

ドップラー断層心エコー図
法を用いた肺動脈弁閉鎖不
全の定量的評価法について:
ファロー四徴術後例の検討

Quantitative assessment
of pulmonary regurgi-
tation by two-dimen-
sional Doppler color
flow imaging: Postopera-
tive evaluation of pa-
tients with tetralogy of
Fallot

三宅 俊治
横山 達郎
砂川 晶生
篠原 徹
中村 好秀

Toshiharu MIYAKE
Tatsuo YOKOYAMA
Akio SUNAKAWA
Tohru SHINOHARA
Yoshihide NAKAMURA

Summary

Pulmonary regurgitation (PR) is a serious event following surgical repair for tetralogy of Fallot. For quantitative assessments of PR using noninvasive methods, we performed Doppler color flow imaging in 38 children, whose ages ranged from three to 15 years. All images were obtained from one to 10 years after surgery. The right ventricle and pulmonary valve were demonstrated in the parasternal short-axis view. The images of PR flow were in red and were frozen when the area of a signal was maximum (early to mid diastole). The PR distance index (PRDI), which is the maximum PR flow distance divided by square root of the body surface area, was measured. The PR area index (the maximum PR flow area/body surface area) (PRAI) was also calculated using a track ball. Cardiac catheterization was performed for 12 patients without residual L-R shunts or any apparent tricuspid regurgitation. PR was graded (0=absent, 1=trivial, 2=mild, 3=moderate, 4=severe) according to the projection of contrast medium in the right ventricle as seen on the main pulmonary arteriogram. The size of the right ventricle was expressed as the right ventricular end-diastolic volume (RVEDV; % of normal), as determined from the cineangiogram, and the tricuspid valve annulus diameter (TVD; % of normal) from a four-chamber view of the two-dimensional echocardiogram.

There were significant differences between the PRDI and the PRAI of five patients with PR of grades 1-2 and those of seven patients with PR of grade 3-4 ($p < 0.01$, $p < 0.01$, respectively). There was significant correlation between the %RVEDV and the %TVD observed ($r = 0.82$, $p < 0.01$). Signifi-

近畿大学医学部 心臓小児科
大阪狭山市大野東 377-2 (〒589)

Division of Pediatric Cardiology, Department of Car-
diovascular Surgery, Kinki University School of
Medicine, Ohno-higashi 377-2, Osaka-sayama 589

Received for publication October 3, 1988; accepted December 15, 1988 (Ref. No. 35-PS14)

cant negative correlations were observed between the PRDI and right ventricular ejection fraction (RVEF), and the PRAI and RVEF ($r = -0.68, p < 0.02$; $r = -0.82, p < 0.01$, respectively). RVEF was below normal in all seven patients (100%) with PR of grade 3 or more and in one of five patients (20%) with PR of grade 2 or less. The PRDI of 2.5 or more, or the PRAI of 4.0 or more was equivalent to a PR of grade 3 or more and was a reliable index of significant PR. The %TVD correlated weakly with the PRDI ($r = 0.63, p < 0.001$), and with the PRAI ($r = 0.59, p < 0.001$). Thus, PR was related to RVEDV and to RVEF.

Serial prospective examinations of PR using Doppler color flow imaging following surgical repair for tetralogy of Fallot provides a guideline for assessing the significant PR, the right ventricular volume and related functions.

Key words

Pulmonary regurgitation Doppler color flow imaging Tetralogy of Fallot Tricuspid valve
annulus diameter Right ventricular function

目 的

小児期の肺動脈弁閉鎖不全 (pulmonary regurgitation; PR) の原因¹⁾としては, 特発性肺動脈拡張, 先天性肺動脈弁欠損, あるいは高度の肺高血圧を伴う疾患などがあるが, いずれもまれな疾患である。しかし, ファロー四徴での右室流出路から肺動脈にかけての形成術後には, しばしば PR が問題となり, その PR の重症度評価は, ファロー四徴術後における課題の 1 つである。しかし, 現在 PR の正確な定量法がないために, 右心機能に対する PR の影響に関して意見の一致を得られていない。本論文の目的は, ドップラー断層心エコー図法を用いて PR の定量的評価を行い, PR の右心機能への影響を検討することである。

対象と方法

対象はファロー四徴術後 1 年以上を経過した 46 例 (男 24 例, 女 22 例) 中 38 例である。肺動脈弁逆流シグナルを認めない 7 例, およびドップラー断層法で十分な血流シグナルの得られなかった 1 例は対象から除外した。いずれの症例も, 術後, 遺残左右短絡は認めなかった。手術時年齢は 1 歳 4 ヶ月から 10 歳 0 ヶ月 (平均 3 歳 1 ヶ月, 標準偏差 2 歳 0 ヶ月) である。ドップラー断層法を施行した年齢は 3 歳 8 ヶ月から 15 歳 1 ヶ月 (平均 8 歳

10 ヶ月, 標準偏差 3 歳 5 ヶ月) である。術後経過年数は 1 年 0 ヶ月から 10 年 4 ヶ月 (平均 5 年 10 ヶ月, 標準偏差 2 年 9 ヶ月) である。

使用した心エコー図装置は東芝製 SSH-65A であり, ドップラー断層法は発信周波数 2.5 MHz, 繰り返し周波数 4 KHz, フィルターは High (カットオフ周波数 600 Hz) を使用した。また, 断層心エコー図法は発信周波数 5 MHz または 3.75 MHz を使用した。肺動脈弁閉鎖不全 (pulmonary regurgitation; PR) の逆流シグナルの検出には, 第 3 ないし第 4 肋間胸骨左縁から超音波ビーム方向をやや頭側へ傾斜させた短軸断面 (Fig. 1A) (1 例は内臓逆位のために胸骨右縁から行った), またはそれとほぼ直交する長軸断面 (Fig. 1B) を用いた。右室流出路から肺動脈弁および主肺動脈を描出し, 拡張期に肺動脈弁から始まり, 探触子に向かう右室流出路の赤色系モザイクシグナルを検出した。シグナルが最大となる時相, すなわち拡張早期ないし中期に, 装置のトラックボールを用いて逆流シグナルの到達距離 (pulmonary regurgitation distance; PRD, 逆流距離) および面積 (pulmonary regurgitation area; PRA, 逆流面積) を測定した。逆流距離を体表面積の平方根で除した値を肺動脈弁逆流距離指数 (pulmonary regurgitation distance index; PRDI, 逆流距離指数) とし, また PRA を体表面積で除した値を

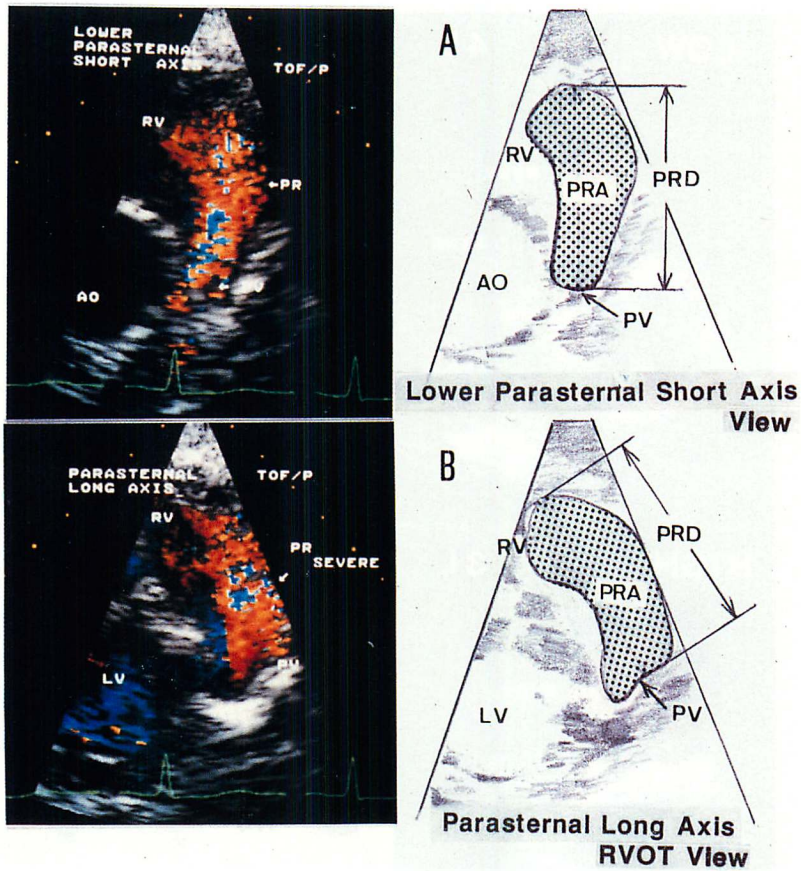


Fig. 1. Doppler color flow imagings obtained from the parasternal short-axis view (A) and the parasternal long-axis RVOT (right ventricular outflow tract) view (B).

Diastolic red velocities of pulmonary regurgitation are visualized in the right ventricular outflow tract proximal to the pulmonary valve.

AO=aorta; LV=left ventricle; PV=pulmonary valve; RPA=right pulmonary artery; PRA=pulmonary regurgitation area; PRD=pulmonary regurgitation distance; RV=right ventricle.

肺動脈弁逆流面積指数 (pulmonary regurgitation area index; PRAI, 逆流面積指数) とした. 短軸断面では, やや頭側へ超音波ビームを傾けることによって, より大きな PR の血流シグナルが得られる例があり, またやや下位肋間からの断面で, より大きなシグナルが得られる例があった (Figs. 2A, B). 断面の設定によっては, 赤色系の血流シグナルが主肺動脈から右室流出路へと連続して描出される例もあったが, 計測は肺動脈弁から行った. また断層心エコー図法を用い, 胸骨傍四腔断

面において P 波と QRS 波の間(拡張終期)で最大となる三尖弁輪径を計測し, 右室容積の非侵襲的定量的指標とした. 12 例において心臓カテーテル検査を同時に施行した. シネアンジオグラフィーから右室拡張末期容積 (right ventricular end-diastolic volume; RVEDV), 右室収縮末期容積 (right ventricular end-systolic volume; RVESV) を Simpson 法を用いて計測し, Graham の式を用いて補正し, %正常値で評価した. 更に, シネアンジオグラフィーでの肺動脈弁逆流

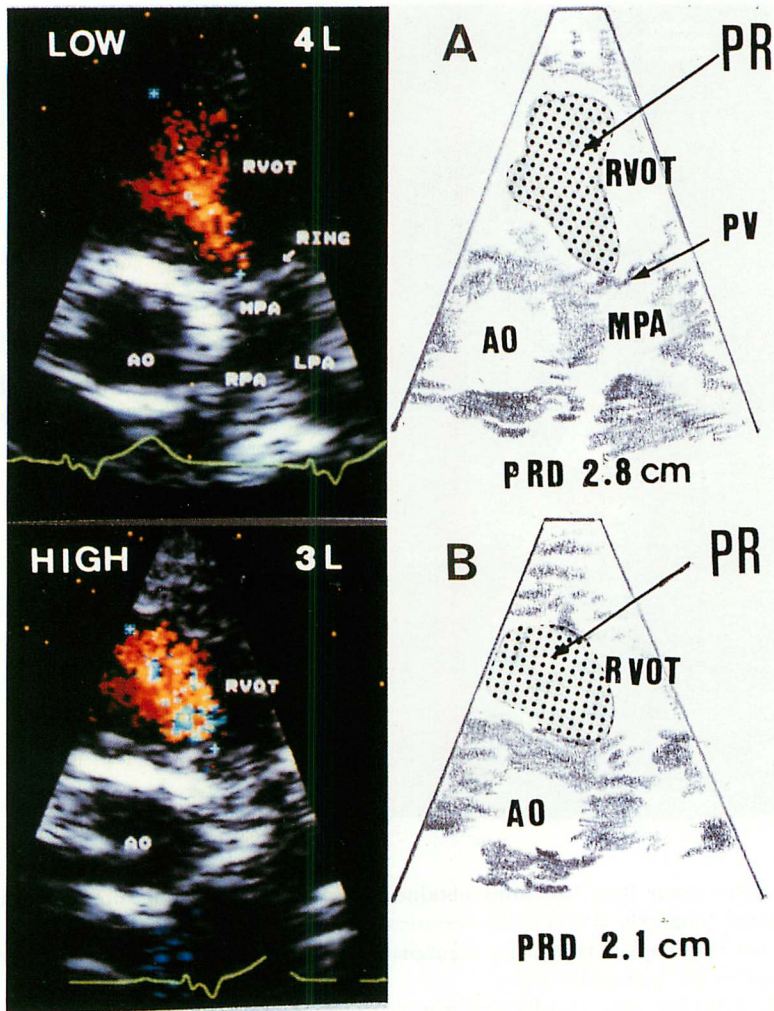


Fig. 2. The difference in the diastolic red mosaic patterns between the low parasternal short-axis view (A) and the high parasternal short-axis view (B).

The pulmonary regurgitation distance in the former is longer than in the latter.

AO=aorta; MPA=main pulmonary artery; PR=pulmonary regurgitation; PRD=pulmonary regurgitation distance; PV=pulmonary valve; RVOT=right ventricular outflow tract; 4L=the fourth left intercostal space; 3L=the third left intercostal space.

を, Sunakawa ら²⁾の方法に準じ, NIH カテーテルを用いた主肺動脈造影 (1~1.5 ml/kg を 14 ml/sec で注入した) による右室への造影剤の逆流に基づいて, 0度から4度に分類した. 0度は逆流を認めないものとし, また右室の肺動脈弁から心尖部までを4等分し, 肺動脈造影側面像での肺動脈弁

逆流による造影剤の到達距離から, 1度(軽度)から4度(重度)に分類した. 12例の右室・左室収縮期圧比は, 0.96の1例を除いては0.54以下であり, 0.46 ± 0.18 (平均±標準偏差)であった. 到達距離および面積の1~2度と3~4度の差の検定は nonpaired t-test を用いて行った.

成 績

ドップラー断層法上、38例で肺動脈弁閉鎖不全の拡張期逆流シグナルが得られた。まず短軸断面 (short axis) および長軸断面 (long axis) の両方向における逆流シグナルを計測した15例において、両方向での到達距離および面積を比較した。到達距離では $y=0.97x+0.04$ ($r=0.89$, $p<0.001$) の、また面積では $y=0.86x+0.27$ ($r=0.90$, $p<0.001$) の良い相関が得られた (Figs. 3A, B)。したがって、以後の検討は短軸断面の逆流シグナルの面積および到達距離について行った。

心臓カテテル検査を施行した12例において、肺動脈造影による右室への造影剤逆流に基づく分類と、逆流シグナルの到達距離および面積との関係では、造影剤逆流が強いほど逆流シグナルの面積は大きく、到達距離も大であり、3~4度の7例では1~2度の5例に比べ、逆流到達距離および逆流面積ともに有意に大であった ($p<0.01$ および $p<0.01$)。PRDI が1.5以下を1度、1.5~2.5を2度、2.5~3.5を3度、3.5以上を4度とした場合、シネアンジオグラフィーの肺動脈造影での1

~4度との比較では (Fig. 4A), 2つの方法間に、 $r=0.72$, $p<0.01$ の良好な相関を得た。また、PRAI についても同様に、2.0以下を1度、2.0~4.0を2度、4.0~6.0を3度、6.0以上を4度とし、肺動脈造影での1~4度と比較すると、2つの方法の間に、 $r=0.82$, $p<0.01$ の良好な相関を得た (Fig. 4B)。

シネアンジオグラフィーから求めた右室拡張末期容積 y (right ventricular end-diastolic volume; RVEDV) と三尖弁輪径 x (tricuspid valve annulus diameter TVD) との関係では、両者間に $y=19.9x^{1.67}$ ($r=0.63$, $p<0.01$) の正相関が認められた (Fig. 5)。また、RVEDV の % 正常値 (%RVEDV)³⁾ と TVD の % 正常値 (%TVD)⁴⁾ の間に $r=0.82$ ($p<0.01$) の良好な正の相関を得た (Fig. 6)。すなわち、三尖弁輪径は、ファロー四徴術後の PR などによる右室容積の拡大の指標となり得ることが明らかにされた。

左右短絡を認めず、三尖弁逆流シグナルがI度以下 (尾本の方法⁵⁾ に従い、青色系の血流シグナルが右房の中央以上に到達しない例とした) の33例で、%TVD と肺動脈弁逆流シグナルの到達距離

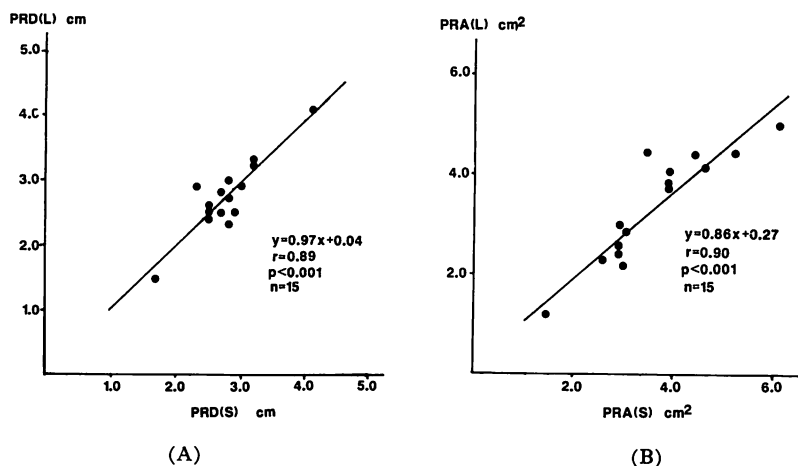


Fig. 3. Correlation of the pulmonary regurgitation distance (A) and area (B) obtained from the parasternal short-axis view with those from the parasternal long-axis view.

PRD(L)=pulmonary regurgitation distance (long axis); PRD (S)=pulmonary regurgitation distance (short axis); PRA (L)=pulmonary regurgitation area (long axis); PRA (S)=pulmonary regurgitation area (short axis).

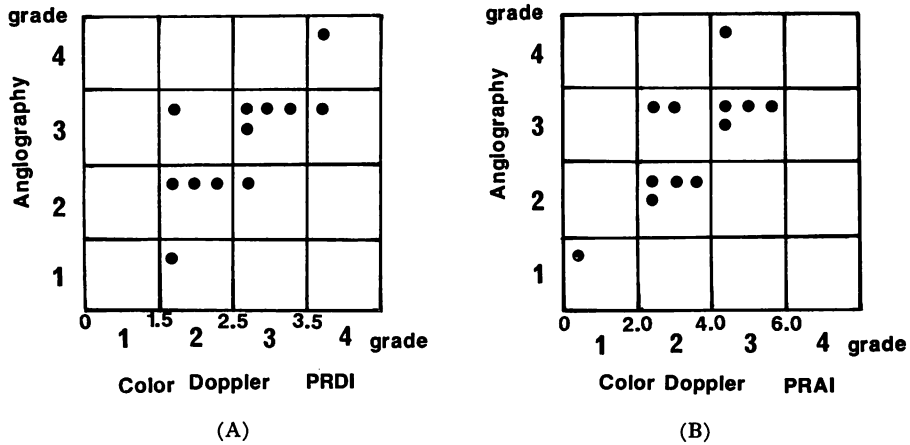


Fig. 4. Correlation between grades of the pulmonary regurgitation by color Doppler and those by main pulmonary arteriogram.

A: PRDI=pulmonary regurgitation distance index, $r=0.72$, $p<0.01$

B: PRAI=pulmonary regurgitation area index, $r=0.82$, $p<0.01$.

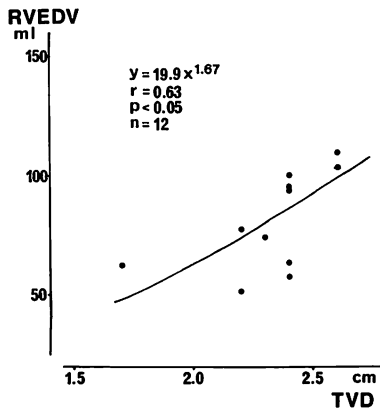


Fig. 5. Correlation between tricuspid valve annulus diameter (TVD) measured by two-dimensional echocardiogram and right ventricular end-diastolic volume (RVEDV) by cineangiogram.

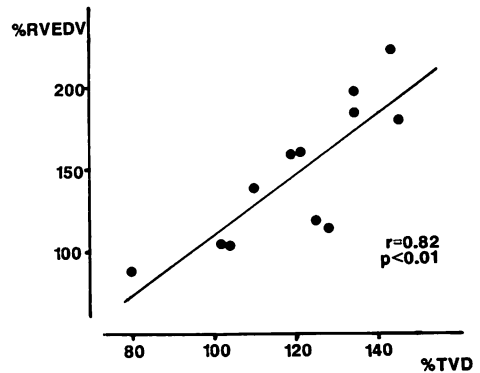


Fig. 6. Correlation between %TVD and %RVEDV.

%TVD=tricuspid valve annulus diameter (% of normal); %RVEDV=right ventricular end-diastolic volume (% of normal).

(PRDI) および面積 (PRAI) の間の関係では, 到達距離との間には $r=0.63$, $p<0.001$, 面積との間には $r=0.59$, $p<0.001$ の弱い正の相関を認めた (Figs. 7A, B). 心臓カテーテル検査を施行した 12 例の右室駆出分画と PRDI および PRAI との間には, それぞれ $r=-0.68$, $p<0.02$, および $r=$

-0.82 , $p<0.01$ の良好な相関を得た (Figs. 8A, B).

考 察

肺動脈弁閉鎖不全の侵襲的評価法としては, 従来から肺動脈造影による逆流の到達距離による半定量的分類^{2,6)}, 肺動脈内での指示薬希釈法を用い

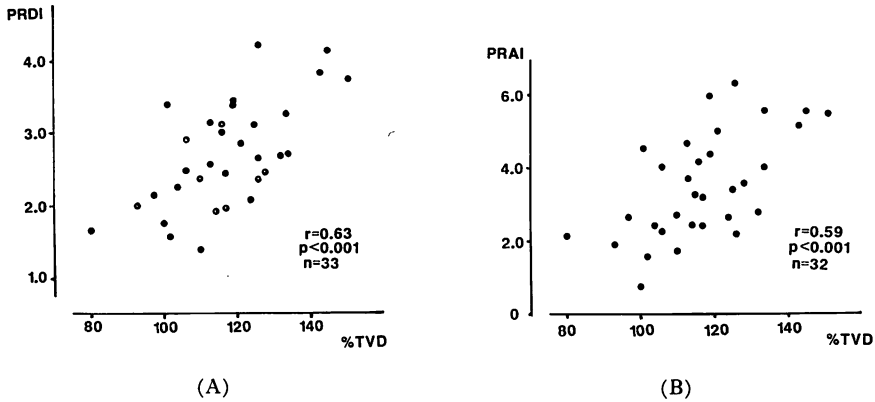


Fig. 7. Correlation between %TVD and PRDI (A), and correlation between %TVD and PRAI (B).

%TVD=tricuspid valve annulus diameter (% of normal); PRDI=pulmonary regurgitation distance index; PRAI=pulmonary regurgitation area index.

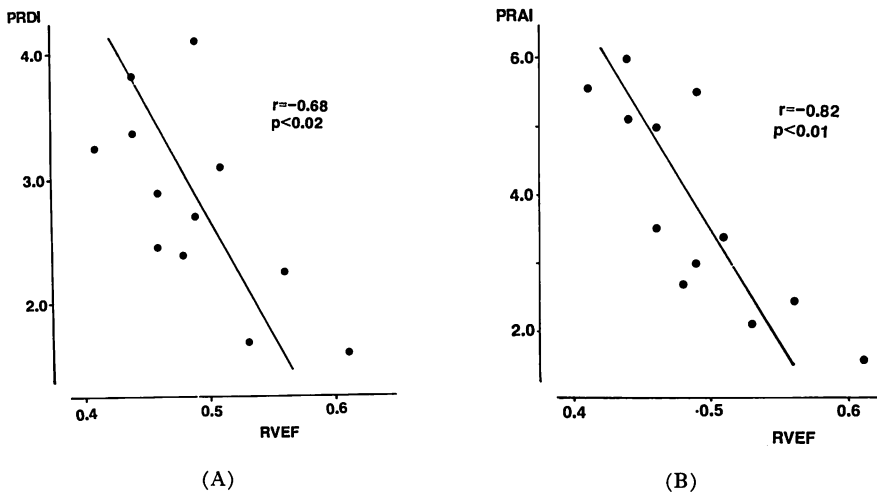


Fig. 8. Correlation between RVEF and PRDI (A), and correlation between RVEF and PRAI (B).

RVEF=right ventricular ejection fraction obtained from cineangiography; PRDI=pulmonary regurgitation distance index; PRAI=pulmonary regurgitation area index.

た定量的方法^{7,8)}, またビデオデンシトメトリー法から PR の逆流率を求める方法⁹⁾, 更にカテ先電磁流速計による定量的評価^{10,11)}も試みられている。しかるに, 電磁流速計を用いた逆流量の定量のためには, 主肺動脈内の速度プロファイル¹²⁾が平坦で, 断面の位置による流速の差が少ないこと

が必須条件とされる。しかし, 我々の知る限りではファロー四徴術後の主肺動脈内の速度プロファイルについての研究はない。

非侵襲的方法として, Goldberg ら¹³⁾は, パルス・ドップラー法と断層心エコー図法を併用し, 順方向血流量と逆方向血流量を定量し, 半月弁の

逆流率を求めている。しかし、半月弁狭窄のために 10 mmHg 以上の圧較差がある例では、サンプルボリュームを置く肺動脈内が平坦な速度プロファイルにはならないと考え、その対象から除外している。術後に肺動脈弁狭窄が残存する例が多いファロー四徴では、カテ先電磁流速計と同様に、この方法は限られた症例にのみ有用であると考えられる。また、パルス・ドップラー法を用いて右室流出路をマッピングする方法^{14~16)}もあるが手技には熟練を要し、かつ定量性には問題が多い。

一方、ドップラー断層心エコー図法を用いた PR の評価法¹⁷⁾は、パルス・ドップラー法のようにテクニックにも影響されず、容易に可視化できる点に最大の特徴を有する。また、逆流シグナルを直接計測することにより、ファロー四徴の術後にしばしば残存する肺動脈弁狭窄合併例のごとく、肺動脈内の血流プロファイルが平坦でない例でも PR を評価できる利点を有する。

ドップラー断層法の問題点としては、体格も違い、超音波減衰の面から差があると考えられる症例を対象とした点がある。しかし、今回対象とした 38 例 (3 歳~15 歳) では、1 例を除いて十分に評価することができた。したがって PRDI および PRAI は、年長例でも使用し得る指標であると考えられる。ファロー四徴術後の PR の逆流シグナルの方向は不定、かつ複雑である。そのため、右室流出路を直交する二方向から観察すれば重症度の定量的評価が可能と考えられ、この点はドップラー断層法の優れた面であると考えられる。更に、胸壁から近距離にある右室流出路をより超音波ビームに平行に位置するようにする工夫が必要であると考えられる。

ドップラー断層装置はその血流検出感度においては、装置間に差があり、また探触子によって感度が異なることにも注意すべきである。血流シグナルの到達距離あるいは面積を比較するためには、同じ探触子を用いる必要があり、幼児例でも発信周波数 2.5 MHz の探触子を用い、繰り返し周波数 4 KHz、フィルターは High (カットオフ

周波数 600 Hz) の一定の条件で行っている。到達距離および面積を二方向から計測した結果、両者とも 2 つの方向にほとんど差を認めなかったため、到達距離・面積ともに一方向での評価が可能であると思われる。しかし、2 つの方向で差を認める例もあり、直交する二方向の計測を行うことで、過大評価ないし過小評価とならないように注意すべきである。

本研究では、PR の右室容積および右心機能への影響を検討する目的で、心臓カテテル検査施行例について、右室拡張末期容積と右室駆出分画をドップラー断層法での到達距離および面積と比較した。その結果、PR が大であれば、右室容積および右心機能に対し影響を及ぼすことが明らかになった。

Oku ら⁹⁾はシネ肺動脈造影で、右室への造影剤の逆流が 3 度以上の例では右室拡張末期容積が有意に大であり、かつ右室駆出分画は低値をとっている。今回の検討においても、造影上の肺動脈弁逆流が 3~4 度であった例の PRDI および PRAI は、1~2 度の例に比較して有意に大であった。また 3~4 度の例では右室拡張末期容積は大、かつ右室駆出分画の低下が認められ、PRDI 2.5 以上、PRAI 4.0 以上を血行動態に有意な影響を及ぼす PR と評価することができた。Bove ら¹⁸⁾は、ファロー四徴術後に PR を残す場合、繰り返し右心機能の評価することが必要であるとし、また、Shaher ら¹⁹⁾は、ファロー四徴術後の重症肺動脈弁閉鎖不全に対して、右室の収縮能低下ならびに右室瘤の形成が、肺動脈弁置換による右室流出路形成の適応であると報告している。

非侵襲的に施行できるドップラー断層法は、繰り返し PR の重症度評価が行える点で有用であり、また同時に PR の右心機能への関与の程度を評価することもできる。したがってこの方法は、ファロー四徴術後などの PR の経過追跡上、有用な方法であると考えられる。

要 約

フォロー四徴術後の重大な問題点の一つである肺動脈弁閉鎖不全について、その定量的重症度評価を試みた。症例は38例(3歳から15歳)で、重症度評価にはドップラー断層心エコー図法を用いた。術後経過年数は1年から10年である。胸骨傍短軸断面で右室および肺動脈弁を観察し、肺動脈弁逆流の赤色のカラーシグナルが最大となる拡張早期ないし中期で逆流の到達距離 (PRD) および面積 (PRA) を装置(東芝製 SSH-65A)のトラックボールを用いて計測し、おのおの体表面積の平方根および体表面積で補正し、到達距離指数 (PRDI) および面積指数 (PRAI) とした。心臓カテーテル検査を施行した12例では、閉鎖不全の重症度を造影剤の逆流の拡がりを基に、0から4度に分類した。右室容積の指標としては、シネアンジオから求めた右室拡張末期容積 (RVEDV) の%正常値および断層心エコー図胸骨傍四腔断面像から求めた三尖弁輪径 (TVD) の%正常値を用いた。

PRDI および PRAI は肺動脈造影における逆流の程度を良く反映し、3~4度の7例と1~2度の5例の間には両係数に有意差 ($p < 0.01$) を認められた。%RVEDV と %TVD の間には $r = 0.82$ ($p < 0.02$)、PRDI・PRAI と右室駆出分画の間には $r = -0.68$ ($p < 0.02$)・ $r = -0.82$ ($p < 0.01$) の良好な相関を認めた。肺動脈造影で3度以上の7例では全例 RVEF が低値であり、2度以下の5例では1例のみが正常以下であった。PRDI では2.5以上、PRAI では4.0以上が肺動脈造影上の3度以上の逆流に相当し、有意の肺動脈弁閉鎖不全と考えられた。また PRDI・PRAI と %TVD の間には、 $r = 0.63$ ($p < 0.001$)・ $r = 0.59$ ($p < 0.001$) の相関を認めた。かくして肺動脈弁閉鎖不全の右室容積および右室収縮能への関与を評価できた。

ドップラー断層法を用いた定量的評価法は、フォロー四徴術後の肺動脈弁閉鎖不全の診断、経過観察、ならびに繰り返して右心機能の非侵襲的評

価を行う上に有用であった。

文 献

- 1) Freedom RM: Congenital Pulmonary Regurgitation: A textbook of heart disease in infancy and childhood (ed. by Keith JD, Rowe RD, Vlad P) Macmillan, New York, Toronto, London, 1978, pp 841-843
- 2) Sunakawa A, Shirovani H, Yokoyama T, Oku H: Factors affecting biventricular function following surgical repair of tetralogy of Fallot. Jpn Circ J 52: 401-410, 1988
- 3) 中村好秀, 砂川晶生, 篠原 徹, 横山達郎, 若木伸夫, 堀尾俊治, 佐賀俊明, 卓 弘志, 則武正三, 西岡孝純, 奥 秀喬, 河井 淳, 城谷 均: 心血管造影による小児の左右両心房および両心室の心容積の正常値およびその検討. 近大医誌 6: 193-203, 1981
- 4) 三宅俊治, 横山達郎, 砂川晶生, 篠原 徹, 中村好秀: 断層心エコー図を用いた小児の三尖弁輪径の計測: 右室容量負荷の評価. 日小循誌 4: 225-230, 1988
- 5) 尾本良三: 後天性弁膜疾患: カラーアトラスリアルタイムドップラ断層心エコー図法 (ドップラ断層の臨床)尾本良三編著, 診断と治療社, 東京, 1983, pp 57-59
- 6) Oku H, Shirovani H, Sunakawa A, Yokoyama T: Postoperative long-term results in total correction of tetralogy of Fallot: Hemodynamics and cardiac function. Ann Thorac Surg 41: 413-418, 1986
- 7) Collins NP, Braunwald E, Morrow AG: Detection of pulmonic and tricuspid regurgitation by means of indicator solutions. Circulation 20: 561-568, 1959
- 8) Bender HW, Austen G, Ebert PA, Greenfield LJ, Tsunekawa T, Morrow AG: Experimental pulmonic regurgitation: The magnitudes and acute hemodynamic effects of regurgitant flows associated with various anatomic lesions. J Thorac Cardiovasc Surg 45: 451-459, 1963
- 9) Lange PE, Onnasch DGW, Bernhard A, Heintzen PH: Left and right ventricular adaptation to right ventricular overload before and after surgical repair of tetralogy of Fallot. Am J Cardiol 50: 786-794, 1982
- 10) Rohmer J, Van der Mark F, Zijlstra WG: Pulmonary valve incompetence: II. Application of electromagnetic flow velocity catheters in children. Cardiovasc Res 10: 46-55, 1976
- 11) 半谷静雄: 肺動脈弁閉鎖不全: 血流 (菅原基晃, 松尾裕英, 梶谷文彦, 北島 頭 編著), 講談社, 東京,

- 1985, pp 199-205
- 12) Reuben SR, Swadling JP, Lee G de J: Velocity profiles in the main pulmonary artery of dogs and man, measured with a thin-film resistance anemometer. *Circ Res* **27**: 995-1001, 1970
 - 13) Goldberg SJ, Allen HD: Quantitative assessment by Doppler echocardiography of pulmonary or aortic regurgitation. *Am J Cardiol* **56**: 131-135, 1985
 - 14) Waggoner AD, Quinones MA, Young JB, Brandon TA, Shah AA, Verani MS, Miller RR: Pulsed Doppler echocardiographic detection of right-sided valve regurgitation: Experimental results and clinical significance. *Am J Cardiol* **47**: 279-286, 1981
 - 15) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Matsuhisa M, Nagata S, Beppu S, Park Y, Sakakibara H, Nimura Y: Pulmonary regurgitation studied with the ultrasonic pulsed Doppler technique. *Circulation* **65**: 969-976, 1982
 - 16) Patel AK, Rowe GG, Dhanani SP, Kosolcharoen P, Lyle LEW, Thomsen JH: Pulsed Doppler echocardiography in diagnosis of pulmonary regurgitation: Its value and limitations. *Am J Cardiol* **49**: 1801-1805, 1982
 - 17) Kobayashi J, Hirose I, Nakano S, Matsuda H, Kishimoto H, Kato H, Arisawa J, Kawashima Y: Quantitative evaluation of pulmonary regurgitation after correction of tetralogy of Fallot by two-dimensional (real time color) pulsed Doppler echocardiography. *in Pediatric Cardiology: Proceedings of the Second world congress* (ed. by Doyle EF, Engle MA, Gersony WM, Rashkind WJ, Talner NS), Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, 1986, pp 129-132
 - 18) Bove EL, Byrum CJ, Thomas D, Kavey RW, Sondheimer HM, Blackman MS, Parker FB: The influence of pulmonary insufficiency on ventricular function following repair of tetralogy of Fallot: Evaluation using radionuclide ventriculography. *J Thorac Cardiovasc Surg* **85**: 691-696, 1983
 - 19) Shafer RM, Foster E, Farina M, Spooner E, Sheikh F, Alley R: Right heart reconstruction following repair of tetralogy of Fallot. *Ann Thorac Surg* **35**: 412-426, 1983