

ファロー四徴の心機図

Mechanocardiographic
assessment of tetralogy
of Fallot

砂川 博史
福重淳一郎
田崎 考
本田 恵
平田 経雄*

Hiroshi SUNAGAWA
Junichiro FUKUSHIGE
Hakaru TASAKI
Sunao HONDA
Tsuneo HIRATA*

Summary

In previous studies, we reported the availability of the mechanocardiogram (MCG) in understanding hemodynamic changes in ASD and VSD in childhood. In this study, we applied this technique to the study of tetralogy of Fallot.

Seventeen patients aged from 8 months to 5 years old were studied. They were diagnosed as tetralogy of Fallot based on the cardiac catheterization and angiocardiography. In 5 cases, the tip of catheter could not be inserted into main pulmonary artery (incompletely studied cases), and other 3 showed the increase in pulmonary flow. The data from remaining 9 cases (completely studied cases, and these were used for the correlation analysis between systolic time intervals (STIs).

STIs were obtained from simultaneous recording of EKG, PCG and carotid pulse wave. The chart speed was 100mm/sec. ET, I-II, Q-II and preceding R-R interval were the average of serial 5 measurements, and PEP, ICT, Q-I and HR (heart rate) were calculated from those values. ET and Q-II were corrected according to the regression equations derived from our validity study:

$$ET = -1.02 \text{ HR} + 348.8, \quad ETI = ET + 1.02 \text{ HR} (=348.8 \pm 7.7 \text{ msec})$$

$$Q-II = -0.96 \text{ HR} + 409.7, \quad Q-IIi = Q-II + 0.96 \text{ HR} (=409.7 \pm 13.0 \text{ msec})$$

Table 1 gives the average values of each STIs including 1 SD of all 17 patients comparing to normal values as well as statistical estimate. Namely, Q-II interval: normal, ET: shortened ($p < 0.01$), Q-I interval: elongated ($p < 0.05$), ICT: elongated ($p < 0.01$), ETI/PEP: decreased ($p < 0.01$).

In hemodynamic analysis, Q-I interval and PEP were well correlated with Qp/Qs, Qp and SaO₂. ICT also showed mild negative correlation with SaO₂.

Left ventricular volume in 9 cases were calculated by Simpson's method from bidirectional LA angiograms. But no significant differences were recognized between the disease and the normal as to EDV, ESV, SV and EF.

On the other hand, echocardiographic (UCG) findings showed the significant decrease in dimensions of LA and LVDD, and the increase in diameter of the aortic root (1.3 times to normal). The size of the aortic root were well correlated with SaO₂ ($r = 0.517$) and with Qp/Qs ($r = 0.682$, $p < 0.01$).

The first heart sound in this disease might be considered as tricuspid component since the simultaneous tracing of UCG and PCG revealed synchronous occurrence of tricuspid closure and the first heart sound. Mitral closure was usually seen prior to the first heart sound at the corresponding timing.

九州大学医学部 小児科
* 同 中央放射線部
福岡市東区馬出3-1-1 (〒812)

Department of Pediatrics, *Central Radiology, Kyushu
University School of Medicine, Maidashi 3-1-1,
Higashi-ku, Fukuoka, 812

The proportional change in Q-I interval to Qp/Qs was discussed as follows: some amount of blood should be supplied from RV via tricuspid valve so as to fill the relatively vacant LV which could not be filled adequately solely by decreased pulmonary flow. The more excessive blood flow running into RV throughout diastole would keep the tricuspid valve open widely until the next systole begins, and make the closure of the valve later.

The prolonged ICT was considered to be caused as a result of reduced contractility of the heart muscle caused by abnormal oxygen supply and abnormal structure.

Finally, discussion was made on the probability to use the MCG in various congenital heart diseases as a tool to evaluate the hemodynamic state.

Key words

- tetralogy of Fallot
- systolic time intervals (STI)
- first heart sound
- Q-I (Q-first heart sound) interval

はじめに

先天性心臓病 (CHD) は, 大部分小児の疾患であり, かつその血行動態は各例様々で複雑を極める.

これら複雑な心臓病を理解するために, 今まではもっぱら心臓カテーテル (以下心カテ) が行われて来たが, 観血的方法は容易には行い難く, 従って優れた非観血的方法の出現が強く望まれていた. こういった情勢のもとに, 超音波法が最近長足の進歩をみているのは, 本研究会の変遷に明白である. 一方, 小児の先天心疾患に対する心機図法の応用は, その解釈の困難さも加わって, ほとんど行われていないのが実情であった.

私たちは, 本法をすでに CHD にも適用し, 心室中隔欠損¹⁾ と心房中隔欠損²⁾ について心機図上

の特徴を発表して来たが, 本法が血行動態をよく反映することを知り, 本法が CHD の血行動態の評価上有用な方法であると考えに至った. そこで, 今回はフェロー四徴 (tetralogy of Fallot, T/F) について左室収縮時間, systolic time intervals (STI) の検討を行い, 得られた所見を血行動態と対比して解析し, 若干の知見を得たので報告する.

対象および方法

対象は月齢 8 カ月より 6 歳未満の小児で, 九大病院小児科で心カテ, 心血管造影 (アンジオ) および一部手術により診断を確定した 17 例の典型的 T/F である. そのうち肺動脈の採血が行われ, 完全な血行動態評価ができたのは 12 例であり, うち 3 例の肺血流量増加例 (Table 6) を除き, 9 例 (completely studied cases) を以下に述べる血行動態上の解析に使用した (Table 2).

心機図は, 心カテ検査入院時のもので, 心音図, 心電図, 頸動脈圧波の同時記録によった. 脈波ピックアップはフクダ電子製 TY-303, 心音マイクは Elema-Schönander 製 EMT-25C, 心電図の記録は同社製 Mingograf-81 を使用し, 紙送り速度 100 mm/sec で記録した.

以上の記録より R-R, Q-IIa, I-IIa, ET を連続する 5 拍について測定し, 平均値を求め測定値と

Table 1. Mechanocardiographic estimations of systolic time intervals in tetralogy of Fallot

	PEP	ETI	ICT	Q-I	Q-IIi	ETI/PEP
T/F	88.8	326.4	40.2	49.7	410.9	3.80
1 SD	15.6	11.9	13.2	6.0	12.7	0.73
Control	66.3	348.8	22.1	44.3	410.0	5.63
1 SD	3.8	7.5	5.0	5.0	13.0	0.15
	**	**	**	*	n.s.	**

(*: p<0.05, **: p<0.01)

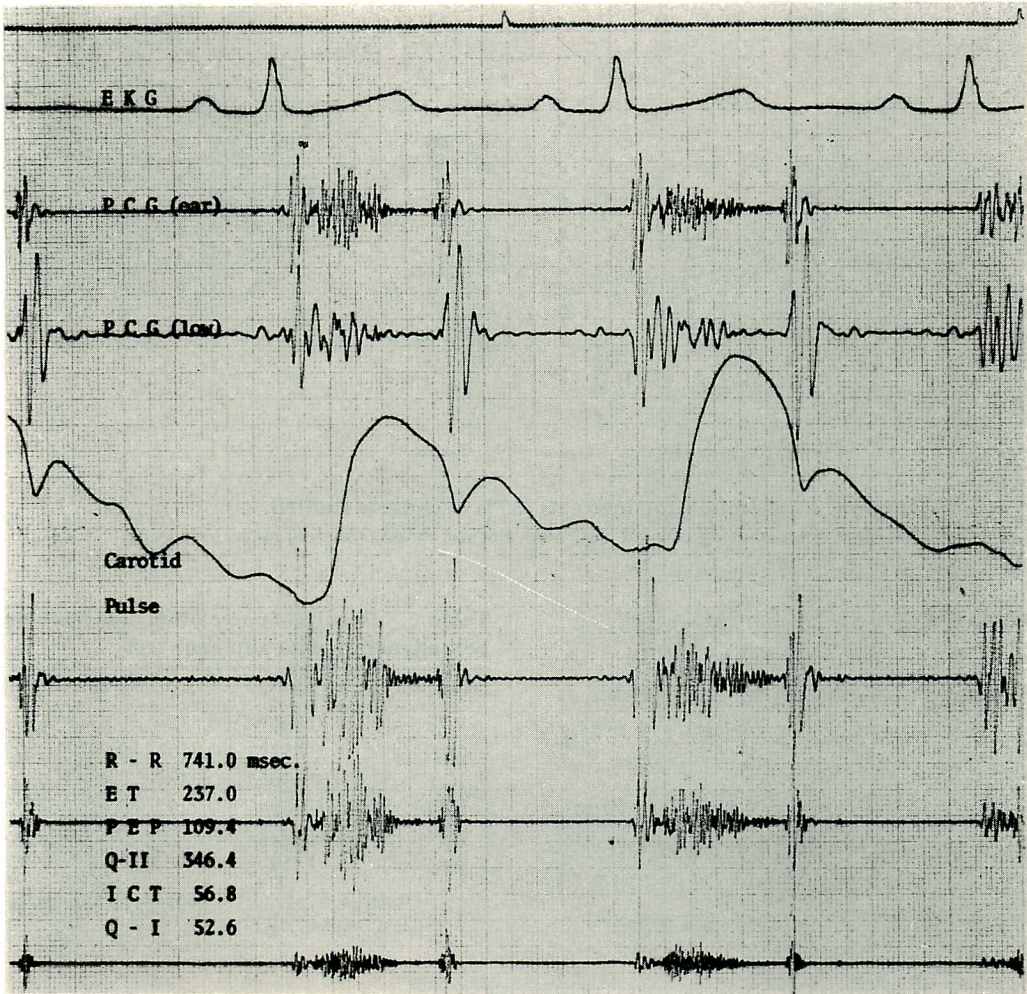


Figure 1. An example of original tracing of mechanocardiogram in tetralogy of Fallot. Note the shortened ET, and elongated PEP, Q-I as well as ICT.

した。これらより、PEP, Q-I, ICT, HR (心拍数) を計算で求めた。

Table 2. Average values of hemodynamic estimation of 9 completely studied cases

	Qp/Qs	Qp L/min/M ²	Qp/beat ml
Mean	0.63	3.4	31.6
1 SD	0.13	0.8	8.3

脈拍数に影響される ET と Q-IIa については、健常同年令群について著者らが求めた回帰式 $ET = -1.02 HR + 384.8$ ($r=0.933, p<0.01$) $Q-IIa = -0.96 HR + 409.7$ ($r=0.887, p<0.01$) より各 index, $ETI = 1.02 HR + ET$ (351.1 ± 7.7 msec), $Q-IIi = 0.96 HR + Q-II$ (409.7 ± 13.0 msec) を求め補正し、他の STI は著者らの正常範囲と直接対比した。

血行動態は Fick 法により、酸素消費量は当施

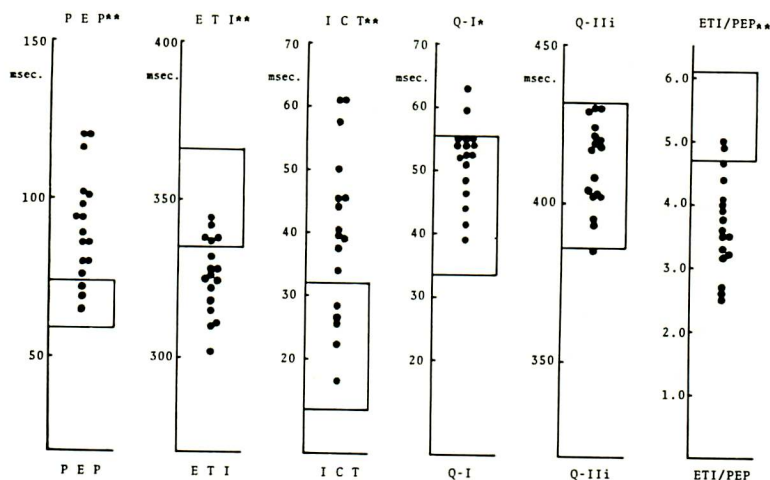


Figure 2. Systolic time intervals (STI) of patients studied.

Note the deviation of each STI from normal range (squarely surrounded area).

設カテ時実測値平均 234 ml/min/M² を使用した。

心エコー図は, Aloka 製 SSD-63 を使用し, 各 dimension は共同研究者の福重が求めた健常者の体表面積に対する回帰式をもとに補正し, 相対値 (%) で示した。

心カテ時, 左房造影の行えた9例について Simpson 法により左室容積の測定を行い, 拡張終期容量 (EDV), 収縮終期容量 (ESV), 1 回拍出量 (SV) および駆出分画 (EF) を求め, 体表面積当りで示した。

結 果

Figure 1 に典型例を示す。

本症患者の STI を Figure 2 および Table 1 に示す。Figure 2 に示すかこみは正常値 ± 2 SD を示す。PEP, ICT, Q-I の延長がみられるが, ET は短縮し, ETI/PEP は低値を示した。Q-II は全例正常範囲であった。

Qp/Qs (pulmonic-systemic flow ratio) との関係を検討したところ (Figure 3), Q-I, ICT, PEP に有意の負相関を認めしたが, ET については相関を認めなかった (Table 4)。

Qp と各 STI の関係についてみると, PEP と

Table 3. Results of correlation analysis between hemodynamic data and each STI

	Qp/Qs	QpI	SaO ₂	SI
PEP	0.806**	0.532	0.674**	0.520
Q-I	0.852**	0.716*	0.792**	0.550
ICT	0.630	0.337	0.488	0.362
ETI	0.369	0.229	0.435	0.317
ETI/PEP	0.693*	0.477	0.668*	0.279
Ao†	0.619	—	—	—

†: Dimension of aortic root detected by UCG.

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

Q-I に有意の相関がみられるのみであった (Figure 4, Table 4)。

Qs と各 STI の関係については, Qp の場合と同様, Q-I, PEP に正相関を認めたが推計学的には有意ではなかった (Table 4)。

UCG 上の所見では, Table 5 に示すように, LA (左房径) と LVDd (左室拡張期径) は減少し, Ao (大動脈基部径) は拡大していることが示され, いずれも推計学的に有意と判定された。これら各 dimension と STI の相互関係を検討したが, Ao と PEP, Q-I にわずかの正相関を認めるのみで, 推定学的には有意ではなかった。しかし,

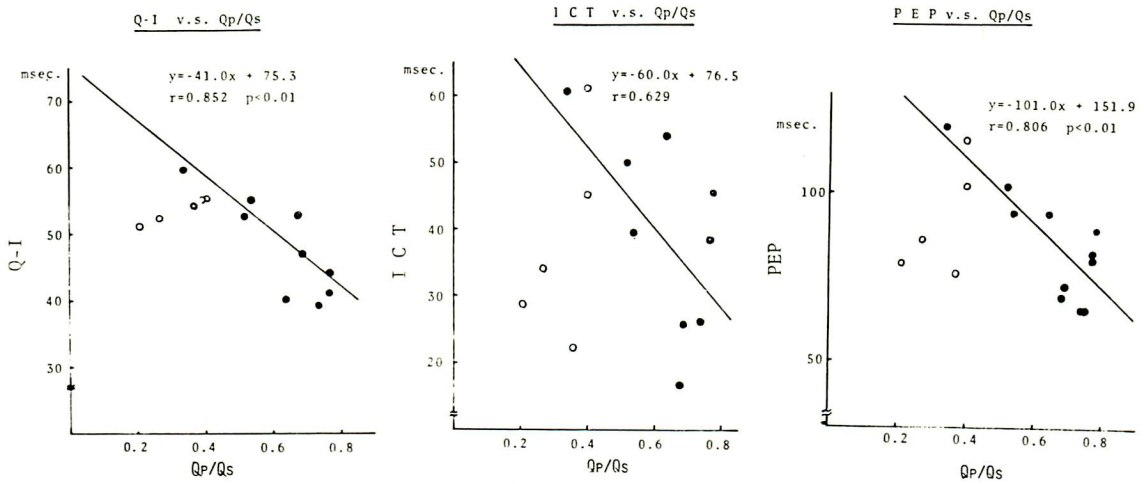


Figure 3. Correlation between Qp/Qs and each systolic time intervals.

a) Q-I interval vs Qp/Qs, b) PEP vs Qp/Qs. Note the high grade correlation of the two STI with Qp/Qs.
 c) ICT vs Qp/Qs. ●: completely studied cases, ○: incompletely studied cases.

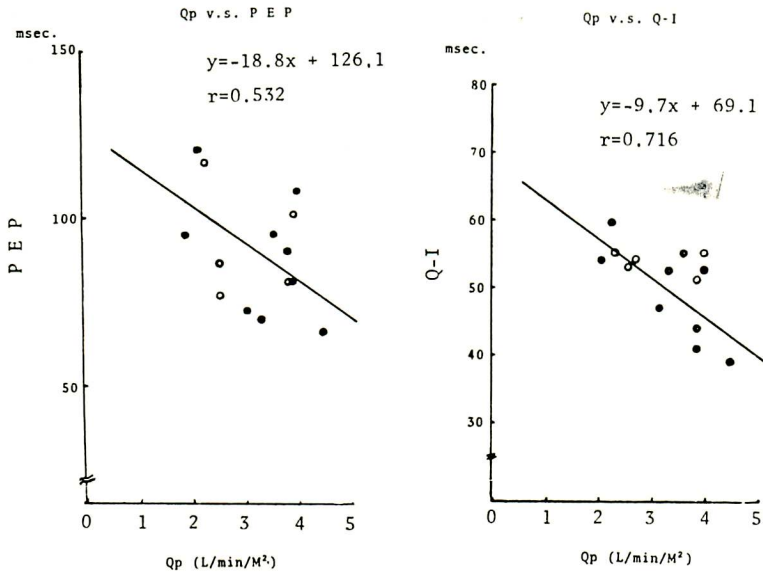


Figure 4. Correlations between Qp and PEP, and Qp and Q-I interval.

●: completely studied cases, ○: incompletely studied cases.

Ao と Qp/Qs とは正の相関を示した (Table 4). LA dimension は VSD 等の左右短絡群では、肺血流量と相関するといわれているが、³⁾本症の LA dimension については Qp/Qs や Qp と有意の相関を認めなかった。

左房造影により得られた左室の形態は、長軸の水平化と時計方向への回転が特徴的であった。左室の各相での容積およびそれより求められる各指標は Table 5 に示すように、いずれの数値も正常者と有意差を認めなかった。

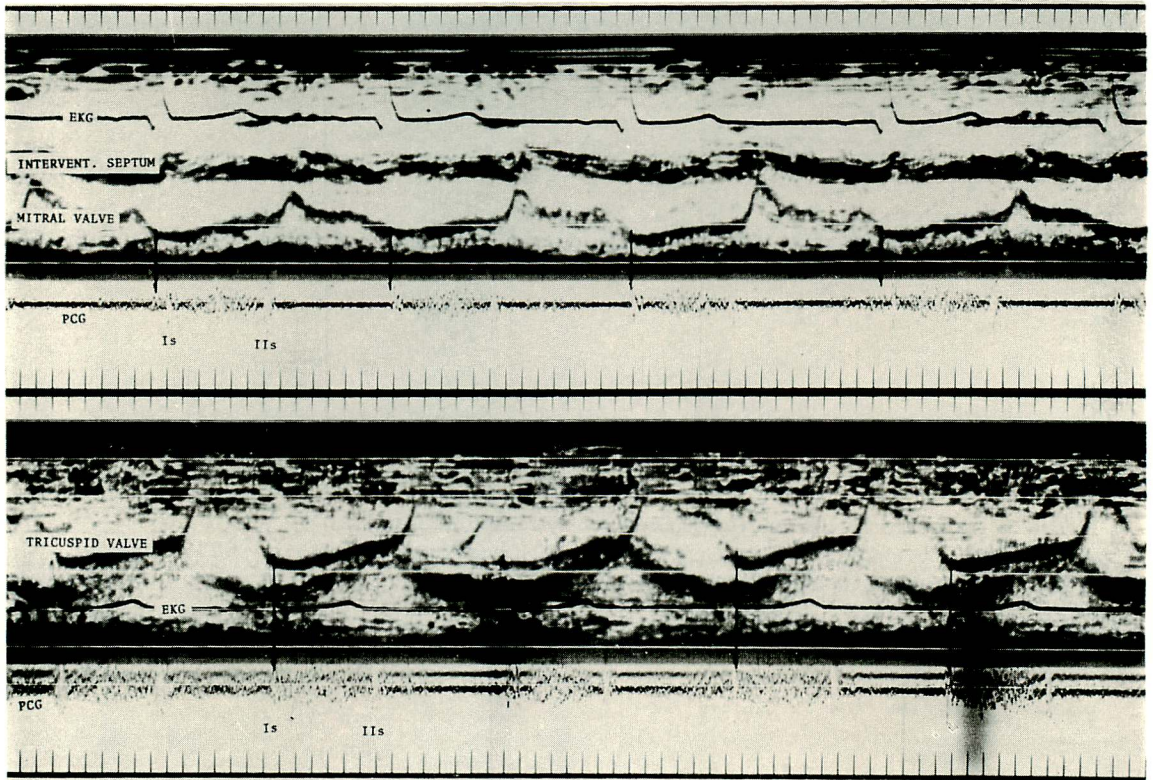


Figure 5. Simultaneous tracing of UCG and PCG.

Note the early closure of the mitral valve without corresponding heart sound (above), and synchronous occurrence of tricuspid valve closure and of the first heart sound. Well deflected tricuspid valve is widely opened just prior to abrupt closure (below).

Table 4. UCG assessments of cardiac dimensions

	LADs %	LVDd %	Ao %
Control*	100.0	100.0	100.0
1 SD	9.7	8.0	8.0
T/F	91.6	71.4	130.7
1 SD	17.9	15.0	15.1
	**	**	**

LADs: left atrial dimension at systolic phase, LVDd: left ventricular dimension at diastolic phase, Ao: dimension of the aortic root.

*: derived from normal value after Fukushige.

**: statistically significant, $p < 0.01$.

Table 5. Angiocardiographic estimation of LV size and performance

	LVEDI ml/M ²	LVESI ml/M ²	SI ml/M ²	EF %
T/F	64.7	22.4	42.4	65.2
1 SD	7.2	5.3	7.7	7.3
Control*	59.0	19.0	40.0	68.0

LVEDI: LV end-diastolic volume index, LVESI: LV end-systolic volume index, SI: stroke index, EF: ejection fraction.

*: Fisher EA, Dubrow IW, Mastaeiter AR: Amer J Cardiol 36: 67, 1975

その他, Qp/Qs は SaO_2 と $r=0.880$ ($p<0.01$) の相関を示し, その回帰式は $y=0.022 SaO_2-1.23$ であった.

考 案

各 STI は一般的には次のように解釈されている. すなわち, Q-I は electro-mechanical delay に相当し, ほとんど変化をうけない成分, ICT は心筋収縮性の指標として, ET は stroke volume の変化を反映する成分としてそれぞれ見做されている. しかし本症における STI は, 正常心と同じやり方では解釈出来ない. 以下, 各 STI について順次検討していきたい.

ET は結果に示したように明らかな短縮を見た. しかし血行動態との相関はほとんどみられない. ET は心不全や after load の低下, preload の減少などのある場合短縮するが, 本症における短縮については, これらに相当する明らかな要因は考えにくい.

さて, 本症では大動脈が太いことはよく知られており, 私たちの心エコー図による計測でも, **Table 4** に示したごとく, 平均値で正常者の 1.3 倍にもおよぶ. 本法による計測は Francis らの検討したごとく,⁴⁾ 手術の際の実測値とよく一致することが知られている. しかもこの径が Qp/Qs と負相関を示したことは, 大循環系に駆出される血液量と関係があることを示唆するものと思われる. このことは, VSD における PA の拡大や, PDA における大動脈の拡大がよく見られることから支持される. 本症では原則として, 右室⁵⁾ も左室⁶⁾⁷⁾ も, ともに正常心と同じ容積をもち, EF, SV とともに正常とされており, 私たちの結果もよく一致する.

さらに, 本症における VSD と大動脈, 両心室の相互の解剖学的関係より, 収縮期には両心室は等圧となる. 従って残りが大循環系へ駆出される Qp/Qs の割で小循環に駆出されることになる. 私たちの症例の平均 $Qp/Qs=0.63$ をあてはめると, 大循環系へは正常者の 1.25 倍の血液が駆出され

ることになる. Ao の径は 1.3 倍あり, 面積は 1.7 倍になる. もし健常者と同じ速さで駆出されるとすれば 74% の時間で完了し, 駆出時間は 26% 短縮するが, 実際は ET は 10% 短縮しているにすぎない. この差は駆出速度をはじめ, 血液の粘性, PA への圧抜け, さらに後に考案する本症における心筋の収縮性などの要因が関与していると考えられる.

Q-I は延長していた. そして Qp/Qs , Qp との負相関が明らかであった. この変化を解釈する際の最大の問題は, 本症の I 音がはたして正常心のように僧帽弁の閉鎖機転に一致するかという点にある. そこで, 心エコー図により, 両房室弁と心音図の比較を行ったところ, **Figure 5** に示すように, I 音は三尖弁の閉鎖に一致し, 僧帽弁は多くの場合 I 音に先立って閉鎖し, 心音の発生を伴わないことが明らかとなった. 従って本症の Q-I は, Q-It である可能性が強い.

一方, 本症では肺血流量が減少しているのが特徴であり, 心エコー図の左房径が小さいのは, その反映だと考えられる. 今回著者らが検討した症例の肺血流量 (**Table 2**) は, 平均 3.4 L/min/M² であった. また 1 拍当りの肺血流量の平均は 31.6 ml/M² であった. ところが, 著者らが求めた左室の SV の平均は, 42.4 ml/M² であるので, 1 拍当りの左房からの供給量は左室 SV の 75% にしかすぎない. これは Qp/Qs に計算すると 0.6 に相当し, 実際の症例の平均 0.63 とよく一致する.

以上より考えるに, 左房からの供給で不足した分は, VSD を経て右室 (右房) より補充されることになる (多分この血流が僧帽弁を早期に閉鎖位にもってゆく 1 因?). 従って三尖弁を通過する血流は増加する. **Figure 5** をみると, 三尖弁は閉鎖直前まで広く開いている. つまり心室内圧が上昇をはじめてから三尖弁が閉鎖するまでの時間, Q-It が延長する. このような機序の想定は, ASD において, Im のみならず It が遅れることから妥当と思われる.⁸⁾ この考えを進めると, Qp が増加すると左室を満たす左房からの血液量

Table 6. Systolic time intervals of acyanotic tetralogy of Fallot

	ETI	PEP	Q-I	ICT	ETI/PEP	Qp/Qs	Qp	SaO ₂
	msec	msec	msec	msec			L/min/M ²	%
MK	315.4	120.4	62.8	57.6	2.62	0.9	9.2	92.1
MT	343.6	86.2	48.6	37.6	3.99	1.0	7.0	92.0
TS	332.0	94.2	53.8	40.4	3.52	1.5	11.3	92.4

が増し, その分三尖弁の流量は減少し, Q-Ir の延長の度合も軽くなると考えられる. 以上のような機序で, Qp/Qs や Qp と Q-I が相関すると考えられる.

ICT は厳密には本症には存在しない.⁹⁾ この時期には, すでに肺動脈に向い, 少量ながら駆血が始まっているからである. よって圧波の立ち上がりは緩くなり, いわゆる ICT が延長すると考えられそうであるが, Qp/Qs が大きく, 成績に示したように SaO₂ が高い例, すなわち一方では PA への圧抜けが大きい例でむしろ ICT が正常化する傾向がみられること, さらに圧抜けのない T/F 極型や総動脈管遺残 IV 型などでも ICT が延長していることなどから, ICT の延長は圧抜けが原因とは考えられない. 本症では慢性的な酸素供給不足があり, 同時に代謝性 acidosis がしばしばみられるので, 心筋の収縮性に問題がありそうである. ちなみに, 当科で経験した例の右室内圧の max dp/dt は 1300 mmHg/sec で, 正常下限であった. その他比較的よくみられる高ヘマトリット血症の関与も考慮せざるを得ない.

PEP は延長し, しかも Q-I とほぼ同じ態度を示した. すでに結果に見たように, Q-I は ICT とともに本症では延長する. よって両者の和たる PEP は延長するわけで, これ以上の意味はない.

本症の STI の特徴は Table 1 に示したごとくであるが, 今回の血行動態解析から除外した肺血流量増加例 3 例の STI も同様の pattern をとっており, acyanotic T/F の診断の際, 補助手段となり得ると考えられた (Table 6).

要 約

8 カ月から 6 歳未満の T/F 17 例の STI (頸動脈波より) を求めた. その結果, Q-II 正常, ET 短縮, PEP 延長 (Q-I 軽度延長, ICT 延長) を認めた.

Qp/Qs や Qp とは PEP, Q-I が良好な負相関を, また ICT は SaO₂ が低くなるほど延長する傾向がみられた.

心エコー図での dimension では, 左房, 左室は減少し, Ao は増大していた. この増大の割は Qp/Qs と逆相関する傾向にあった.

左房造影により測定した 9 例での左室 EDV, E SV, SV, EF はともに正常であった.

心音図上の I 音は, 心エコー図で三尖弁の閉鎖に一致した.

以上のことより, STI の変化が, 本症における特異な短絡の発生と関連していることについて考案した.

文 献

- 1) 砂川博史, 他: 乳幼児期心室中隔欠損の心機図所見について. 第 11 回小児循環器研究会, 1975.7 (福岡)
- 2) 砂川博史, 他: 先天性心臓病の心機図について. その 2. 心房中隔欠損. 第 39 回日本循環器学会九州地方会. 1975, 12 (熊本)
- 3) 平田経雄, 他: UCG による右室流出路徑, 大動脈径, 左房径 (RAL) の計測. Jap Circulat J 37 (Suppl): 87, 1973
- 4) Francis GS, Hagen J, Oury J, O'Rourke RA: Accuracy of echocardiography for assessing aortic root diameter. Brit Heart J 37: 376, 1975
- 5) Fisher EA, DuBrow IW, Hastreiter AR: Right

- ventricular volume in congenital heart disease.
Amer J Cardiol **36**: 67, 1975
- 6) Nadas AS, Fyler D: Pediatric Cardiology.
Saunders Co, Philadelphia, 1972
- 7) Lev M, Eckner FAO: The pathologic anatomy of
tetralogy of Fallot and its variations. Dis Chest
45: 251, 1964
- 8) Weider W, Craige E: First heart sound and ejection
sound. Amer J Cardiol **35**: 346, 1975
- 9) 中野博行, 他: Fallot 四徴症の左室. 呼吸と循環 **23**
339, 1975