

心エコーのみかた

2004年12月16日

目次

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| 第 1 章 | 正常値 | 3 |
| 第 2 章 | 心エコーを用いた血行動態測定 | 5 |
| 2.1 | 全体的な心機能を評価しうる値 | 5 |
| 2.2 | スワンガンツカテーテルの値を推定する | 14 |
| 2.3 | 実際の測定 | 17 |
| 第 3 章 | 心エコーを用いた弁疾患の重症度評価 | 22 |
| 3.1 | 定量的な重症度判定の意味 | 22 |
| 3.2 | 僧帽弁狭窄症 | 22 |
| 3.3 | 僧帽弁閉鎖不全 | 25 |
| 3.4 | 大動脈弁狭窄症 | 31 |
| 3.5 | 大動脈弁閉鎖不全症 | 34 |

第 1 章

正常値

左心機能

- 僧帽弁逆流の dP/dt が 1200mmHg/sec 以上で正常、800mmHg 以下で高度心機能低下
- LV-TEI インデックスの正常値 0.38 ± 0.04 、これが 0.45 以上で左心不全
- 左房容積の正常値は体表面積あたり $21ml/m^2$ 、 $28ml/m^2$ を超えると拡張障害の可能性
- 肺静脈血流速波形の PA 波が、左室流入血流速波形の A 波の幅よりも 30msec 以上長い場合、左室拡張末期圧が高い

拡張障害

- 左室内伝播速度が 60cm/sec 以下のときには左室拡張能低下
- 左室流入圧波形の E 波の DcT が 255msec 以上のときは拡張能低下

中心静脈圧上昇

- 肝静脈血流 (S) の時間積分値を、収縮期 (S)、拡張期 (D) の肝静脈血流の時間積分値の合計で割ったもの (Systolic filling fraction) が 55% をこえた場合、右室圧は 8mmHg 以上ある
- 吸気時の下大静脈の直径の減少が 50% 以下であった場合、右室圧は 8mmHg 以上ある可能性が高い

肺動脈圧

- pulmonary acceleration time の正常値は 120msec 以上であるが、肺血圧が上昇するとともに短縮する
- $meanPA = 79 - 0.45 \times pulmonary\ acceleration\ time$

肺動脈楔入圧

- 左室流入圧波形の E 波の deceleration time が 130 msec 以下であった場合、肺動脈楔入圧が 18mmHg 以上である可能性が高い
- 肺静脈波形の D 波の deceleration time が 160 msec 以下であった場合、肺動脈楔入圧が 18mmHg 以上である可能性が高い
- 肺静脈波形の A 波の持続時間が左室流入波形の A 波の幅よりも 20msec 以上長かった場合は、95% の可能性で左室拡張末期圧が 12mmHg 以上ある

第2章

心エコーを用いた血行動態測定

2.1 全体的な心機能を評価しうる値

古典的には M モードを用いた EF の評価、左室の直径などが簡単な心機能の評価に用いられてきたが、問題点も多かった。

- 簡便ではあるが、正確さに欠ける。
- 測定する場所や術者の技量などにより値が左右され、信用できる値が得られにくい。
- M モードを用いた評価は、心臓の収縮力を評価することはできても、拡張障害による心不全の評価には役に立たない。

このため、従来から施行されてきた心エコーのルーチンの評価に加え、より正確に患者の心機能を評価する方法が模索されてきた。

2.1.1 左室流入速度波形

ドップラー心エコーを用いた左室流入速度波形の評価は、左室機能を全般的に評価するための古典的な方法である。

左室流入速度波形は、加齢に伴う心臓の拡張障害の程度を見るには便利である。

しかし、心不全の症状がさらに進むと”偽正常化”という現象を生じる。こ

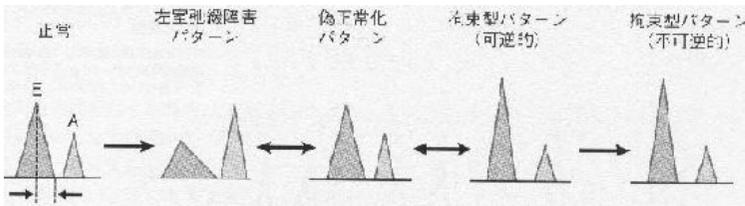


図 2.1 左室流入波形は、正常から拡張障害、心不全状態へと変化する

れにより患者の心機能が正常なのか、あるいは重篤な心不全状態なのかの区別が難しくなる。

正常者と心不全の患者の E/A は両方で類似しているが、E 波の DcT^{*1} の値は異なる。すなわち、心不全の患者の DcT は正常者に比べて有意に短縮しており、慣れてくれば偽正常化ないしは拘束パターンと正常パターンとの鑑別は可能である。

しかしやはり例外は多く、両者を見分けにくい症例は存在する。また E/A の比は感度があまり高くないため、例えば心不全患者の治療後の評価に用いる際など、心機能の微妙な変化を反映しにくい。

2.1.2 肺静脈血流波形

心臓の機能を評価する際、従来の僧帽弁流入波形の評価のみではさまざまな因子で波形が変わってしまい、正確な評価が難かかった。

心機能のより鋭敏な指標として測定されるのが、肺静脈血流波形である。

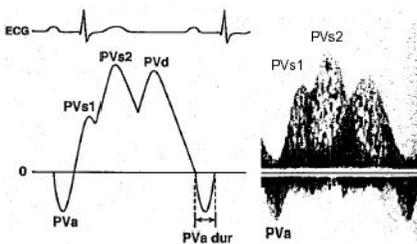


図 2.2 肺静脈血流波形は S 波、D 波、A 波の 3 つからなる

*1 ピーク血流から、血流がゼロになるまでの時間

心機能正常な患者の肺静脈血流波形は、心房の収縮期順行性血流 S 波、拡張期順行性血流 D 波、心房収縮期逆行性血流 A 波からなる (図 2.2)。このうち S 波はさらに S1 波と S2 波とに細かく分かれる。

左室流入圧波形と同様、肺静脈血流波形は心機能の変化とともにその形を変える (図 2.3)。

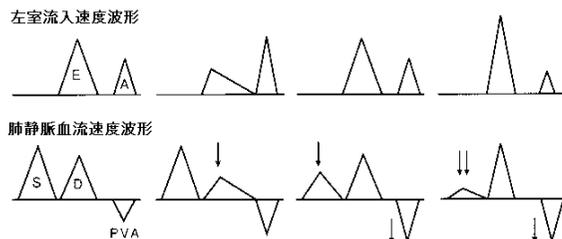


図 2.3 左室流入圧波形と肺静脈血流派系との比較。

これらの波形のうち、S 波と D 波の高さの比が左室の拡張障害をより敏感に評価しうる (図 2.4)。左室流入圧波形が偽正常化を生じていても、肺静脈血流波形を測定することで両者を見分けることが可能になる。

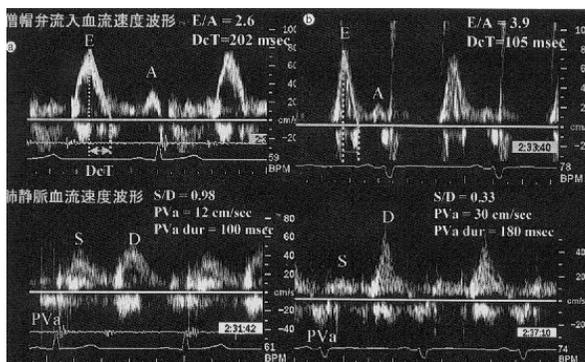


図 2.4 左は正常例、右は心不全の E/A の偽正常化例。肺静脈血流波形で鑑別可能。

また、D 波の血流速度のピークから血流がゼロになるまでの時間 (PV-DT^{*2}) からは、左室拡張末期圧を推定することができる (P.21 参照)。

A 波からも、心機能の情報を得ることができる。

*2 正常値 160 - 240 msec

肺静脈血流速波形と左室流入血流速波形とを記録し、肺静脈血流速波形の A 波の幅が左室流入血流速波形の A 波の幅よりも大であると、左室収縮機能障害の有無にかかわらず左室充満圧の上昇を示す。

この指標はヨーロッパ心臓病学会の発表した拡張機能障害診断基準の一つに用いられており、肺静脈血流速波形の心房収縮期血流速波形の幅 (PVA 波) が、左室流入血流速波形の心房収縮期血流速波形 (A 波) の幅よりも 30msec 以上長い場合、左室流入血流速波形が一見正常パターンであっても左室充満圧が上昇しているという。

2.1.3 dP/dt ~ 心収縮力の指標

心室内圧の上昇および下行曲線の傾きは、心臓の収縮力、拡張力によって敏感に変化する。

本来この値は左室内にカテーテルを挿入することで測定するが、これを心エコーで測定できれば、心機能のより細かい評価を行うことができる。

心不全患者においては、左室拡大に伴う弁輪拡大などにより、多くの例においてある程度の僧帽弁逆流を伴っている。

収縮期には逆流による左房圧の上昇は比較的少ないため、僧帽弁逆流波形は左室の圧波形をそのまま反映すると考えられる。

この僧帽弁逆流シグナルを連続波ドプラ法により記録し、逆流波形の上行脚の 2 点にて、ベルヌーイの簡易式から推定した圧較差の差をその 2 点間の時間で除せば、心室内圧上昇曲線の傾き $+dP/dt$ を簡易的に求めることができる (図 2.5)。

通常は計測の簡便さから、僧帽弁逆流血流速度が 1m/s と 3m/s の時相間の時間 t を計測し、ベルヌーイの簡易式より

$$+dP/dt = (4 \times 32 - 4 \times 12)/t = 32/t$$

として算出することができる。図 2.5 の症例では $t=40\text{msec}$ であり、 $+dP/dt$ は 800mmHg/sec と推定できる。

心臓の収縮力が低下すると心臓の収縮はゆっくりとなり、 dP/dt は低下していく (図 2.6)。この値は心収縮力の変化をかなり鋭敏に評価できる。

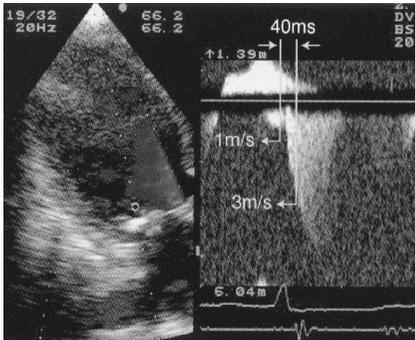
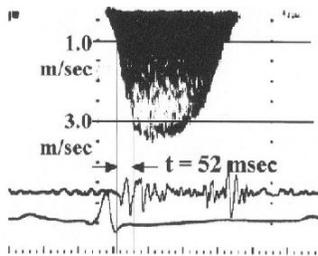


図 2.5 $+dp/dt = (4 \times 32 - 4 \times 12) / t = 32 / t$ 。 $t = 0.04 \text{ msec}$ であり、 $+dp/dt$ は 800 mmHg/sec 。



$$+dp/dt = (4 \times 3^2 \text{ m/sec} - 4 \times 1^2 \text{ m/sec}) \text{ mmHg} \times 10^3 \div t \text{ msec} \\ = 32000 \div 52 \text{ msec} = 615 \text{ mmHg/sec}$$

正常値 $> 1200 \text{ mmHg/sec}$ 、高度心機能低下 $< 800 \text{ mmHg/sec}$

図 2.6 心不全の症例。 dp/dt は 615 mmHg/sec と低下している。

2.1.4 左室血流伝播速度～心拡張能の指標

Mモードカラー Doppler 法による左室血流伝播速度は、左室拡張能を評価する簡便な方法である。

これは左室コンプライアンスが低下するほど、左室流入血流の左室内での伝播が低下することを利用したもので、簡単な方法でより正確な拡張障害の評価が可能になる。

測定方法は以下のとおり。

1. 左室心尖部から、4腔断で普通に僧帽弁血流を測定する。

2. 同じ角度のまま、左室流入血流の M モードカラー Doppler エコー図を記録する。
3. この際、カラースケールを 45 ~ 55cm/sec 程度に狭く設定し、わざとエリアシングを生じさせる。
4. そのまま M モードで記録し、エリアシングを生じた部分の傾きから左室内血流伝播速度を評価する (図 2.7)。

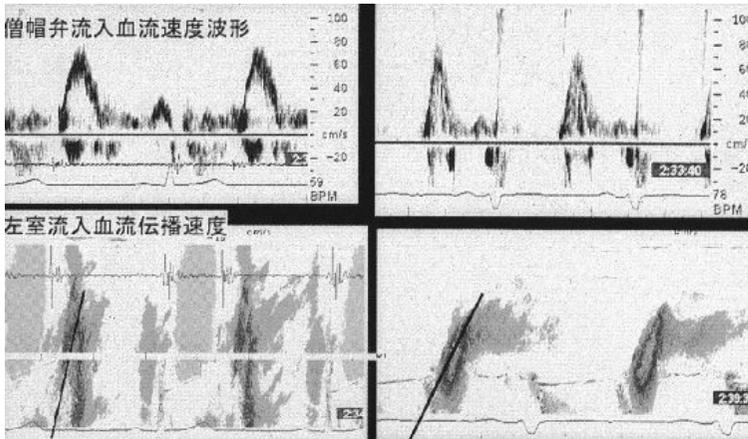


図 2.7 左は正常例 (188cm/sec)、右は拡張障害 (48cm/sec)。

これを用いて僧帽弁流入血流速度波形の偽正常化を鑑別することができる。図 2.7 は正常者と、虚血性心筋症の左室内血流伝播速度を表示したもので、心不全では正常に比べて有意に低下している。

左室内伝播速度が 60cm/sec 以下のときには左室拡張能低下の診断がなされる。

この値は、拡張障害の評価以外に肺動脈楔入圧を推定するとき用いる。

2.1.5 TEI インデックス

心機能の評価を行う場合、とりあえず患者の心機能が“(・・)イ!”のか“(・A・)イナイ!”のかが分かると、その後の測定に大いに参考になる。

TEI インデックスは心臓の駆出時間、等容収縮期、等容拡張期といった心臓の各時相を Doppler 心エコーを使って評価するもので、心臓の収縮障

害、拡張障害の程度を同時に評価することができる。

この値は左心機能だけでなく、右心機能も同じように評価できるとされる。

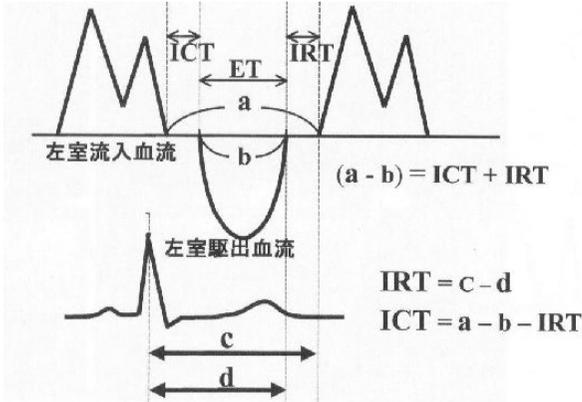


図 2.8 TEI インデックスは $(a-b)/b$ で計算する

TEI インデックスは、ルーチンのパルスドブラ法により簡便に求められる。図 2.9 に、左室の TEI インデックスの測定の例を示す。

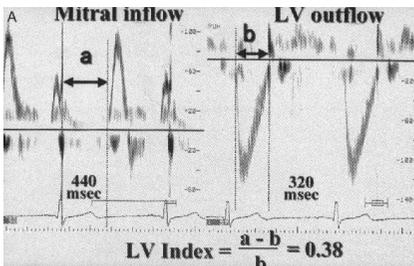


図 2.9 実際の TEI インデックスの測定 (値は 0.38 と正常)

TEI インデックスは、心室流入血流速度波形の終了から開始までの時間“a”と駆出時間 (ET) “b”を用いて簡便に測定した値 $\frac{a-b}{b}$ である。

時間“a”は等容収縮期 (ICT)、駆出時間、等容拡張期 (IRT) の和である。したがって、 $\frac{a-b}{b}$ は ICT と IRT の和を、ET で除した値に等しい。

等容収縮時間、等容拡張時間は各々心臓の収縮力、拡張能に比例して延長し、駆出時間は、心拍出量の増加に比例して増加する。

心臓の収縮能と拡張能の総和が低下するほど (a-b) の値は大きく、b の値は小さくなり、その結果、TEI インデックス $\frac{a-b}{b}$ は大きくなる。

TEI インデックスの利点としては以下のようなものが挙げられる。

- 測定が簡便
- 時相の比であるために心拍数の影響を受けにくい
- 血圧の影響を受けにくい
- 心室への流入路と流出路で血流速度波形を測定しているために、心室の形態の影響を受けない
- 左室だけでなく、右室の TEI インデックスも簡単に測定できる

正常値は表 2.1 のとおり。

表 2.1 TEI インデックスの正常値

| | | |
|---------|-------|-----------------------------|
| 左室 (LV) | 正常 | 0.38 ± 0.04 |
| | 左心不全 | LV-TEI インデックス > 0.45 |
| | 軽症 | 0.45 < LV-TEI インデックス < 0.60 |
| | 中等症 | 0.60 < LV-TEI インデックス < 0.80 |
| | 重症 | 0.80 < LV-TEI インデックス < 1.0 |
| | 非常に重症 | 1.00 < LV-TEI インデックス |
| 右室 (RV) | 正常 | 0.28 ± 0.04 |
| | 右心不全 | RV-TEI インデックス > 0.40 |
| | 軽症 | 0.40 < RV-TEI インデックス < 0.55 |
| | 中等症 | 0.55 < RV-TEI インデックス < 0.70 |
| | 重症 | 0.70 < RV-TEI インデックス < 0.90 |
| | 非常に重症 | 0.90 < RV-TEI インデックス |

2.1.6 左房容積の測定

左心房の容積は左室拡張末期圧をよく反映する。このため、左房容積を測定することで、左室のポンプ機能を推定することができる。この方法は、特に拡張障害型の心不全の患者で、左室流入圧波形が一見正常な患者の心機能の推定に役に立つ。

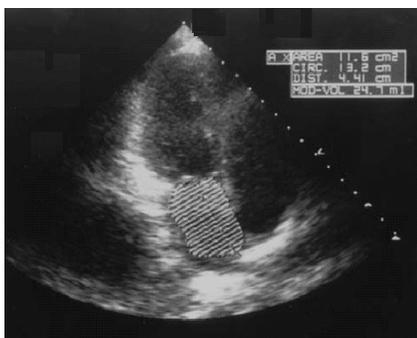


図 2.10 左房容積の測定。左室収縮末期にシンプソン法を用いて左房容積を計算している。

測定の方法

傍胸骨長軸断で測定した LAD は、実際の左室容積とはあまり関連しない。より正確な左房容積の測定は、心尖部の 4 腔断、および 2 腔断で行われる。

計測法は area-length 法によるもの、シンプソン法によるもの、測定方法も 4 腔断と 2 腔断の 2 つを平均するもの、どちらか単独で行うものなどいくつか発表されているが、左房自体は大体楕円形をしているため、どれを用いても大差はないと思う (図 2.10)。

測定のタイミングは左室の収縮時、僧帽弁が開く直前の大きさを計測する。

正常値

左房容積は、測定した値を体表面積で割った値で評価する。

Schiller らの発表では、左房容積の正常値は体表面積あたり $21\text{ml}/\text{m}^2$ と発表している。正常値の発表データもいくつかあるが、どれも大体この値^{*3}である。

左房容積と拡張障害

拡張障害の診断を、ドップラー心エコーの所見だけで決定するのは難しい。左房容積と、他の方法で測定した心拡張障害とを比較したスタディでは、

^{*3} 全部欧米人ですが...

28ml/m² 以上なら、感度 89%、特異度 86% で左室拡張障害が認められたという。

診断値を 32ml/m² 以上に引き上げた場合、特異度 100% で左室拡張障害を推定しうるが、感度は 67% に低下した。

左房容積は心筋梗塞の予後とよく相関する

弁疾患のない急性心筋梗塞の患者 321 人を検討したスタディでは、来院時の左房容積が増すにつれて、発症 2 年目での患者の死亡率は上昇^{*4}した。

特に、左房容積が 32ml/m² 以上あった患者は、それ以下の患者に比べて有意に死亡率が高かったという。

また、来院時の EF が低い患者であっても、左房容積が 32ml/m² 以下であった患者の死亡率は 27 人中 1 名であったのに対し、来院時の EF が 40% 以下で左房容積が 32ml/m² 以上あった患者は、55 人中 22 人が死亡した。

2.2 スワンガンツカテーテルの値を推定する

今までのような評価方法で、心エコーを用いた心機能の評価はかなり正確にできる。一方で、こうした心機能評価の方法はまだわかりにくく、人に説明しても分かってもらえないことも多い。

エコーを用いた心機能の評価の結果を相手に分かってもらうには、計測の結果を右心カテーテルで得られる数字に置き換える必要がある。こうした数字はルーチンの圧較差測定以外に、以下のようにして算出できる。

- 血液の流出路の直径と、時間速度積分値から心拍出量を推定できる
- pulmonary acceleration time を測定することで、平均肺動脈圧を推定できる
- 等容量拡張時間と左室血流伝播速度の値を用いることで、肺動脈楔入圧が推定できる

^{*4} 1ml あたり大体 5%。

2.2.1 流出路の直径

左室流出路を大動脈弁直前の直径で、右室流出路を肺動脈弁の直前の直径で測定する。

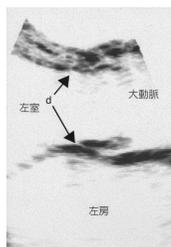


図 2.11 心拍出量をもとめるため、長軸断で左室流出路 d を測定する

この値と、ここを通過する血流速度の時間積分値から心拍出量が測定できる。

2.2.2 時間速度積分値

時間速度積分値 (TVI) は、パルスドップラーや連続ドップラー法を用いた血流速度の記録から、そのピーク値をトレースすることで測定できる。(図 2.12)

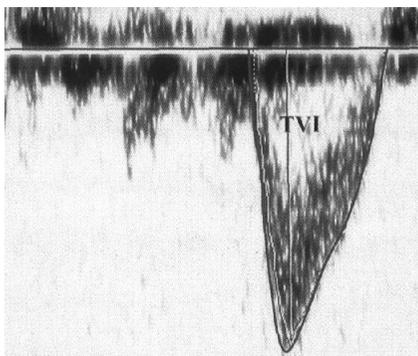


図 2.12 左室流出路 (大動脈血流) 波形のトレースで、TVI を算出できる

血流速度 (cm/sec) の時間積分なので、単位は cm となる。

この値はつまり、血流を測定した部分の血流が 1 秒間に何 cm 移動したのかを表しており、この値に流出路の断面積をかければ心拍出量が計算できる。

流出路の面積と時間速度積分値とを用いた拍出量の計算は、右室/左室の心拍出量を求める以外に、例えば僧帽弁閉鎖不全の患者で、逆流血液量を計算する用途に使ったりもする。

2.2.3 肺動脈血流

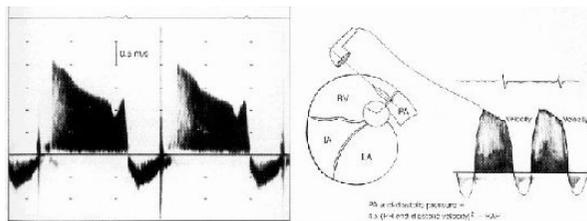


図 2.13 肺動脈血流の測定の方法。パルスドップラーを用いる。

肺動脈血流は、傍胸骨単軸で測定できる(図 2.13)。この値は、普段はあまり用いることはないが、肺動脈圧を算出する場合には、肺動脈弁逆流の速度、そして肺動脈血流速度がピークに達するまでの時間 pulmonary acceleration time(図 2.14)を使う。この値は正常で 120ms 以上であるが、肺動脈圧が高くなるにつれて短くなる (P.19 参照)。

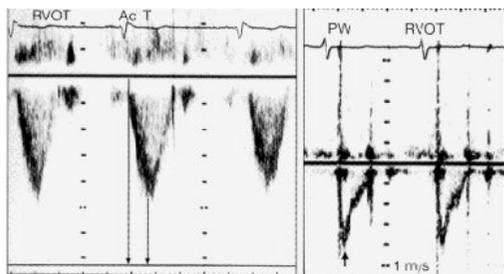


図 2.14 pulmonary acceleration time の実測。左は正常例。右はこの時間が極端に短い例で、肺高血圧。

2.3 実際の測定

2.3.1 中心静脈圧

肝静脈血流を用いた方法

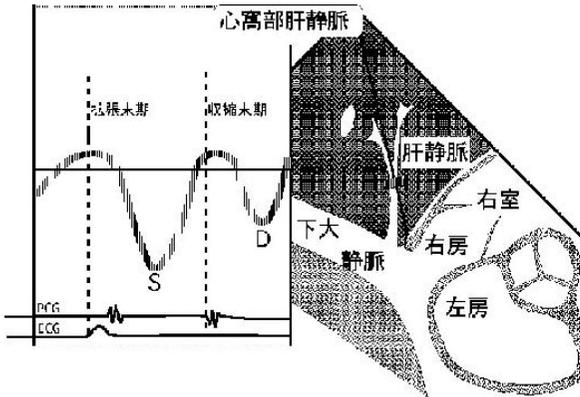


図 2.15 肝静脈血流の測定法。心窩部から、アプローチする。

肝静脈の血流は、図 2.15 のように大きく 2 つの心臓に向かう血流と、心房の収縮に伴う逆流成分とからなるが、このうち心収縮期の肝静脈血流 (S) の、時間積分値を、収縮期 (S)、拡張期 (D) の肝静脈血流の時間積分値の合計で割ったもの (Systolic filling fraction) が 55% をこえた場合、右室圧は 8mmHg 以上ある*5 (感度 86%、特異度 90%)。

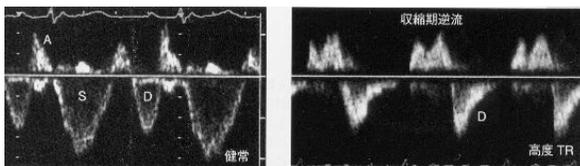


図 2.16 左は正常例、右は静脈圧増加例

この値は三尖弁閉鎖不全が重篤な場合には正確でなくなるが、単なる下大

*5 Circulation. 1996;93:1160-1169

静脈の直径を測定するよりは、正確に中心静脈圧を測定しうる。

下大静脈の直径

- 下大静脈の直径が 20mm 以上であった場合、右室圧は 10mmHg 以上ある可能性がある
- 下大静脈の直径が 25mm 以上であった場合、右室圧は 18mmHg 以上ある可能性がある

人工呼吸器の患者の場合は当てにならない。

呼吸変動

吸気時に、下大静脈の直径の減少が 50% 以下であった場合、右室圧は 8mmHg 以上ある可能性が高い(感度 72%、特異度 76%)。

2.3.2 心拍出量

左室拍出量

左室拍出量は、左室 1 回拍出量に心拍数をかけることで、計算できる。

$$CO = VTI \times \text{左室流出路面積} \times \text{心拍数}$$

具体的には、心尖部長軸断を描出し、断層心エコー図法により左室流出路(大動脈弁輪)の直径(d)(図 2.11)を求め、心尖部からのパルスドプラにより同部位の血流速度を記録する。

さらに、左室流出路血流速度の速度・時間積分値(VTI :血流速度信号の面積)を測定^{*6}する(図 2.12)。

これを用いて、

$$\text{一回拍出量} = 1/4 \times \pi d^2 \times VTI$$

と計算できる。

^{*6} パルスドプラーの波型をトレースすれば、機械が計算してくれる

右室心拍出量

左室と同じく、右心系も心拍出量を計算できる。傍胸骨単軸断で肺動脈の直径を測定し、肺動脈血流の *VTI* を測定すれば、後は左室と同じである。

$$CO = VTI \times \text{右室流出路面積} \times \text{心拍数}$$

右心系と左心系との拍出量の差は、シャント性の心疾患のシャント率を測定するときに便利である。

2.3.3 肺動脈圧

肺動脈収縮期圧

肺動脈収縮期圧は、三尖弁逆流の圧較差に右室圧を足すことで得られる。

$$PASP = \text{三尖弁圧較差} + \text{右房圧}$$

肺動脈平均圧

肺動脈血流速度がピークに達するまでの時間 *pulmonary acceleration time* を使う。この値は、正常で 120ms 以上であるが、肺血圧が上昇するとともに、短縮する。これを用い、平均肺動脈圧は下のよう計算できる*⁷。

$$\text{meanPA} = 79 - 0.45 \times \text{pulmonary acceleration time}$$

実際の測定は図 2.17 のように行うが、この図の左のケースだと左が 130msec、右が 40msec である。

この場合の計測値は、左が $79 - 0.45 \times 130$ で 20.5mmHg、右が 61mmHg となる。

2.3.4 肺動脈楔入圧

左室血流伝播速度を用いた方法

肺動脈楔入圧は、等容量拡張時間と左室血流伝播速度とを用いることで、比較的正確な評価ができる*⁸。

*⁷ Am J Cardiol 1987 Mar 1;59(6):662-8

*⁸ J Am Coll Cardiol 1999;34:515-23

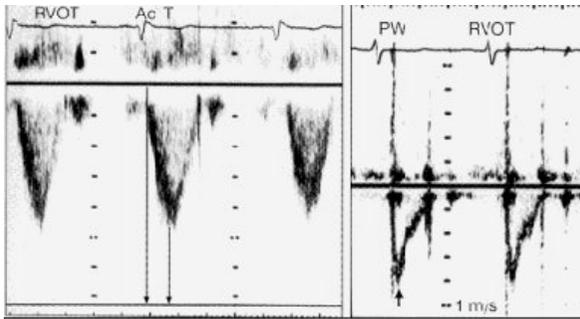


図 2.17 pulmonary acceleration time の実測。左は正常例。右はこの時間が極端に短い例で、肺高血圧。

等容量拡張時間 (IRT) は、心尖部長軸断を描出し、連続ドップラーで、左室流出路での駆出の終了から、僧帽弁での血流の流入までの時間を測定する (図 2.18) か、心電図と連続ドップラーの波形を用い、駆出の終了から流入の開始までの時間を計算するかして、求めることができる (図 2.8)。

左室拡張伝播速度は M モードカラードプラエコー図を用いて測定できる (図 2.7) が、左室のコンプライアンスが低下するほど、この値は低下する。

この 2 つの値を利用した推定肺動脈楔入圧は、以下の式になる。IVRT は msec で、FPV は cm/sec で計算する。

$$\frac{1000}{(2 \times IVRT) + FPV} \geq 5.5 \rightarrow \text{肺動脈楔入圧} \geq 18 \text{ mmHg}$$

または

$$\text{肺動脈楔入圧 (mmHg)} = \frac{4.5 \times 1000}{(2 \times IVRT) + FPV} - 9$$

図 2.18 では、実際の計測例を示しているが、上の写真が正常例、下の写真が拡張型心筋症の例である。上の写真の例では、肺動脈楔入圧は

$$\text{肺動脈楔入圧 (mmHg)} = \frac{4.5 \times 1000}{(2 \times 55) + 90} - 9$$

で 13.5mmHg、下の写真の肺動脈楔入圧は 28.8mmHg と計算できる。

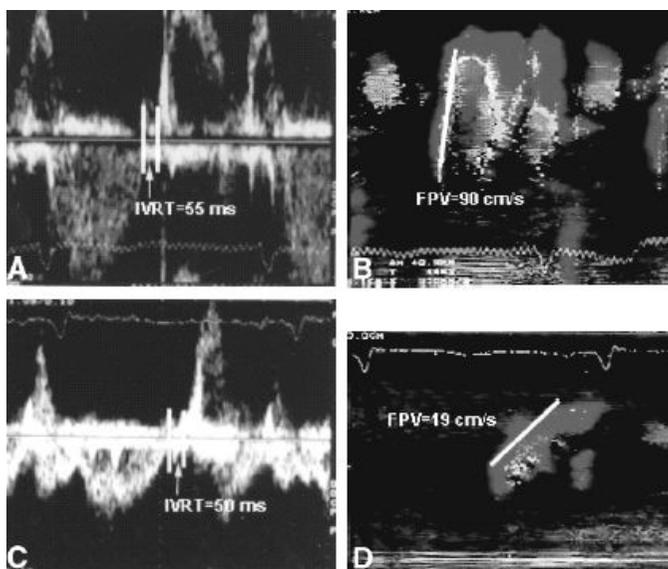


図 2.18 肺動脈楔入圧の実測。肺動脈楔入圧は上が 13.5mmHg、下が 28.8mmHg。

僧帽弁血流波形を用いた方法

心筋梗塞を生じた患者での study であるが、左室流入圧波形の E 波のピークから、血流がゼロになるまでの時間 (deceleration time) が 130 msec 以下であった場合、肺動脈楔入圧が 18mmHg 以上である可能性が高い。

この所見は、感度は 86% と高いが、特異度は低い。

肺静脈波形を用いた方法

肺静脈波形のうち、D 波の deceleration time が 160 msec 以下であった場合、感度 97%、特異度 96% で肺動脈楔入圧が 18mmHg 以上であったという。

ただ、きれいな肺動脈圧波形が取れるのが条件である。

肺静脈波形と左室流入波形の利用

肺静脈波形の A 波の持続時間が、左室流入波形の A 波の幅よりも 20msec 以上長かった場合は、95% の可能性で左室拡張末期圧が 12mmHg 以上ある。

第3章

心エコーを用いた弁疾患の重症度評価

3.1 定量的な重症度判定の意味

カラードップラーが普及してから、弁疾患の重症度評価は非常に容易になった。

一方、実際に外来をやっていると、“MRI 度”との記載があっても、それがどの程度日常生活に影響を及ぼすのか、何か手を打ったほうがいいのか、自分が患者を治療していく中で状態が良くなっているのか悪くなっているのかがはっきりしない。

特に、経過を追っていくには現在の4段階による半定量的評価(閉鎖不全の場合)では不十分であることが多く、より詳しい評価法が考えられている。

3.2 僧帽弁狭窄症

僧帽弁狭窄症については、以前から定量的な評価法が確立している。

3.2.1 プラニメトリーを用いた方法

単軸断で僧帽弁を描出し、僧帽弁が一番狭く見えるところで弁口面積を実測する。

正しい断面で評価しないと、僧帽弁の面積は過大に評価される(図 3.1)。

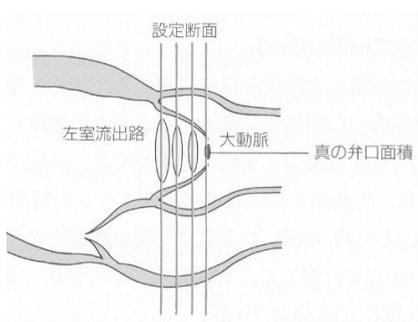


図 3.1 プラニメトリー法は誤差が多い

弁口面積が 1.5 cm^2 以上あれば、血行動態的には大きな障害はないといわれている。

3.2.2 pressure half time

pressure half time (PHT) とは、左房-左室の圧較差が $1/2$ になるまでの時間^{*1}である。

僧帽弁狭窄では、重症例ほど左室と左房の間の圧較差は高度であり、その変動は拡張期を通じて小さい。よって、拡張期の血流速度波形の傾きが緩やかなほど弁狭窄の程度は強い。

正常では 60 msec 程度。MS ではほとんど 150 msec 以上。MS が高度になるほど延長する。

僧帽弁口面積は

$$220/\text{pressure half time}(\text{msec})$$

の式から求められる。

pressure half time 法は経験的に求められた式であり、左室のコンプライアンス、後負荷、前負荷などの影響を受ける。

具体的には心拍数が増えると PHT は短縮し、弁口面積は大きく計算される、AR があると左室圧が急上昇するため PHT が短縮し、やはり弁口面積が大きくなる。MR があっても同様である。

^{*1} 実際には最大流入速度の 70% になるまでの時間

したがって、必ずしも正確な測定をしているわけではないことに注意が必要である。

3.2.3 治療の方針

大まかなフローチャートを以下に示す。

僧帽弁狭窄症患者の治療方針 —

| | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|--|
| 自覚症状はある? | | | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | MVA>1.5cm ² ? | |
| Y | | N | |
| Y | | N | |
| MVA>1.5cm ² ? | | | |

PTMC の適応

僧帽弁狭窄症に限っては、経皮的なバルーンを用いた治療も有効とされる*2。

この手技の適応としては、僧帽弁病変が比較的軽度で、前交連、後交連の癒着にあまり差がなく、さらに左房内血栓を認めない症例である。

3.3 僧帽弁閉鎖不全

僧帽弁閉鎖不全の程度には、以下のような評価方法がある。

- 左房内逆流ジェットの色シグナルの大きさによるもの
- 左室への流入量から流出量をひいて逆流量を求める方法
- vena contracta を用いた方法
- PISA 法

3.3.1 カラー Doppler での評価

僧帽弁逆流血流のジェットの長さ、面積、面積/左房面積などが挙げられているが、僧帽弁閉鎖不全の血流は流れが複雑で、平面しか描出できない心エコーでは評価に限界がある。

術者によりその見えかたも異なってくるため、これだけでは参考程度の評価しかできない。

3.3.2 心拍出量の差を利用した方法

逆流血液量を定量的に求めようとしたのが、心拍出量の差を利用した方法である。

Doppler を用いることで、左室の 1 回拍出量、1 回流入血液量を計算することができる。

これを用いて、逆流量を推定する (図 3.2)。

*2 大動脈弁でも行われるが、効果は短期間に限定される

逆流量 = 僧帽弁輪部面積 × 弁輪部 TVI - 左室流出路面積 × 流出路 TVI

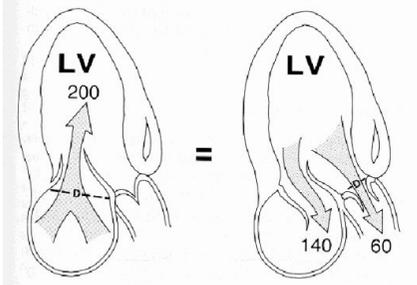


図 3.2 逆流量は 140ml、逆流率 70% の場合

この方法で計算した 1 回収縮時の逆流量が 60ml 以上あるか、逆流率が 55% 以上あった場合は高度の僧帽弁閉鎖不全と評価される。

3.3.3 vena contracta を用いた方法

僧帽弁の逆流ジェットが逆流口から出た直後の、最も狭い幅の部分を vena contracta (図 3.3) という。

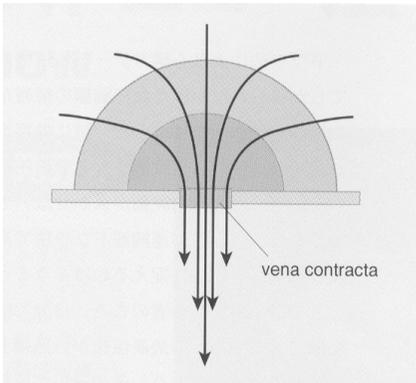


図 3.3 vena contracta

この図を実際に測定すると、P.28 のように見える。逆流性弁疾患の逆流ジェットの様子はちょうど”てるてる坊主”のようになるが、その首回りを測定する感覚になる。

この部分の幅は、逆流量とよく相関するといわれており、カラードップラーの逆流面積を測定するのと違い、心臓の解剖学的な形や、逆流の方向に影響を受けにくい。

vena contracta の幅が 5mm 以上ある場合には、重症の僧帽弁閉鎖不全と評価される。

3.3.4 PISA 法

心拍出量の差を利用した方法は、流出路の直径を計る際の誤差が大きいのが問題になる。

術者ごとの誤差がより少なく、正確な方法として PISA 法が提唱されている。

PISA 法は通過血流量が一定であるとする連続の式の原理を応用している。左室内の血液が逆流口に向かって集まるとき、流速は加速されていき、逆流口に向かって同じ流速の半球を形成する (図 3.4)。

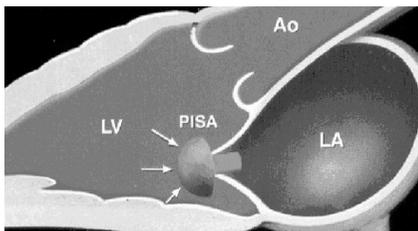


図 3.4 逆流血流は半球を形成する

カラードプラ法によるカラーの折り返し現象を用いて、半球表面の血流速度を知ることができる。

PISA 半球上の単位時間当たりの面流量は、半球表面積と折り返し速度の積で表される。

PISA 半球上の血流量は、逆流口を通過する血流量と等しいことから、PISA

の半径を $r(mm)$ として*3、この値と、僧帽弁を逆流する血液の速度を測定することで、有効逆流口面積 (ERO) を算出できる*4。

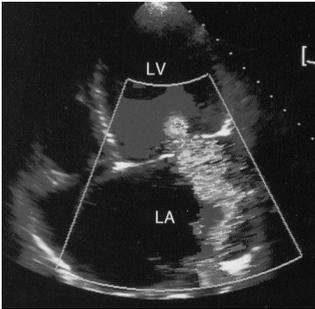
$$ERO = 2\pi r^2 \times alias\ velocity / MR\ velocity$$

$$\text{逆流量} = ERO \times MR\ TVI$$

例えば、折り返しを 40cm/sec に設定して、PISA の半径が 10mm であり、さらに僧帽弁の逆流速度が 5m/sec であった場合、

$$ERO = 2\pi 10^2 \times 40 / 500 = 50.24(mm^2) \text{ となる}$$

具体的な手順を以下に示す。



逆流シグナルが最もよく観察される断面を選ぶ。



僧帽弁の逆流部位を、拡大表示^aする。

^a 直径を測定しているように見えるが、半径である

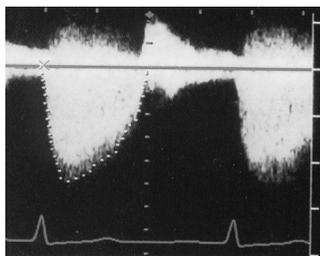
*3 球の表面積は $4\pi r^2$ 、PISA 半球の表面積は $2\pi r^2$ になる

*4 連続の式による、AS の弁口面積計算と同じ

カラードップラーのベースライン (折り返しの生じる血流速度) を 20-40cm/sec にセットする。



左室収縮中期の、PISA の半径 (mm) を測定する。



連続ドップラーを用いて、僧帽弁逆流血液の最高流速、TVI(cm/sec) を求める。

簡単にやるには、ベースラインを 40cm/sec に設定して、MR の流速を大体 5m/sec と仮定すると、 $ERO(mm^2)$ は大体、 $0.5r^2$ となる。

$ERO > 0.4cm^2$ 、あるいは逆流流量 60ml 以上のケースは重症の僧帽弁閉鎖不全である。

3.3.5 肺静脈波形

僧帽弁の閉鎖不全が重症化すると、それだけ左房圧は上昇する。

この際、左房への流入血流である肺静脈波形も影響を受ける。

逆流が増加するにつれて肺静脈波形の S 波は減高し、重症例では僧帽弁の逆流波が肺静脈内に流入する (図 3.5)。

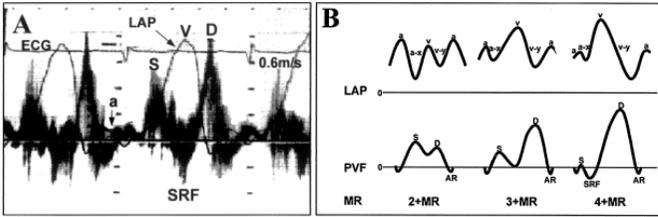


図 3.5 左図 A は重症僧帽弁閉鎖不全患者の肺静脈血流パターン。S 波の後に僧帽弁血流が流入している。右図 B は僧帽弁閉鎖不全の重症度と肺静脈血流パターンとの関係。S 波の減高、D 波の増高に続き、最終的に僧帽弁逆流血流が出現する。

3.3.6 手術の適応

フォローの方針

フォローの方針、手術の適応は以下の表のとおり。

僧帽弁閉鎖不全の治療方針

| | | | |
|-----------------|------------------|---|--|
| 患者の自覚症状の程度 | | | |
| NYHA I-II 度 | | NYHA III - IV 度 | |
| Y 左室機能正常? | | Y 弁形成術は可能? | |
| Y 心房細動/肺高血圧はある? | | N 以下のケースで手術を考慮 <ul style="list-style-type: none"> EF0.60 以下 LVDd 45mm 以上 | N EF は 0.30 以上? Y MVR を考慮 N 内科的治療を選択 |
| Y 手術を考慮 | N 1 年ごとにエコーをフォロー | | |

スコアリングによる手術の適応

重症の僧帽弁逆流があり、以下の表で点数の合計が 1.5～2 点以上の場合、手術適応になるという。

| 点数 | 心症状 | LVDs | 左室駆出率 | 収縮期 PA 圧 | Af |
|-----|-------|---------|--------|-----------|-----|
| 0 | なし | 35mm 以下 | 60% 以上 | 35mmHg 以下 | 無し |
| 0.5 | 軽度 | 35～45mm | 50～60% | 35～55mmHg | 一過性 |
| 1 | 中等度以上 | 45mm 以上 | 50% 以下 | 55mmHg 以上 | 慢性 |

3.4 大動脈弁狭窄症

大動脈弁狭窄症手術の手術適応を決定する最も大きな要因の一つは、胸痛、失神、呼吸困難など自覚症状の有無である。

しかし、大動脈弁狭窄による症状は一度出現するとその後の進行が速く、生存率は急速に低下する。

無症状の場合でも本症は進行性の疾患であり、弁口面積は $0.1 \sim 0.3 \text{cm}^2/\text{年}$ の割合で狭小化し、最大圧較差は $10 \sim 15 \text{mmHg}/\text{年}$ の割合で増加する。このため、心エコーを用いた経過観察は重要である。

3.4.1 連続ドップラー法

連続波ドプラ法で計測した最大圧較差からみた重症度の目安は、50mmHg 未満であれば軽症、50～90mmHg であれば中等症、90mmHg 以上であれば重症である。

また、この血流速度をトレースして求められる平均圧較差であれば、25mmHg 未満で軽症、25～50mmHg で中等症、50mmHg 以上で重症と判定される。

この圧較差は左室機能、AR の存在の有無によって影響を受ける。

- AR の存在があると大動脈弁通過血流が増加し、圧較差は過大評価される。
- 左室機能低下があると大動脈弁通過血流が低下し、圧較差は過小評価される。

- さらに、高度の貧血や発熱など、心拍出量が高くなる状態であれば圧較差は過大評価される傾向がある。

このように圧較差は、狭窄弁口を通過する血流量に関する情報が欠落しているため、圧較差だけで正確に評価することは困難である。

実測値との比較では、心エコーで求めた最大圧較差のほうが心カテーテル検査で求めた値よりも 20-30mmHg 程度大きくなる。

3.4.2 トレースによる弁口面積実測

一方、弁口面積による大動脈弁狭窄症の重症度評価は、心機能の低下や合併する大動脈弁逆流など他の弁膜疾患の影響を受けにくく、圧較差に比してより正確な重症度評価が可能となる。

しかし、大動脈弁の弁口面積のトレースによる実測は断面が 1~2mm ずりただけで誤差 (図 3.6) を生じ、正確な評価が難しい。

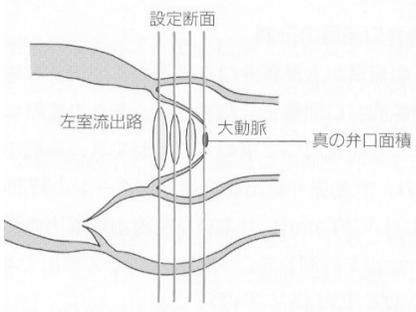


図 3.6 大動脈弁狭窄のトレース

3.4.3 連続の式による弁口面積計算

左室流出路を通過する血流量が、大動脈弁口を通過する血流量と等しいという連続の式に基づいて、機能的弁口面積を計測できる (図 3.7)。

各々の流路における血流量はパルスドプラ法と断層心エコー図を用いて求めることができる。

連続の式に基づく大動脈弁口面積 (AVA_{cm^2}) は、大動脈弁駆出血流速速度パ

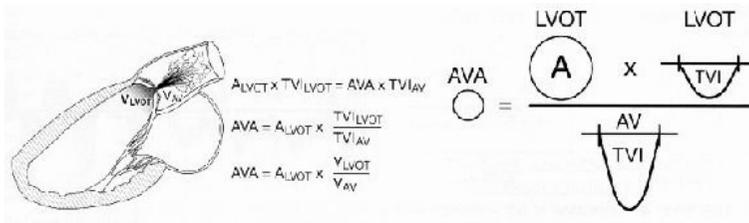


図 3.7 連続の式による弁口面積

ターンの時間積分値 (AV-TVI cm)、左室流出路断面積 (LVOT cm^2) および左室流出路駆出血流速パターンの時間積分値 (LVOT-TVI cm) を計測して、次式に代入して算出できる。

$$AVA = LVOT \times (LVOT \text{ TVI} / AV \text{ TVI})$$

3.4.4 手術の適応

最大圧較差 90mmHg 以上、平均圧較差 50mmHg 以上、弁口面積 $0.75cm^2$ 以下の場合、大動脈弁置換術の適応がある。

- 絶対適応
 1. 症候性の重症例
 2. 冠動脈バイパスを施行する重症例
 3. 大動脈弁以外の弁の手術を施行する重症例
- 相対適応
 1. 冠動脈バイパス術や、大動脈弁以外の弁の手術を施行する中等例
 2. 無症候性の重症例で以下の所見を示すもの
 - 左室収縮機能不全
 - 運動負荷に対する異常な反応 (低血圧など)
 - 心室頻拍
 - 高度の左室肥大 (IVST が 15mm 以上)
 - 弁口面積が $0.6cm^2$ 未満

3.5 大動脈弁閉鎖不全症

3.5.1 カラー Doppler を用いた評価

3.5.2 pressure half time

連続 Doppler で測定した大動脈弁閉鎖不全の pressure half time が 600msec 未満の症例は、重症の大動脈弁閉鎖不全と判定しうる。

この値が 1100msec 以上で軽症、600～1100msec で中等症、それ以下で重症である。

この所見は簡単ではあるが、以下のような問題点がある。

- 重症度が同じ AR でも急性 AR は慢性 AR に比して PHT が短い。
- 後負荷を軽減する治療を行うと大動脈の拡張期圧も同時に低下するため、PHT が短縮する。
- 左室拡張末期圧の影響を受ける。

3.5.3 vena contracta

カラー Doppler 法による逆流重症度の評価は、逆流全体の広がり方よりも、逆流ジェットの出発部直下の最も幅の狭い部分 (vena contracta) の幅で評価するほうが正確といわれている。



図 3.8 大動脈弁閉鎖不全での vena contracta

この幅が 3mm 程度であれば、加齢に伴う変性により生じた血行動態に問題のない AR と診断してよい。2 方向から見て、この幅 (図 3.8) が 6mm 以上あった場合には重症の大動脈弁閉鎖不全と判断される。

3.5.4 PISA を利用した方法

僧帽弁の場合と同じく、PISA 法を用いた大動脈弁閉鎖不全の評価も可能である。

この場合、ERO が 0.3cm^2 以上で重症の逆流と評価する。

3.5.5 手術の適応

以下の表のとおり。心機能低下、左室拡大の有無で手術の適応が決まる。

大動脈弁閉鎖不全 —

| 左室 EF、LVDd、LVDs を評価 | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|---------|
| LVDd<70、LVDs <50 | LVDd 70-75、LVDs 50-55 | LVDd>75、LVDs >55 | 左室機能が低下 |
| 年 1 回の心エコーでフォロー | 半年ごとの心エコーでフォロー | 手術を考慮 | 手術を考慮 |

大動脈弁閉鎖不全の症状の進行は早く、狭心症出現後は 4 年、心不全出現後は 2 年以内が手術の適応になるといわれている。

以下の例は、手術の適応がある。

1. 大動脈弁閉鎖不全に特有の自覚症状がある症例
2. 慢性心不全の症状がある症例
3. EF55% 以下の症例
4. 心房細動の出現した症例

一方、手術を行っても心機能の改善が期待できない症例としては、以下のようなものが挙げられる。こうなってしまう前に手術を考慮する。

1. LVDs 55mm 以上
2. EF50% 以下の症例

3. 8METs 以下の運動耐容能
4. 18 ヶ月以上続く心機能低下症例