

小児期心疾患における右室
圧負荷の非侵襲的評価：タ
リウム心筋イメージによる
定量的評価法

Non-invasive evaluation
of right ventricular pres-
sure in children with
heart diseases: Quanti-
tative assessment by thal-
lium myocardial imaging

水戸守寿洋*
小野 安生
木幡 達
藤野 宣之
神谷 哲郎
西村 恒彦**
小塚 隆弘**

Toshihiro MITOMORI*
Yasuo ONO
Tohru KOHATA
Nobuyuki FUJINO
Tetsuro KAMIYA
Tsunehiko NISHIMURA**
Takahiro KOZUKA**

Summary

201-thallium myocardial imaging studies were performed to evaluate systolic pressures in the right ventricle of 194 patients. These patients were classified to four groups. Group A (95 cases) consists of 77 patients with congenital cardiac disease, five patients with primary pulmonary hypertension, and 13 patients with history of MCLS. Congenital cardiac diseases included 30 patients with tetralogy of Fallot, 20 with ventricular septal defect, nine with atrial septal defect, and eight with pulmonary stenosis. Group B (35 cases); preoperative state of transposition of the great arteries. Group C (43 cases); post-operative state of congenital cardiac disease whose pre-operative right ventricular systolic pressures represented more than 70% of the left ventricular systolic pressures. This group included 31 patients with tetralogy of Fallot, seven with ventricular septal defect, four with atrial septal defect and one with patent ductus arteriosus. Group D (21 cases); post-operative state of transposition of the great arteries.

Fifteen min after interavenous infusion of 30-50 $\mu\text{Ci}/\text{kg}$ 201-TlCl, myocardial images were obtained in five projections (anterior, LAO 30°, 45°, 60°, and lateral). The angles were determined to demonstrate clearly the interventricular septum and the ventricular free wall.

The images of end-diastolic phase were obtained using the ECG-synchronized gated method in each projection. The region of interest (ROI) was defined as a section or slice by drawing two lines perpendicular to the septum, and the counts of the systemic and pulmonic ventricular free wall (Cs

国立循環器病センター 小児科
吹田市藤白台 5-125 (〒565)

**同 放射線科

*(現)倉敷中央病院 心臓病センター小児科
倉敷市美和 1-1-1 (〒710)

Departments of Pediatrics and **Radiology, National
Cardiovascular Center, Fujishirodai 5-125, Suita 565
*(Present address) Division of Pediatrics, Heart In-
stitute, Kurashiki Central Hospital, Miwa 1-1-1,
Kurashiki 710

Received for publication January 8, 1986; accepted March 22, 1986 (Ref. No. 30-P1)

and Cp) were analyzed to evaluate the pressure of the pulmonic ventricle. The pressures of the ventricles were obtained by cardiac catheterization performed concomitantly with the cardiac imaging.

The ratios of Cs and Cp (Cp/Cs) correlated well with the ratios of peak systolic pressures of systemic and pulmonic ventricles in each group (Group A; $y=0.83x+0.09$, $r=0.87$, $p<0.01$, Group B; $y=0.93x+0.07$, $r=0.92$, $p<0.01$, Group C; $y=0.87x+0.02$, $r=0.73$, $p<0.01$, Group D; $y=0.90x+0.10$, $r=0.84$, $p<0.01$).

Thus, 201-thallium myocardial imaging is a useful method for evaluating right (pulmonic) ventricular pressures non-invasively in cardiac diseases of children.

Key words

Thallium myocardial imaging
assessment

Congenital heart disease

Right ventricular pressure

Non-invasive

はじめに

右室圧負荷の分析は、小児期心疾患における根治術の時期決定や、術後の心機能評価に必要であるが、非侵襲的にこれを行うことは困難なことが多い。近年、心臓核医学検査法の発達のおかげで、201-タリウム心筋イメージングによって右室壁を描出し、右室圧負荷を定量的に評価しようとする報告があるが¹⁻⁴⁾、今回我々は、小児期心疾患における右室圧負荷と、心内修復術後例におけるその変化について検討した。

対象と方法

対象を以下の4群に分類して検討した (Table 1).

A群: 心内修復術前の先天性心疾患77例, 原発性肺高血圧5例, 冠動脈に狭窄性病変を認めない川崎病既往小児13例, 計95例.

B群: 心内修復術前の完全大血管転位35例.

C群: 心内修復術後の先天性心疾患43例.

D群: 心内修復術後の完全大血管転位21例.

A群における先天性心疾患の内訳は、フェロー四徴30例, 心室中隔欠損20例, 動脈管開存10例, 心房中隔欠損9例, 肺動脈狭窄8例である。C群における例は、すべて心内修復術施行前の右室最大収縮期圧(以下, 右室圧)と左室最大収縮期圧(以下, 左室圧)の比が0.70以上の例で、術後1年以上の経過例である。194例全例で心カテー

テルと心筋イメージングとが同時期に行なわれており、心カテーテル時にカテ先圧マノメーターによりえられた右室圧と左室圧の比を心筋イメージング所見と対比して、右室圧負荷の評価を試みた。

患者を安静臥位とし、 $30\sim 50\ \mu\text{Ci}/\text{kg}$ の201-Tl Clを静注し、15分後より、正面、左前斜位30、45、60度と、左側面の5方向より撮像した。装置にはOhio Nuclear製Σ410S型シンチカメラを用い、各イメージにつき30万カウントで撮影した。この5方向からのイメージをもとに、心室中隔と左右心室の自由壁を最もよく分離できる角度で、心電図ゲート法を用い、1心周期あたり20コマのイメージをえた。各イメージをDEC製Gamma 11にて処理し、拡張末期のイメージを右室負荷の評価の対象とした。定量的評価を行なうための関心領域(ROI=regions of interest)の決定はFig. 1に示すとおりである。拡張末期イメージにおいて、左右両心室の自由壁と心室中隔壁を最もよく分離できる部分にスライズラインを設定した。これによりえられたactivity curveから、左側変曲点のカウントをbackgroundのカウントCb(count of background)とした。両心室壁に一致するピークのカウントから、それぞれCbを差引いたものを、おのおの右室壁カウントCr(count of right ventricular wall), 左室壁カウントCl(count of left ventricular wall)とし、その比(Cr/Cl)を求めた。また心カテーテルによ

Table 1. Subjects by diagnosis

		Pre-op	Post-op
Tetralogy of Fallot	(TOF)	30	31
Ventricular septal defect	(VSD)	20	7
Patent ductus arteriosus	(PDA)	10	1
Atrial septal defect	(ASD)	9	4
Pulmonary stenosis	(PS)	8	
Primary pulmonary hypertension	(PPH)	5	
Kawasaki disease	(MCLS)	13	
d-transposition of the great arteries	(d-TGA)	35	21
Total		130	64

りえられた右室圧 (Pr, RPSP=right ventricular peak systolic pressure) と左室圧 (Pl, LPSP=left ventricular peak systolic pressure) よりその比 (P r/l) を求め、心筋イメージング所見と対比した。ただし完全大血管転位 (d-TGA) の群では解剖学的心室と機能的心室はそれぞれ一致しないため、pulmonic ventricle と systemic ventricle の圧比 (P p/s) と pulmonic ventricle の壁と systemic ventricle の壁のカウントの比 (C p/s) を比較した。

結 果

A 群

95 例全体に関して、P r/l と C r/l の間には

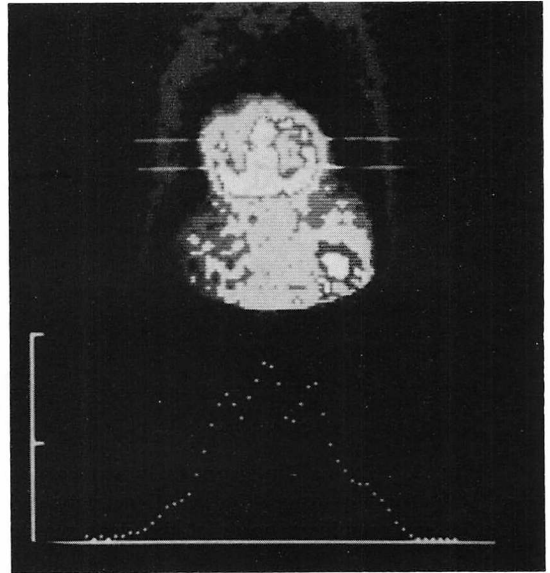


Fig. 1. End-diastolic image and horizontal count profile curve.

$y=0.83x+0.09$, 相関係数 $r=0.87$, $p<0.01$ と良好な相関が認められた (Fig. 2).

以下に 2, 3 の症例を提示する。

Fig. 3 は心室中隔欠損 (VSD) 例を示す。左側の例では心カテーテルで右室圧 50 mmHg, 左室圧 96 mmHg で、その比は 0.52 であった。心筋イメージング上では右室壁の描出は左室壁に比べて軽度で、C r/l は 0.50 であった。一方、右側の例では右室圧 85 mmHg, 左室圧 93 mmHg で、P r/l

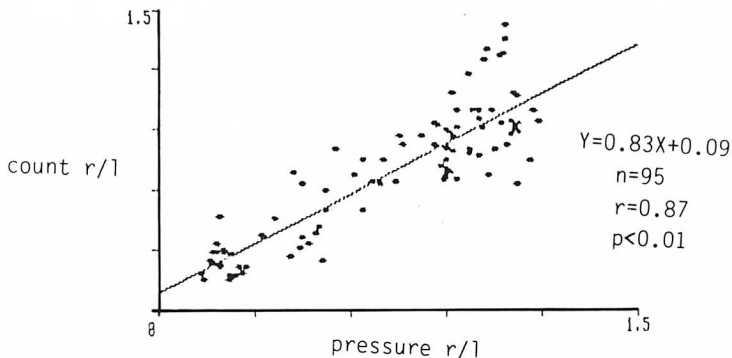


Fig. 2. Correlation of pressure ratio and count ratio in group A.

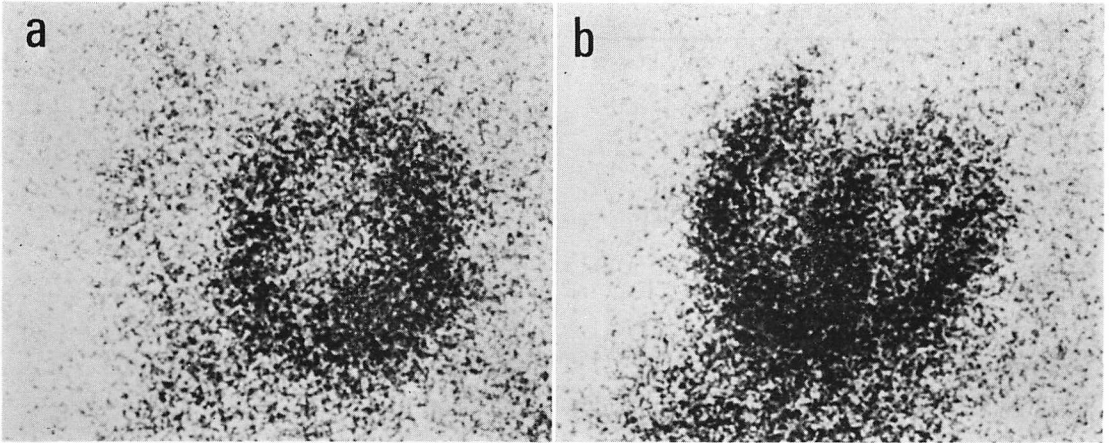


Fig. 3. Myocardial images in patients with ventricular septal defect (VSD).

Moderately intense image of the right ventricle in a case with severe pulmonary hypertension (a), and prominent image of the right ventricle in a case with moderate pulmonary hypertension (b).

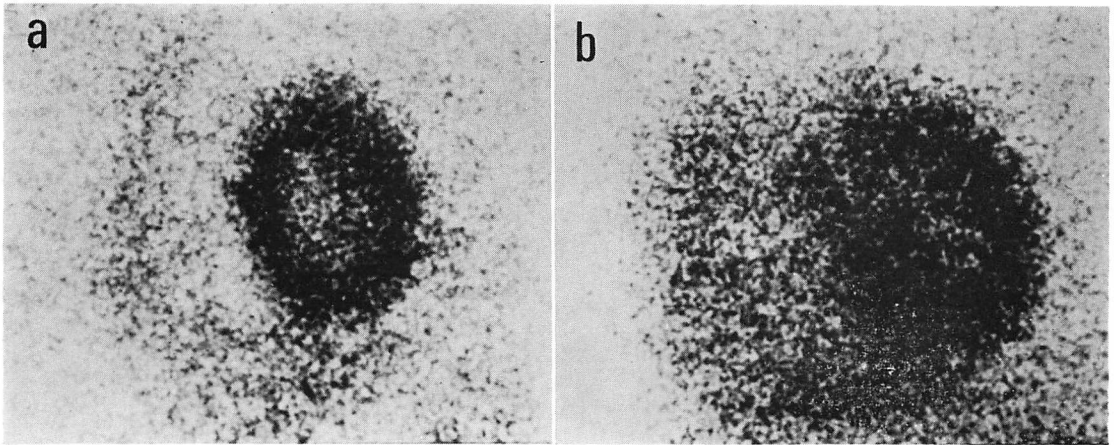


Fig. 4. Myocardial images in patients with atrial septal defect (ASD).

Case a has no pulmonary hypertension, whereas Case b is accompanied by marked pulmonary hypertension.

は 0.91 であり, 心筋イメージ上での $C r/l$ は 0.88 であった.

Fig. 4 は心房中隔欠損 (ASD) 例を示す. 左側の例では右室圧 32 mmHg, 左室圧 123 mmHg で, その比は 0.26 であり, 心筋イメージでは $C r/l$ は 0.18 であった. 右側の例では右室圧 85

mmHg, 左室圧 112 mmHg で, $P r/l$ は 0.76 であり, 心筋イメージ上では $C r/l$ は 0.83 であった.

Fig. 5 は肺動脈狭窄 (PS) 例を示す. 左側の例では右室圧 51 mmHg, 左室圧 132 mmHg で, その比は 0.41 であったが, 心筋イメージでの C

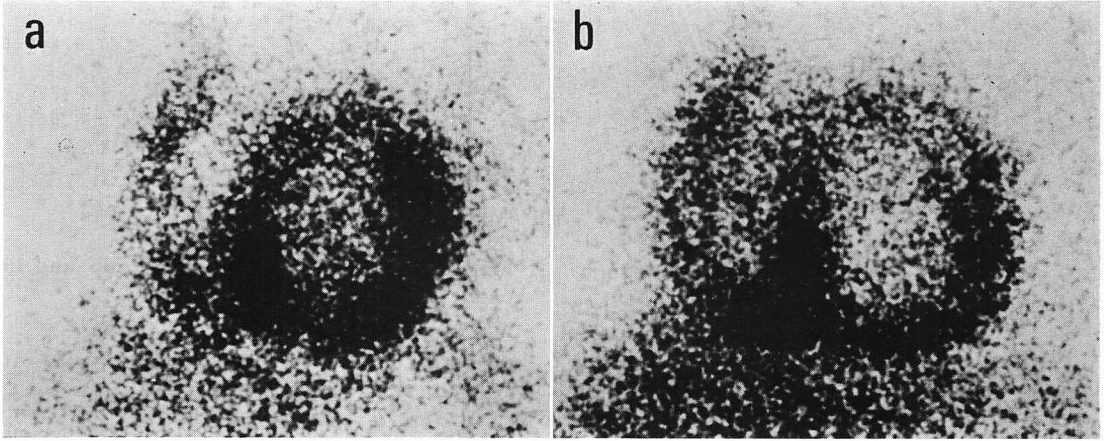


Fig. 5. Myocardial images in patients with pulmonary stenosis (PS).
Case a: mild; Case b: severe PS.

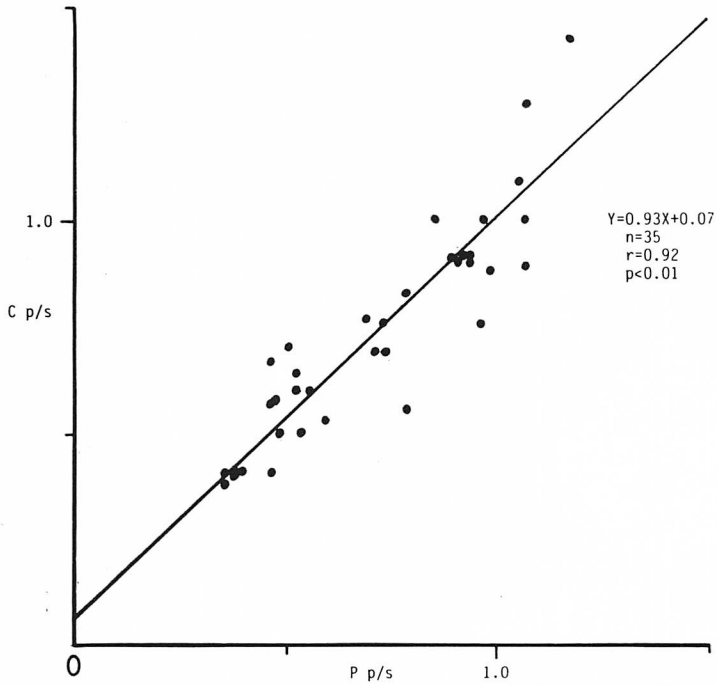


Fig. 6. Correlation between the pressure ratio and the count ratio in group B.

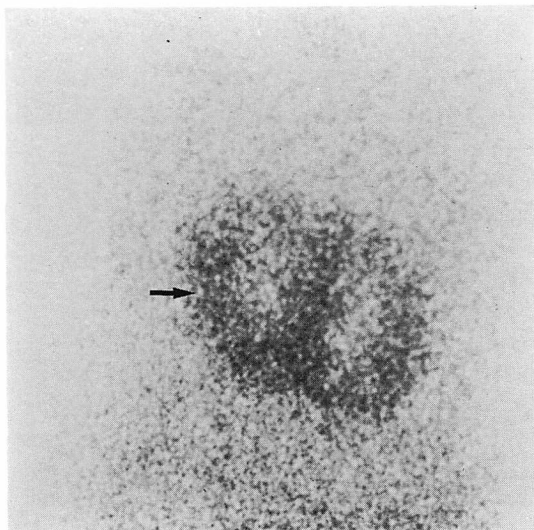


Fig. 7. Myocardial image in a patient with transposition of the great arteries (TGA) and ventricular septal defect (VSD).

Note intense image of the pulmonary (left) ventricular wall (arrow) with severe pulmonary hypertension.

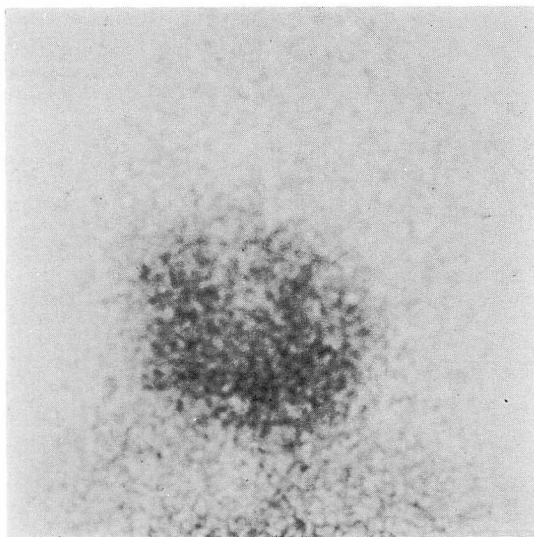


Fig. 8. Myocardial image in a patient with TGA.

The pulmonary (left) ventricular wall is not seen clearly and the distance between the pulmonary (left) ventricular and septal walls is short.

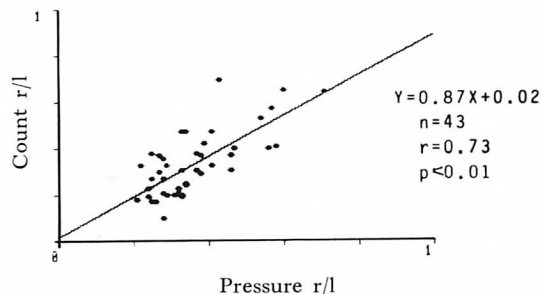


Fig. 9. Correlation of pressure ratio and the count ratio in group C.

r/l は 0.27 であった。右側の例では右室圧 105 mmHg, 左室圧 103 mmHg で, P r/l は 1.02 であり, 心筋イメージ上では C r/l は 1.25 であった。

B 群

d-TGA の群では P p/s と C p/s とには $y=0.93x+0.07$, 相関係数 $r=0.92$, $p<0.01$ という良好な相関が認められた (Fig. 6).

以下に d-TGA の例を示す。

Fig. 7 は d-TGA+VSD 症例である。心筋イメージ上は pulmonic ventricle である左室壁の描出は, systemic ventricle である右室壁と同程度であった。この例での C p/s は 1.00 であった。また pulmonic ventricle の圧は 77 mmHg, systemic ventricle のそれは 84 mmHg で, P p/s は 0.86 であった。

Fig. 8 は d-TGA 症例である。この例では pulmonic ventricle の圧は 48 mmHg で, systemic ventricle のそれは 69 mmHg, P p/s は 0.73 であった。心筋イメージ上では pulmonic ventricle である左室壁の描出が希薄であり, また左室壁と心室中隔壁の距離も短い。この例では C p/s は 0.50 であった。

C 群

心内修復術を施行した 43 例についても, P r/l と C r/l の間には, $y=0.87x+0.02$, 相関係数 $r=0.73$, $p<0.01$ という良い相関が認められた (Fig. 9).

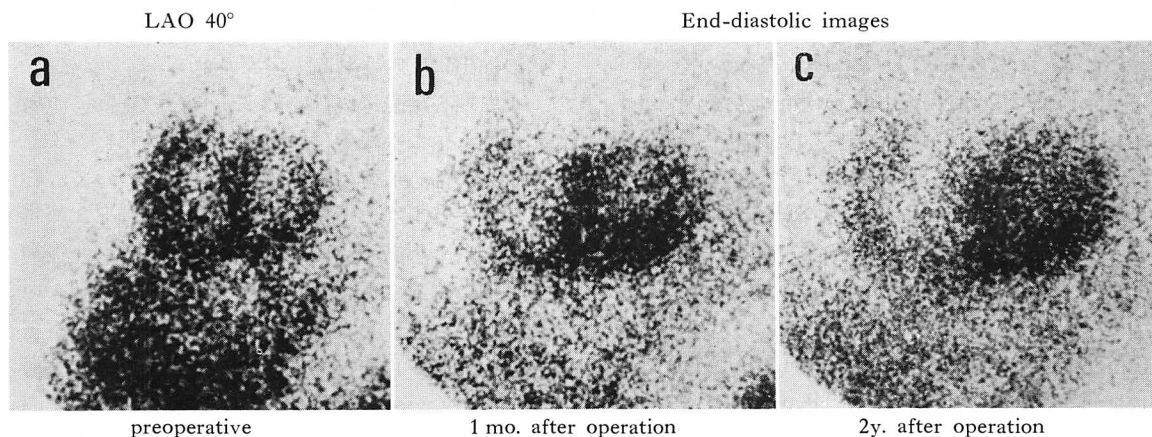


Fig. 10. Myocardial images in a patient with TOF before and 1 month and 2 years after operation.

Marked regression of the right ventricular thallium uptake is seen after surgery.

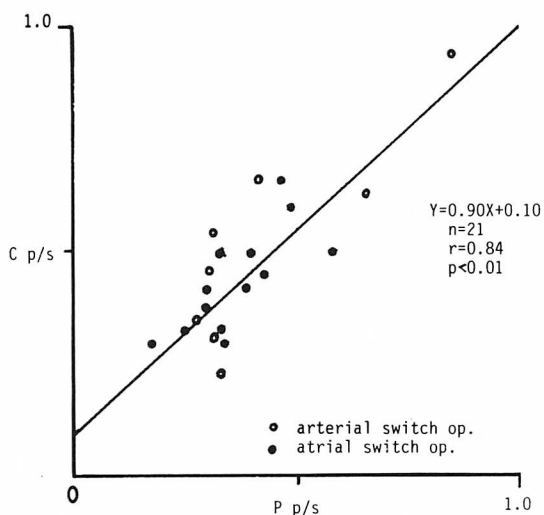


Fig. 11. Correlation of the pressure ratio and the count ratio in group D.

以下に術後例を提示する。

Fig. 10 はファロー四徴の例である。左端の術前のイメージでは右室壁の描出は強いが、術後1カ月ではすでに右室壁の描出では希薄化しており術後2年ではさらに薄く描出されるのみとなっていた。術後2年での心カテーテルでは右室圧は42 mmHg で左室圧は121 mmHg であり P r/l

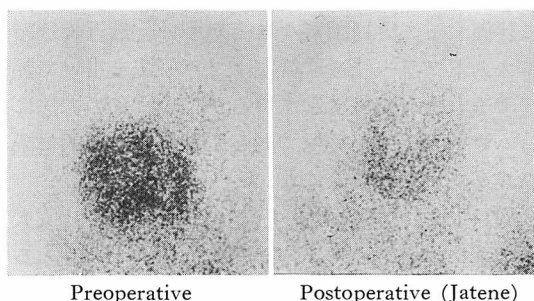


Fig. 12. Myocardial images in a patient with TGA and PDA before and after Jatene operation.

Marked decrease of the right ventricular thallium uptake is seen after surgery (right).

は0.34であった。一方心筋イメージでは C r/l は0.24であった。

D 群

d-TGA の術後例では、行なわれた手術が arterial switching か atrial switching に関せず、術後の血行動態により、pulmonic ventricular wall と systemic ventricular wall のカウント比 (C p/s) と、pulmonic ventricle と systemic ventricle の圧比 (P p/s) を比較した。Fig. 11 にも示すように、両者の間には $y=0.90x+0.10$ 、相関係数 $r=0.84$, $p<0.01$ という良好な相関が認められた。

以下に症例を提示する。

Fig. 12 は TGA+PDA の例であるが, この例には arterial switching operation である Jatene 手術が施行された。術前の左室 (この時には pulmonic ventricle) 圧は 43 mmHg で右室 (この時には systemic ventricle) 圧は 82 mmHg であった ($P p/s=0.52$)。心筋イメージ上は $C p/s$ は 0.60 であった。一方, 術後の心カテーテルでは, 右室 (この時には pulmonic ventricle) の圧は 34 mmHg で, 左室 (この時には systemic ventricle) の圧は 104 mmHg であった ($P p/s=0.33$)。また心筋イメージ上は $C p/s$ は 0.23 であった。

考 察

小児期心疾患において, 右室圧負荷を非侵襲的に評価することは困難なことが多い。最近ではパルス・ドプラー法や連続波ドプラー法を用いて評価する方法も記載されているが, いずれの方法においても, 手段が繁雑であったり, 方法論的に限界がある場合が少なくない。

201-TlCl を用いた心筋イメージングは, 成人では主に虚血性心疾患の診断に利用されているが^{5,6)}, Cohen ら⁷⁾が肺高血圧症例で心筋イメージングにより右室壁を描出して以来, 右室自由壁描出の程度により, 右心負荷を評価する試みがなされてきた¹⁻⁴⁾。K アナログである 201-Tl の心筋への取り込みは, 心筋量や冠血流量⁸⁾, 心筋酸素消費量⁹⁾などにより規定されるといわれている。動物実験では, 右室の急性圧負荷や急性容量負荷では, 冠血流量の増加により 201-Tl の摂取が亢進するが, 慢性の右室圧負荷では心筋個々の摂取は増加せず, 心筋量が増加するために右室心筋全体としての 201-Tl の摂取が亢進するとの報告がある¹⁰⁾。また, 心筋の酸素消費量は心室最大圧によく相関するとの報告があり¹¹⁾, 心室最大圧が高値になるほど心筋の酸素消費量が増すため, 201-Tl の摂取も増加すると考えられている。すなわち, 慢性の右室圧負荷では, 心筋量が増大し酸素消費量が増加するため, 右室壁の 201-Tl の

摂取が増し, これが心筋イメージング上での右室壁の描出に反映されると考えられる。

小児期心疾患における右室圧負荷の評価についてはいくつかの報告はあるが, 今回の報告のように, 先天性心疾患の心内修復術後例について, 心筋イメージングによる右室圧負荷を評価した報告も少ない。心筋イメージングにより, 心内修復術施行例に関しても, 心内修復術を施行していない例や, その他の心疾患例と同様の方法で, 右室圧負荷の評価が可能であると考えた。また完全大血管転位において, Mustard 手術後にも更に肺高血圧が進行する例も報告されており¹²⁾, 本症では特に心内修復術後も十分な観察が必要と考えられる¹³⁾。また心内修復術の有無にかかわらず, 解剖学的心室と機能的心室が一致しない完全大血管転位症例においても, 本法により pulmonic ventricle の圧負荷の評価が可能であることは, 術後の肺高血圧の追跡にも有用であると考えられる。また現在広く施行され始めている arterial switching の適応を決定するための左室パフォーマンスの評価にも, 心筋イメージングは有用と考えられる¹⁴⁾。

要 約

非侵襲的な右室圧の定量的評価として, 201-タリウム心筋イメージングについて検討した。対象は以下の4群を含む小児期心疾患 194 例である。A 群 (95 例): 77 例の先天性心疾患と 5 例の原発性肺高血圧, 13 例の冠動脈に狭窄性病変を認めない川崎病既往小児で, 先天性心疾患には, フェロー四徴 30 例, 心室中隔欠損 20 例, 動脈管開存 10 例, 心房中隔欠損 9 例, および肺動脈狭窄 8 例を含む。B 群は 35 例の完全大血管転位で, いずれも心内修復術前である。C 群 (43 例) は先天性心疾患の心内修復術後で, 術前に右室圧が左室圧の 0.7 以上であった例であるが, その中にはフェロー四徴 31 例, 心室中隔欠損 7 例, 心房中隔欠損 4 例, および動脈管開存 1 例を含む。D 群は完全大血管転位の心内修復術後例 21 例である。

心筋イメージングは $30\sim 50 \mu\text{Ci/kg}$ の $^{201}\text{TlCl}$ を静注し、15 分後より正面、左前斜位 $30, 45, 60$ 度と側面の 5 方向よりイメージを求め、心室中隔と左右両心室壁が最もよく分離できる角度で、心電図ゲート法を用い、拡張末期のイメージを求めた。これにスライズラインを設定し、両心室壁のタリウム摂取の比を求め、心カテーテルより求めた両心室圧比と比較した。

タリウム摂取の比と圧比は、A 群では $y=0.83x+0.09$, $r=0.87$, B 群では $y=0.93x+0.07$, $r=0.92$, C 群では $y=0.87x+0.02$, $r=0.73$, D 群では $y=0.90x+0.10$, $r=0.84$ と、それぞれ良好な相関を認め、小児期心疾患において、心筋イメージングは右室圧負荷の定量的評価に有用であると考えられる結果をえた。

文 献

- 1) Mitomori T, Ono Y, Kamiya T, Nishimura T, Kozuka T, Kohata T, Tanimoto T: Thallium-201 myocardial imaging in children with heart disease: Quantitative assessment of right ventricular pressure. *Kokyu to Junkan* **33**: 191, 1985 (in Japanese)
- 2) 神谷哲郎, 小野安生, 谷本 猛, 木幡 達: 小児の心臓核医学. *小児科臨床* **35**: 1029, 1980
- 3) Ueda K, Saito A, Nakano H, Yano M: Quantitative evaluation of right heart hemodynamics by thallium-201 myocardial scintigraphy in infants and children with congenital heart disease. *J Cardiogr* **10**: 1109, 1980
- 4) Ravinovitch M, Fischer KC, Treves S: Quantitative thallium-201 myocardial imaging in assessing right ventricular pressure in patients with congenital heart defects. *Br Heart J* **45**: 198, 1981
- 5) Pitt B, Strauss HW: Myocardial imaging in the noninvasive evaluation of the patients with suspected ischemic heart disease. *Am J Cardiol* **37**: 797, 1976
- 6) Botvinick EH, Taradash MR, Shaureus DM, Parmely WW: Thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy for the clinical classification of normal, abnormal and equivocal electrocardiographic stress test. *Am J Cardiol* **41**: 43, 1978
- 7) Cohen HA, Barid MG, Rouiean JR, Fuhrmann CF, Bailey IK, Summer WR, Strauss HW, Pitt B: Thallium-201 myocardial imaging in patients with pulmonary hypertension. *Circulation* **54**: 790, 1976
- 8) Strauss HW, Harrison K, Langan JK, Lebowith E, Pitt B: Thallium-201 to regional myocardial perfusion. *Circulation* **51**: 641, 1975
- 9) Strauer BE, Burger S, Bill U: Multifractional determination of 201-thallium uptake of the heart: An experimental study concerning the influence of ventricular mass, perfusion and oxygen consumption. *Basic Res Cardiol* **73**: 298, 1978
- 10) Wackers FJ, Klag JW, Laks H, Schnitzer J, Zaret BL, Geha AS: Pathophysiologic correlates of right ventricular thallium-201 uptake in a canine model. *Circulation* **64**: 1256, 1981
- 11) Braunwald W: Control of myocardial oxygen consumption. Physiological and clinical considerations. *Am J Cardiol* **27**: 416, 1971
- 12) Rosengart R, Fishbein M, Emmanouilides GC: Progressive pulmonary vascular disease after surgical correction (Mustard procedure) of transposition of great arteries with intact ventricular septum. *Am J Cardiol* **35**: 107, 1975
- 13) Ono Y, Tanimoto T, Kohata T, Arakaki Y, Takashi S, Takahashi O, Kamiya T, Nishimura T, Kozuka T, Naitoh Y: Myocardial imaging in patients with transposition of the great arteries: Comparison between Mustard and Rastelli operations. *J Cardiogr* **12**: 1009, 1982 (in Japanese)
- 14) Mitomori T, Ono Y, Fujino N, Kamiya T: Thallium-201 myocardial imaging in patients with transposition of the great arteries: Assessment of systolic pressure of the left ventricle. *in Pediatric Cardiology*, Springer, New York, 1986, pp 192-194