかもネギ坊主のような形状が認められる。これを逆流量の定量に利用したのが PISA 法である。

$$FR \text{ (ml / 秒)} = 2 \pi r \text{ (cm)}^2 \times Va \text{ (cm / 秒)}$$

FR は瞬時逆流量、r は PISA 半径、Va は r を計測した折り返し流速である。また連続波 Doppler 法による逆流血流速度波形から、最大流速 (PRV) を計測すれば有効逆流弁口面積 (EROA) を、VTI を計測すればから RV を以下の式から算出できる。

$$EROA \text{ (cm}^2\text{)} = FR \text{ (ml / 秒)} / PRV \text{ (cm / 秒)}$$

$$RV \text{ (ml)} = EROA \text{ (cm}^2\text{)} \times VTI \text{ (cm)}$$

PISA 法の問題点として、折り返し面が半球をなすという仮定が必ずしも成り立たないこと、複数の逆流弁口を有する場合には適用が困難であること、半球の中心や折り返し面の設定により誤差が生じること、小児での基準値が未確定であることがあげられる。

## 経食道二次元心エコー

低年齢児や非肥満例の多くでは経胸壁心エコーで十分な評価が可能な場合が多いため、経食道心エコー施行に際して全身あるいは静脈麻酔を要する例では適応に関して検討を要する。本検査は経胸壁心エコーと比較して、僧帽弁装置の形態評価に優れ、また color Doppler 法による逆流口同定の感度が高い。われわれも経胸壁心エコーでは同定できなかった逆流口を経食道心エコーで認めた例を経験している。

### 三次元心エコー

ここ 10 年弱の期間で三次元心エコーは臨床現場に普及しており、二次元心エコーと併用することにより多くの情報をもたらすようになった。

#### 1. 弁尖及び他の僧帽弁装置の評価

心臓全体あるいは対象区域のデータを取得することで、二次元心エコーでは描出することができなかった任意の断面からの観察が可能である。最も有用なのが正面像(en face view)で、弁尖の逸脱・裂隙・重複弁口等の有無及び局在を明瞭に示すことができる(Fig. 1)。Off-line 解析を必要とするが、弁輪・弁尖・腱索・乳頭筋を三次元構築することが可能であり、弁輪の形状や湾曲の程度、乳頭筋・腱索・弁尖の空間的評価が可能となった(Fig. 2)。これらの知見は成人領域の僧帽弁形成術の手技に大きな影響を与えている。

#### 2. Color Doppler 法

三次元心エコーでは vena contracta を幅ではなく、領域(面積)として観察できる。その解析結果によれば、vena contracta は円形であることは少なく、不規則な楕円形であることが多い。このことは二次元心エコーで計測される vena contracta 幅は逆流量を過大あるいは過小評価する危険性があることを示している。また収縮期の中で vena contracta の形態が変化することも明らかとなっている。

#### 3. PISA 法

Color Doppler 三次元心エコーは、折り返し面の形状が半球体であることが少なく、半楕円体を呈している例が多いことや<sup>3)</sup>、左室側への凸面が1個とは限らず2個(2コブ様)認められる例も存在することを明らかにした<sup>4)</sup>。これらの所見は前述の二次元心エコーによる PISA 法の限界を克服でき得る可能性を示している。実際に、折り返し面の形状が単一の半球体でない例において、二次元心エコーで算出された RV は、三次元心エコーで算出された値よりも過小であることが示されている。

#### まとめ

以上、二次元心エコーによる僧帽弁逆流の評価法とそれらの限界を示した。三次元心エコーは、二次元心エコーの限界を超える評価法を提供するが、それには特殊技術や解析に多くの時間を必要とする。これからも二次元経胸壁心エコーが臨床現場で逆流の重症度判定に果たす役割は重要であり続けるであろう。しかし僧帽弁逆流の絶対的な重症度評価法は存在せず、病歴・身体所見と合わせて種々の手法から総合的に判断する必要がある。三次元心エコーは評価判定に難渋する例に不可欠な検査法として発展していくであろう。

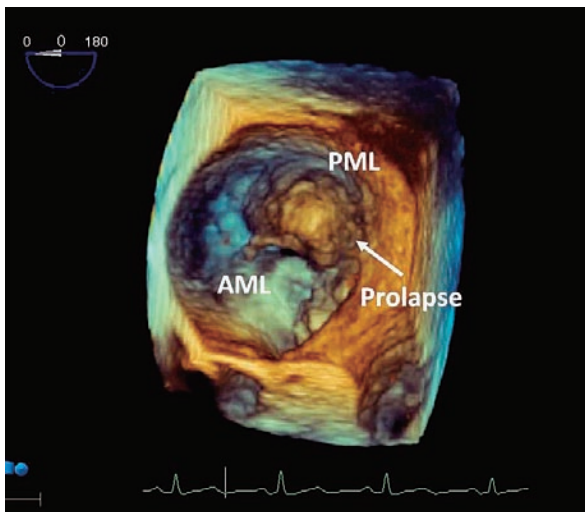


Fig. 1 Three-dimensional transesophageal image of the mitral valve prolapse of posterior middle scallop. This en face mitral valve image is called "a surgeon's view."

AML: anterior mitral leaflet, PML: posterior mitral leaflet

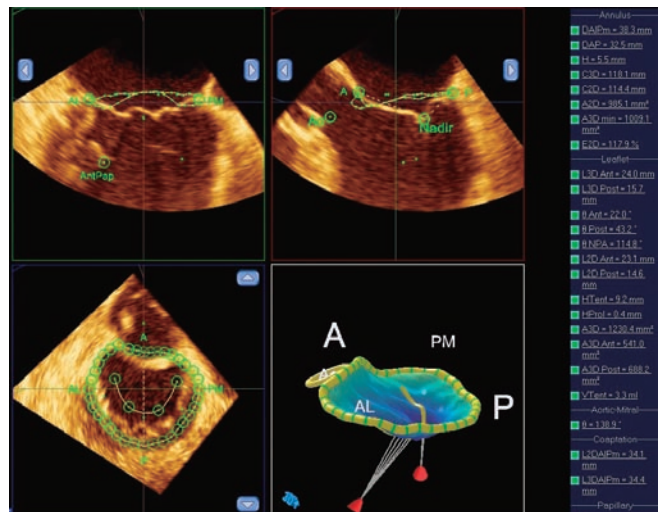


Fig. 2 Three-dimensional transesophageal image of the mitral annulus, leaflets, coaptation line, chordae tendinae, and position of the papillary muscles. The aortic annulus was also reconstructed.

A: anterior, AL: antero-lateral, P: posterior, PM: postero-medial

**【参考文献】**

---

- 1) 小澤有希, 村上洋介, 鈴木嗣敏, ほか: 乳児期の特発性僧帽弁腱索断裂. 日小循誌 2011; **27**: 220-226
- 2) Zoghbi WA, Enriquez-Sarano M, Foster E, et al: Recommendations for evaluation of the severity of native valvular regurgitation with two-dimensional and Doppler echocardiography. J Am Soc Echocardiogr 2003; **16**: 777-802
- 3) Matsumura Y, Fukuda S, Tran H, et al: Geometry of the proximal isovelocity surface area in mitral regurgitation by 3-dimensional color Doppler echocardiography: difference between functional mitral regurgitation and prolapse regurgitation. Am Heart J 2008; **155**: 231-238
- 4) Matsumura Y, Saracino G, Sugioka K, et al: Determination of the regurgitant orifice area with the use of a new three-dimensional flow convergence geometric assumption in functional mitral regurgitation. J Am Soc Echocardiogr 2008; **21**: 1251-1256