

カテーテル型電磁流速プローブによる肺動脈弁逆流定量化の試み

Evaluation of pulmonary regurgitation with a catheter-tip electromagnetic velocity probe

山田 修
越後 茂之
新垣 義夫
谷本 猛
神谷 哲郎
内藤 泰顕*
小塚 隆弘**

Osamu YAMADA
Shigeyuki ECHIGO
Yoshio ARAKAKI
Takeshi TANIMOTO
Tetsuro KAMIYA
Yasuaki NAITO*
Takahiro KOZUKA**

Summary

Pulmonary regurgitation appeared after the surgical repair of pulmonary stenosis was investigated with an electromagnetic catheter-tip velocity probe in seven patients. Postoperative catheterization was performed by placing the probe in the pulmonary trunk transvenously and a velocity curve was recorded on a photographic recorder at a paper speed of 150 or 200 mm/sec with electrocardiograms and pulmonary arterial pressure pulse. The velocity curves were recorded under the baseline throughout diastole in patients with pulmonary regurgitation, while the curves in the normal controls were just on the baseline. The amount of regurgitation was evaluated with the ratio of the negative to positive area of velocity curves. The negative area (NA) was defined as an area circumscribed by the diastolic negative velocity curve and the baseline, and the positive area (PA) as an area circumscribed by the systolic positive curve and the baseline. The amount of the regurgitation was also evaluated from either the pulmonary cineangiogram or the volume measurement using the right arteriogram. The results were as follows:

1. The severity of pulmonary regurgitation estimated by the pulmonary arteriogram (grade I to III) tended to be correlated with the ratio of the NA/PA.
2. Right ventricular end-diastolic volume index (RVEDVI) and the NA/PA showed a fair correlation with a coefficient of 0.80. Right ventricular volume overload resulting from pulmonary regurgitation was reflected on the NA/PA.
3. The subtraction of right and left ventricular systolic ejection indices (RVSI-LVSI) or its ratio (RVSI-LVSI)/RVSI, which were considered as the indices of the severity of pulmonary regurgitation from the volume measurement, had fairly good a correlation with the NA/PA. Their correlation

国立循環器病センター 小児科
*同 外科
**同 放射線科
吹田市藤白台 5-125 (〒565)

Departments of Pediatrics, *Surgery and **Radiology,
National Cardiovascular Center, Fujishirodai 5-125,
Suita 565

Presented at the 23rd Meeting of the Cardiography Society held in Kurume, October 8-10, 1981
Received for publication February 23, 1983

coefficients with the NA/PA were 0.80 and 0.79, respectively.

4. However, the NA/PA was always greater than (RVSI-LVSI)/RVSI. This was partly resulted from the difference of the pulmonary arterial diameters in systole and diastole.

We conclude that catheter-tip velocimetry may be used to estimate the severity of pulmonary regurgitation.

Key words

Pulmonary regurgitation

Catheter-tip velocity probe

Right ventricular volume

はじめに

肺動脈逆流量の評価には肺動脈造影法¹⁾, 肺動脈圧解析法, 色素希釈法²⁾などが用いられてきたが, 臨床的にその定量化は行うことには困難な点があった. ファロー四徴の修復術後には, 流出路形成の結果, あるいは肺動脈弁自体の異形成により, 肺動脈逆流がしばしば合併し³⁾, これによる右室容量負荷が術後右心不全の一因になると考えられている⁴⁾. 我々はカテ先プローブを使用し^{5,6)}, 電磁流速計によるこれらの肺動脈弁閉鎖不全の定量化を試みるため, 以下の検討を加えた.

方 法

使用装置はカテーテル型流速圧力トランスデューサー (Millar 製 VPC-663A), および流速計 (Narcomatic RT-505) である. カテーテル先端を肺動脈主幹部に留置し, 同部位の血流速度を, 心電図, 肺動脈圧曲線と, 毎秒 150 または 200 mm の紙送り速度で同時記録した. また, 可能なものでは同時に, 不可能なものでは短時間のうちに右房造影を行い, 左右両室の容積計測に用いた. 造影は正側 2 方向シネアンジオを毎秒 90 コマの速度で撮影, 容積計測は積分法で行い, Graham の式で補正した^{7,8)}.

正常対照群流速曲線の 1 例を Fig. 1 に示す. 心電図 R 波とおおよそ同時相に心房収縮伝搬を表わすと考えられる小さな山があり, それに続いて右室の駆出による大きな山が立ち上がり, 収縮中期より徐々に下降, *dicrotic notch* と同時に小さな谷をつくっている. 心室拡張期の流速曲線は

基線とほぼ一致する⁵⁾.

これに対し肺動脈逆流例では, 流速曲線はやはり心房収縮による小さな山を形づくり, 続いて大きく上昇する. しかし, その下降は逆流のない例に比し急峻であり, また肺動脈圧波の *dicrotic notch* は明瞭でない. かかる流速曲線は大動脈圧波の *notch* と同時相で負となり, 以後, 拡張期ほぼ全時相にわたって負の相を示す (Fig. 2).

電磁流速計により得られた起電力から肺動脈血流速の絶対値を算出することには若干の困難があったので, 本研究では前方駆出と逆流の比を検索するにとどめた. その方法として, 基線より上方の流速曲線と基線が囲む面積を正領域 (positive area: PA) と名づけて前方駆出量の指標とし, 一方, 基線より下方の曲線が基線と囲む面積を負領域 (negative area: NA) と名付けて逆流量の指標とした. また, 正の最大速度を *peak positive velocity* (*peak PV*), 負の最大速度を *peak negative velocity* (*peak NV*) とし, これらも前方駆出, 逆流の指標と考えた.

また, 一方肺動脈断面積が心時相とともに変化することが予想され, 単純に NA/PA もしくは *peak NV/peak PV* をとったのでは逆流量と前方駆出量の比を反映しないのではないかと考えられたので, 右房注入造影により, 肺動脈主幹部径の変化を側面上から観察した. 造影上の逆流程度として, *grade I* は右室流出路だけが造影されるもの, *grade II* は右室体部も軽度に造影されるが *wash out* の良好なもの, *grade III* は右室全体に造影剤が充満するものとした.

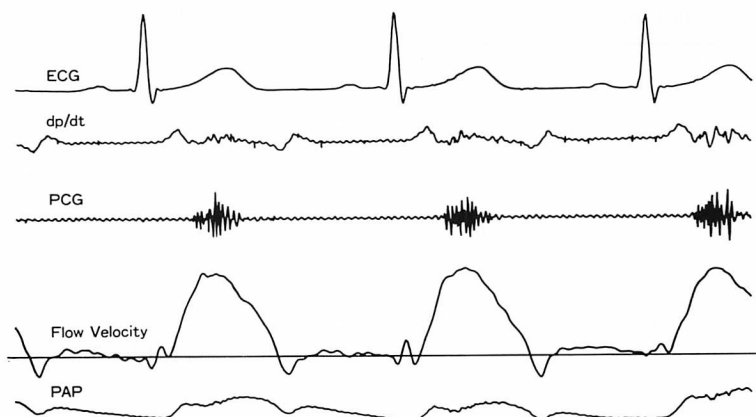


Fig. 1. Blood flow velocity and pressure in the pulmonary trunk in a normal control.
 Pulmonary arterial blood flow velocity curve is recorded nearly on the baseline in diastole.
 PAP=pulmonary arterial pressure pulse.

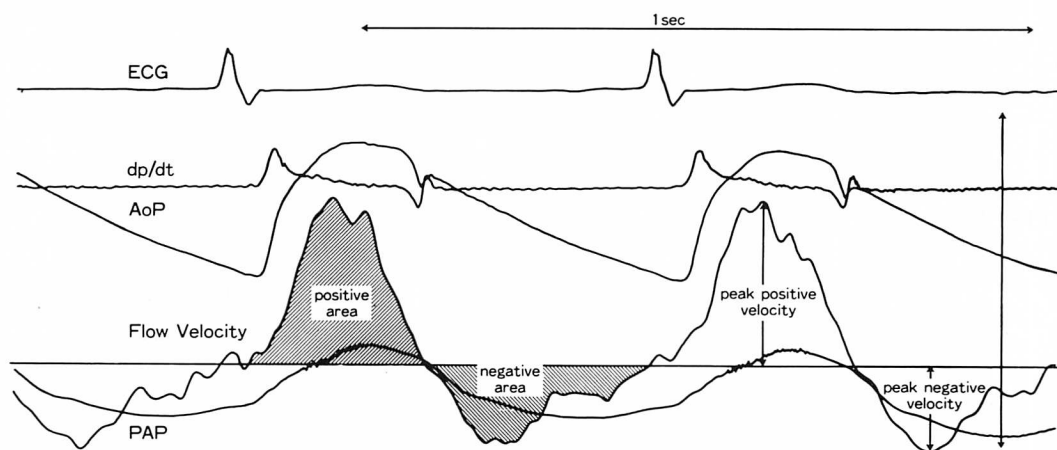


Fig. 2. Pulmonary arterial blood flow velocity recording in a patient with pulmonary regurgitation.

In contrast to the normal control, pulmonary arterial flow velocity curve is recorded below the baseline throughout diastole.

AoP=aortic pressure pulse.

対 象

術後ファロー四徴5例, 心房中隔欠損兼肺動脈狭窄術後の肺動脈逆流1例, および稜上型心室中隔欠損の術後に伴う肺動脈逆流1例を対象とした (Table 1). いずれも検索時には肺動脈狭窄は除去されており, 右室・肺動脈間には有意の収縮解

圧差はない. ファロー四徴の5例中4例に Rygg の弁つきパッチを使用した右室流出路形成を行っており, 残りの1例には弁なしパッチを使用している. 心房中隔欠損に肺動脈狭窄を合併した例では弁切開術を施行し, 心室中隔欠損合併例では弁切開術にパッチによる流出路形成を加えている. 検索時には全例, 術後6ヵ月以上の例である.

Table 1. Subjects with pulmonary regurgitation

Case	Cause	Age	BSA (m ²)	NA/PA	peakNV/peakPV
1	Y.C. TF p.o.	2y3m	0.53	0.44	0.56
2	S.K. TF p.o.	2y4m	0.54	0.40	0.59
3	Y.N. TF p.o.	5y4m	0.79	0.47	0.61
4	O.D. TF p.o.	8y4m	0.85	0.80	1.35
5	Y.H. TF p.o.	14y	1.63	0.24	0.24
6	O.E. ASD p.o.	7y4m	0.77	0.25	0.42
7	S.H. VSD p.o.	13y	1.44	0.63	0.57

p.o.=post operative regurgitation.

なお, 肺動脈逆流を有しない対照群として, 川崎病既往の3例を用いた.

成 績

流速曲線の実例として, **Fig. 3** に症例2の計測結果を示す. この症例は臨床的には中等度の逆流を有する例と考えられ, 心不全徴候は認められなかった.

症例4は大きな逆流を伴うファロー四徴術後例で (**Fig. 4**), 胸部 X 線上の心拡大, 肝腫, 運動能の低下を有し, 強心剤を必要とした例である. 駆出の上昇勾配が緩やかであるのに対し, 下降は急峻であった.

症例7では (**Fig. 5**) peak NV の時相がファロー四徴術後の各例に比べて遅れており, 肺動脈弁および弁下組織の性状による逆流様式の差を反映していると考えられる結果を得た.

肺動脈径を造影法により観察した結果では, 全例で収縮期径が拡張期径を上回っていた. 収縮期では駆出早期に最大径となり, その最大点は peak PV よりも早く, 肺動脈圧の peak dp/dt におおよそ一致していた. 拡張期における径変化は僅かであった (**Table 2**).

NA/PA はファロー四徴術後例では 0.24~0.80 (平均 0.41), 心房中隔欠損術合併例では 0.25, 心室中隔欠損術後例で 0.63 であった. Peak NV/peak PV はそれぞれ, 0.24~1.35 (平均 0.66), 0.42, 0.57 であった. これに対し, 正常対照群での NA/PA は 0.02~0.04 であり, その NA は無視しうる程度のものであった. Peak NV/peak PV は 0.18~0.26 であったが, peak NV は肺動脈圧波の dicrotic notch に一致し, 逆流例とは時相が異なっていた.

NA/PA と peak NV/peak PV との関係を見ると, $r^2=0.776$ と良好な相関を示し, 両者は類似の指標と考えられた (**Fig. 6**).

肺動脈造影による逆流の評価と NA/PA とを

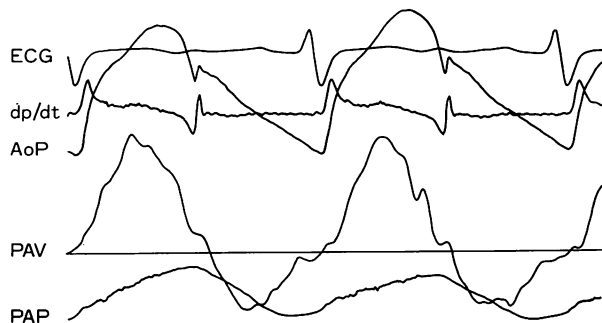


Fig. 3. Pulmonary arterial blood flow velocity recording in a patient with moderate pulmonary regurgitation after the surgical correction of tetralogy of Fallot (Case 2).

PAV=pulmonary arterial blood flow velocity.

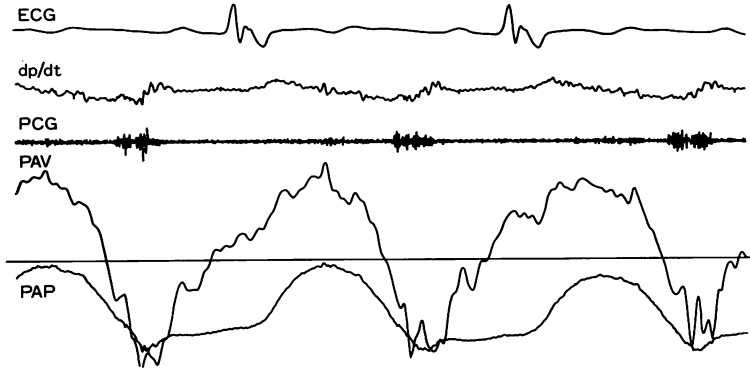


Fig. 4. Pulmonary arterial blood flow velocity in a patient with severe pulmonary regurgitation after the surgical correction of tetralogy of Fallot (Case 4).

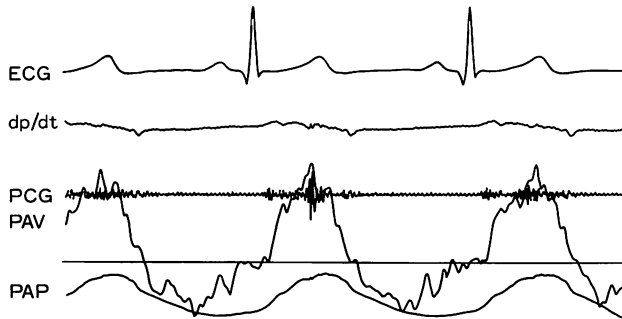


Fig. 5. Pulmonary arterial blood flow velocity in a patient with moderate pulmonary regurgitation following the closure of ventricular septal defect (Case 7).

Table 2. Changes in the diameter of the pulmonary artery in seven patients.

Case No.	Systole (cm)	Diastole (cm)
1	2.5~2.8	2.4~2.5
2	2.3~2.5	2.3~2.3
3	1.6~2.3	1.5~1.6
4	1.6~1.8	1.6~1.7
5	1.7~2.2	1.6~1.7
6	1.6~2.4	1.6~1.7
7	2.9~3.7	2.8~3.1

比較した結果, NA/PA の小さなものほど造影による grade も軽度であったが, 各グループ間にかなりの重なりがあった (Fig. 7).

右室拡張期末容積係数 (RVEDVI) と NA/PA との比較では, $r^2=0.636$ とかなり良い相関を示した. 1例を除き RVEDVI は我々の正常値より大であった (Fig. 8).

右室駆出係数 (RVSI) より左室駆出係数 (LVSI) を引いたものを容積計測上の逆流量とし, これと NA/PA との相関をみると, $r^2=0.644$ と良好な

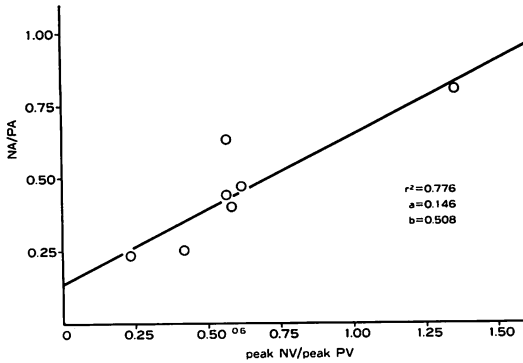


Fig. 6. Correlation between the NA/PA and peak NV/peak PV.

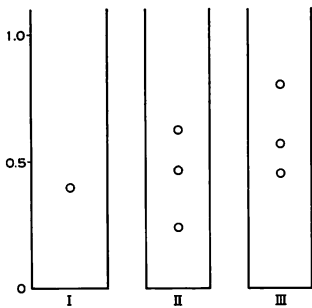


Fig. 7. Comparison of severity (I to III) of pulmonary regurgitation from pulmonary cine-angiogram with values of NA/PA.

Grade I: opacification region of only the right ventricular outflow tract.

Grade II: opacification of the body of the right ventricle, but with a rapid washout.

Grade III: opacification the entire right ventricle with delay of washout.

相関関係があった (Fig. 9).

RVSI-LVSI を RVSI で除した値を逆流量と前方駆出量の比とし, これと NA/PA との関係を見ると, 相関係数は $r^2=0.618$ で, RVSI で補正しない場合と差がなかった (Fig. 10).

考 按

肺動脈逆流は大半が肺高血圧による二次的な現

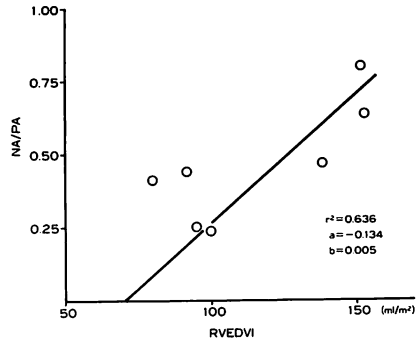


Fig. 8. Correlation between RVEDVI and the NA/PA.

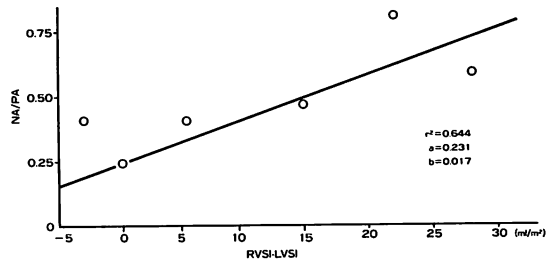


Fig. 9. Correlation between (RVSI-LVSI) and the NA/PA.

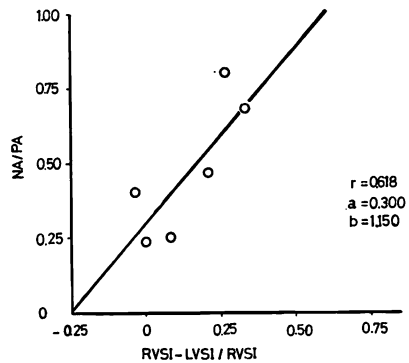


Fig. 10. Correlation between (RVSI-LVSI)/RVSI and the NA/PA.

象であり, 肺動脈弁自体の器質的变化による場合も, 単独病変として存在することはまれである. そのため, 逆流量を分離して評価することは困難であり, また重要視されてもいなかった. しかし

ながら、ファロー四徴の修復手術後には肺動脈逆流がまれでなく、かつ右心不全の因子になるものと考えられている。

我々が今回試みたカテ先電磁流速プローブによる逆流の評価は、肺動脈造影法と同じく、カテテルによる肺動脈弁の閉鎖障害という短所はあるものの、造影剤注入による artifact を除外でき、また数値化が簡単であるという2点において肺動脈造影法に勝っている。

造影法による容積計測からの逆流量算出は、側副循環血流量が微量であれば、理論上は最も精密な評価法と考えられる。しかし一回拍出量が必ずしも一定しないこと、左右各室の造影に時間差ができること、右室収縮末期容積の精度に問題があることなど、この方法にはいくつかの難点がある。しかしながら、今回示したように、右室容量負荷を示す RVEDVI、逆流量を表わす RVSI-LVSI、逆流量前方駆出量比を表わす (RVSI-LVSI)/RVSI の3者がいずれも NA/PA と良好に相関したことは、逆に造影法による右室容積計測にある程度の信頼性があることを示しているともいえる。

NA/PA は全例において (RVSI-LVSI)/RVSI より大きな値を示しているが、これは肺動脈断面像の変化を考慮にいれていないためと考えられる。前述のごとく、最大収縮期径は最小拡張期径の 1.13~1.50 倍におよび、このため NA/PA は実際の逆流量前方駆出量比よりかなり大きな値となっていると思われる。

要 約

カテ先電磁流速プローブを用い、7例の肺動脈逆流例を検索した。対象はいずれも肺動脈狭窄を修復した後に逆流が出現したもので、ファロー四徴、心房中隔欠損および心室中隔欠損の術後に合併した肺動脈弁逆流である。プローブは経静脈的に肺動脈主幹部に留置し、その部の流速曲線を心電図、肺動脈圧と同時記録した。

流速曲線は正常対照群では拡張期に基線とほぼ

一致するのに対し、逆流群では拡張期全相にわたり基線の下方向にあった。この流速曲線における拡張期に負の値をとる部分と基線とによって囲まれる領域を負領域 (NA) と名づけ、また収縮期の正の値をとる部分と基線とによって囲まれる領域を正領域 (PA) とし、両者の面積比 (NA/PA) を逆流量の指標と考えた。同時に肺動脈造影による grading, 右房造影による左右両室の容積計測を行い、これと NA/PA とを比較した。

1. 肺動脈造影による逆流評価が軽度であるほど NA/PA が小さい傾向にあった。
2. RVEDVI と NA/PA は $r^2=0.636$ で良好な相関を示し、NA/PA は逆流による右室容量負荷をある程度反映するものと考えられた。
3. RVSI-LVSI および (RVSI-LVSI)/RVSI はいずれも容積計測上の逆流の指標と考えられるが、この両者は NA/PA と良い相関係数を示した ($r^2=0.644$, $r^2=0.618$)。しかし NA/PA のほうが逆流を過大に評価する傾向にあった。
4. この過大評価の一因は、収縮期と拡張期との肺動脈径の差にあると思われた。

カテ先流速プローブによる検索は肺動脈逆流の検索上、有用な方法であると考えられた。

文 献

- 1) Grossman W: Pulmonary stenosis and regurgitation. *in* Cardiac Catheterization and Angiography. 1980, p 323
- 2) Collins NP, Braunwald E, Morrow AG: Detection of pulmonic and tricuspid valvular regurgitation by means of indicator solutions. *Circulation* 20: 561, 1959
- 3) Kaplan S, Helmsworth JA, Mekinivan CE: The fate of reconstruction of the right ventricular outflow tract. *J Thor Cardiovasc Surg* 66: 361, 1973
- 4) 内藤泰顕: Fallot 四徴症根治手術に関する研究——手術方法の指針と成績向上のための対策. *日胸外会誌* 20: 131, 1972
- 5) Gabe IT, Gault JH, Ross J Jr, Mason DT, Mills CJ, Shillingford JP, Braunwald E: Measurement of instantaneous blood flow velocity and pressure in conscious men with a catheter-tip

山田, 越後, 新垣, ほか

velocity probe. *Circulation* **40**: 603, 1969

- 6) 中野博行, 斉藤彰博, 上田 憲: カテーテル先端電磁流速プローブによる小児期心疾患の血行動態検討. *呼吸と循環* **26**: 1211, 1978
- 7) Graham TP Jr, Jarmakani JMM, Canent RV Jr, Morrow MN: Left heart volume estimation in infancy and childhood: Re-evaluation of methodology and normal values. *Circulation* **43**: 895, 1971
- 8) Graham TP Jr, Jarmakani JMM, Atwood GF, Canent RV Jr: Right ventricular volume determination in children: Normal values and observations with volume or pressure overload. *Circulation* **47**: 144, 1973