

超音波ドプラー法による心 房中隔欠損症における左右 心時相の解析

Right and left ventricu- lar systolic time inter- vals in patients with atrial septal defect mea- sured by the ultrasonic Doppler method

津田 定成
福島 正勝
安井 潔
浜中 康彦
井上 通敏
阿部 裕
松尾 裕英*

Sadanari TSUDA
Masakatsu FUKUSHIMA
Kiyoshi YASUI
Yasuhiko HAMANAKA
Michitoshi INOUE
Hiroshi ABE
Hirohide MATSUO*

Summary

Noninvasive measurement of right and left ventricular systolic time intervals (STIs) was made utilizing ultrasonic Doppler method in 35 patients with secundum atrial septal defect (ASD) to evaluate their hemodynamic states. Using the Doppler signals relating to the opening and closure of the pulmonary and aortic valves, both right and left ventricular prejection periods (RPEP, LPEP) and ejection times (RVET, LVET) were measured. The same studies were carried out in 50 control healthy subjects.

In patients of ASD without pulmonary hypertension (mean pulmonary arterial pressure < 20 mmHg), RPEP did not differ significantly from that of healthy subjects, while RVET was significantly prolonged reflecting right ventricular volume overloading. In patients with pulmonary hypertension (mean pulmonary arterial pressure \geq 20 mmHg), RPEP was prolonged and RPEP/RVET was significantly higher than those in healthy subjects. These two parameters were correlated well with pulmonary arterial pressure. In both groups LVET was shorter and LPEP/LVET was larger than those of normal, suggesting low output state of the left ventricle. In 5 surgical cases, LVET was prolonged and LPEP/LVET decreased after operation, while the right ventricular STIs did not change significantly. With the pulmonary to systemic flow ratio (Q_p/Q_s), only RVET/LVET was correlated significantly, but with poor correlation coefficient ($r=0.47$, $p<0.01$).

大阪大学医学部 第一内科
大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)
*(現)香川医科大学 第二内科

The First Department of Internal Medicine, Osaka
University School of Medicine, Fukushima 1-1-5,
Fukushima-ku, Osaka 553

*Present address: The Second Department, Kagawa
Medical College

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
Received for publication March 17, 1982

These data may suggest that noninvasive measurement of combined right and left ventricular STIs is useful to assess the hemodynamic states of ASD, especially for evaluation of associated pulmonary hypertension.

Key words

Systolic time intervals (STIs) Atrial septal defect Ultrasonic Doppler method Cardiac surgery
Pulmonary hypertension

はじめに

心房中隔欠損 (ASD) では治療法の選択, 特に手術適応の決定のため経年的に血行動態を評価することが必要であるが, 心臓カテーテル法を繰り返し施行することは好ましくない. 心時相分析による血行動態の評価は繰り返し施行できるという利点を有し, 各種心疾患における左室心時相分析に関してはすでに多くの報告がみられるが¹⁻³⁾, 従来の方では右室心時相を分析することが困難なため, ASD の血行動態を心時相分析で評価した報告は乏しい^{4,5)}. 本研究では超音波非ドプラー法を用いて ASD 例の左右両心室の収縮期心時相 (systolic time intervals: STI) を計測し, 心臓カテーテル検査により求めた血行動態諸量と比較することにより, ASD 症例における左右両心室の STI の変化とその意義を検討した.

対象と方法

二次口心房中隔欠損症 35 例 (3~57 歳, 平均 26 歳) を検討の対象とした. 対象の選定に当たっては, 完全右脚ブロック例および明らかな心不全徴候の認められたものは除外した. また心房細動例も除外し, 洞調律例のみを対象とした. Eisenmenger 症候群を呈する症例は含まれていなかった. また対照として, 健常男子 50 例 (16~42 歳, 平均 27 歳) を用いた.

以上の例において, 超音波 Doppler cardiogram (DCG), 心電図, 心音図 (フクダ電子製 MA-250 マイク使用) を紙送り速度 100 mm/sec で同時記録した. DCG 記録にはアロカ製超音波ドプラー計 (600 Hz high pass filter) を用い, 既報の方法で⁶⁾,

大動脈弁および肺動脈弁の開放および閉鎖シグナルを記録した (Fig. 1). 心時相の測定は心電図 QRS 波の開始より大動脈弁開放シグナル (Ao) の開始までを left ventricular pre-ejection period (LPEP), Ao の開始より大動脈弁閉鎖シグナル (Ac) の終了までを left ventricular ejection time (LVET), 心電図 QRS 波の開始より肺動脈弁開放シグナル (Po) の開始までを right ventricular preejection period (RPEP), Po の開始より肺動脈弁閉鎖シグナル (Pc) の終了までを right ventricular ejection time (RVET) とした. 計測にさいしては 0.5 mm (5 msec) までを測定し, 5 心拍の平均値をとった. 心時相の測定は安静背臥位で, 呼吸の影響を除くため呼気時に軽く呼吸停止させ施行した⁷⁾.

ASD 例はいずれも心時相測定後 2 日以内に心臓カテーテル検査を行い, 肺動脈圧, 肺循環-体循環流量比などを計測した.

成 績

1. 健常例の左右収縮期心時相

健常男子例において, 左右収縮期心時相と心拍数 (HR) との間にはほぼ直線関係が認められ (Fig. 2), その回帰式は次のごとくであった.

$$\text{LPEP} = -0.61 \text{ HR} + 141 \quad (r = -0.40, p < 0.01)$$

$$\text{LVET} = -1.26 \text{ HR} + 375 \quad (r = -0.67, p < 0.01)$$

$$\text{RPEP} = -0.59 \text{ HR} + 137 \quad (r = -0.48, p < 0.01)$$

$$\text{RVET} = -1.67 \text{ HR} + 443 \quad (r = -0.65, p < 0.01)$$

この結果から, LPEP, LVET, RPEP, RVET はいずれも心拍数と有意な負相関があり, 以後の検討には各回帰式を用いて, 心拍数補正を行った値 (Index: I と略) を用いた.

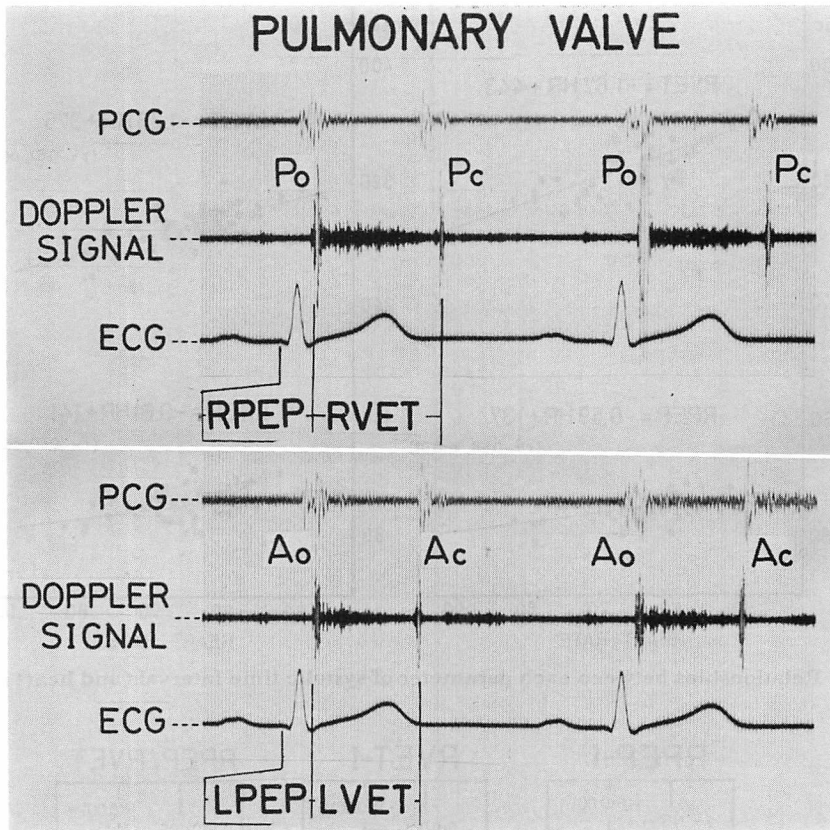


Fig. 1. Right and left ventricular systolic time intervals measured by the ultrasonic Doppler method (29-year-old, healthy male).

Po and Pc=Doppler signals relating to the opening and closure of the pulmonary valve; Ao and Ac=Doppler signals relating to the opening and closure of the aortic valve; RPEP and RVET=right ventricular preejection period and ejection time; LPEP and LVET=left ventricular preejection period and ejection time; PCG=phonocardiogram; ECG=electrocardiogram.

LPEP-I=0.61 HR+実測 LPEP
 LVET-I=1.67 HR+実測 LVET
 RPEP-I=0.59 HR+実測 RPEP
 RVET-I=1.67 HR+実測 RVET

2. ASD 例の右室収縮期心時相 (Fig. 3)

ASD 35 例中, 心カテーテル検査で平均肺動脈圧 (mean pulmonary artery pressure: mPAP と略) が 20 mmHg 以下であったものを非肺高血圧群 (非 PH), mPAP が 20 mmHg かそれ以上であったものを肺高血圧群 (PH) とし, 2 群に分け

て検討した. 非 PH 群は 29 例 (13~51 歳, 平均 26 歳), PH 群は 6 例 (3~57 歳, 平均 27 歳) であった.

i) RPEP-I

RPEP-I は健常群は 137 ± 7.6 msec (mean \pm SD) であったのに対して, 非 PH 群は 133 ± 11.6 msec, PH 群は 160 ± 10.9 msec で, 非 PH 群と健常群との間には有意差を認めなかったが, PH 群は健常群, 非 PH 群に比し有意に延長することを認めた ($p < 0.001$).

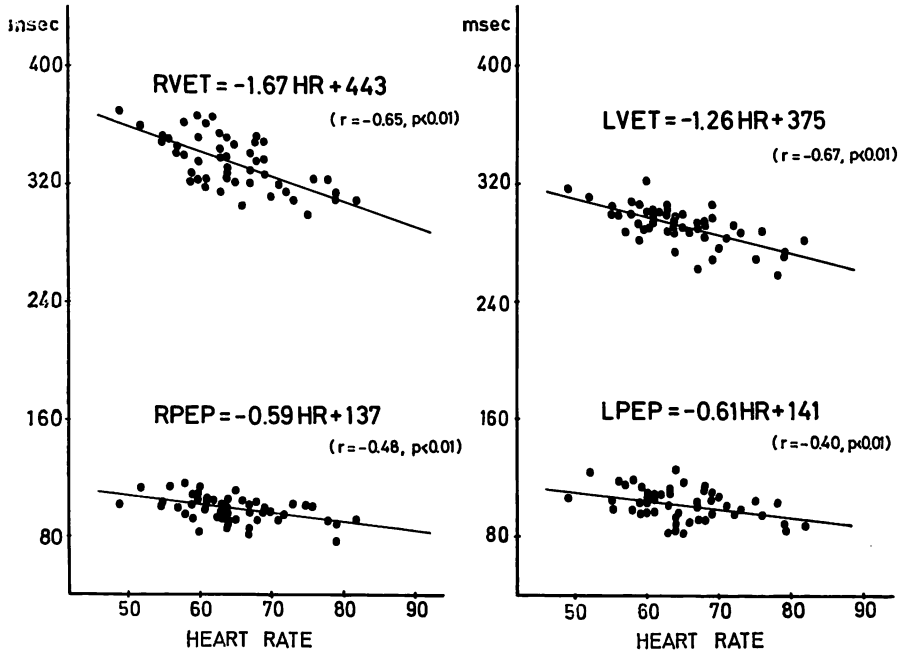


Fig. 2. Relationships between each parameter of systolic time intervals and heart rate.

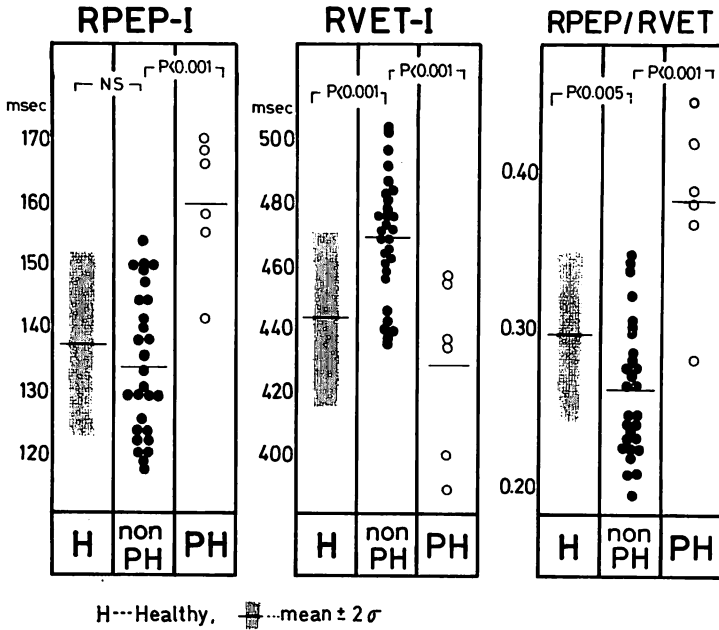


Fig. 3. Right ventricular systolic time intervals in patients with atrial septal defect (ASD).
 H=healthy subjects; non PH=ASD patients without pulmonary hypertension; PH=ASD patients with pulmonary hypertension.

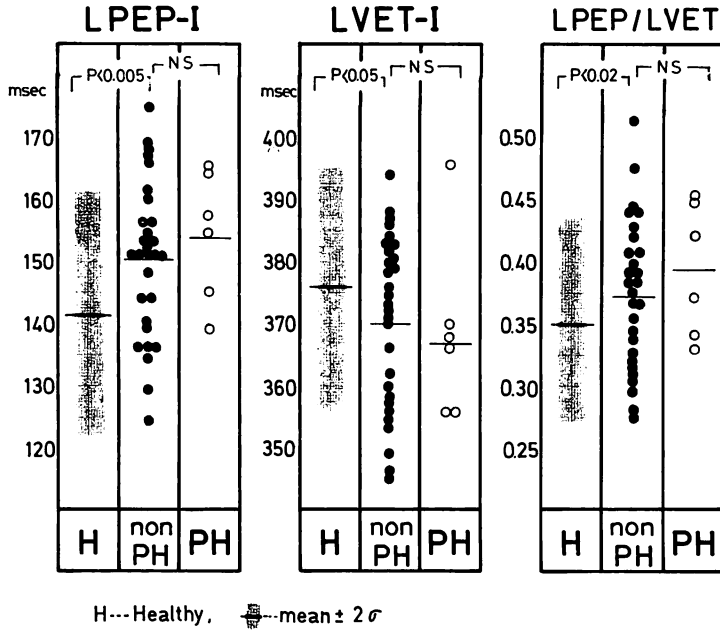


Fig. 4. Left ventricular systolic time intervals in patients with ASD.

ii) RVET-I

RVET-I は健常群 443 ± 14 msec, 非 PH 群 469 ± 19.3 msec で, 両群間に有意差を認めた ($p < 0.001$). これに対し PH 群では 428 ± 28.7 msec で, 健常群および非 PH 群に比し短縮することを認めた (それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.001$).

iii) RPEP/RVET

RPEP と RVET の比は健常群 0.30 ± 0.03 , 非 PH 群 0.26 ± 0.04 で, 非 PH 群は健常群に比し低値となる傾向を認めたが ($p < 0.005$), 逆に PH 群では 0.38 ± 0.06 で, 健常群および非 PH 群に比し大であった (いずれも $p < 0.001$).

3. ASD 例の左室収縮期心時相 (Fig. 4)

i) LPEP-I

LPEP-I は健常群 142 ± 9.9 msec, 非 PH 群, PH 群ではそれぞれ 150 ± 12.6 msec, 154 ± 10.4 msec と健常群に比し延長が認められた ($p < 0.005$, $p < 0.001$). しかし非 PH 群と PH 群の間には有意差を認めなかった.

ii) LVET-I

健常群の LVET-I は 375 ± 10.0 msec, 非 PH 群, PH 群はそれぞれ 371 ± 13.9 msec, 368 ± 15 msec で, ASD 例は健常群に比し短縮を認めた (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$).

iii) LPEP/LVET

LPEP/LVET は, 健常群では 0.35 ± 0.04 であったが, 非 PH 群は 0.38 ± 0.06 , PH 群は 0.39 ± 0.05 で, 健常群に比し高値であった (それぞれ $p < 0.02$, $p < 0.01$). しかし非 PH 群との間には有意差を認めなかった.

4. 肺循環-体循環流量比 (Qp/Qs) と左右 STI について

Fick の原理に基づく血液ガス分析より求めた肺循環-体循環流量比 (Qp/Qs) と左右 STI 諸量を比較検討したところ, RVET と LVET との比 (RVET/LVET) と Qp/Qs 間に正相関を認めた (Fig. 5, $r = 0.47$, $p < 0.01$). その他の指標と Qp/Qs の間には有意な相関を認めなかった.

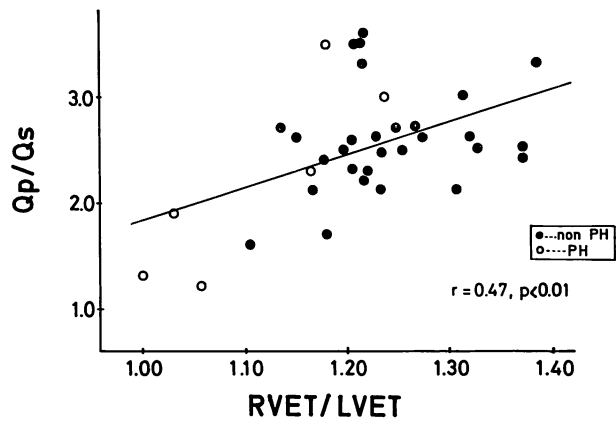


Fig. 5. Relationship between RVET/LVET and Qp/Qs.

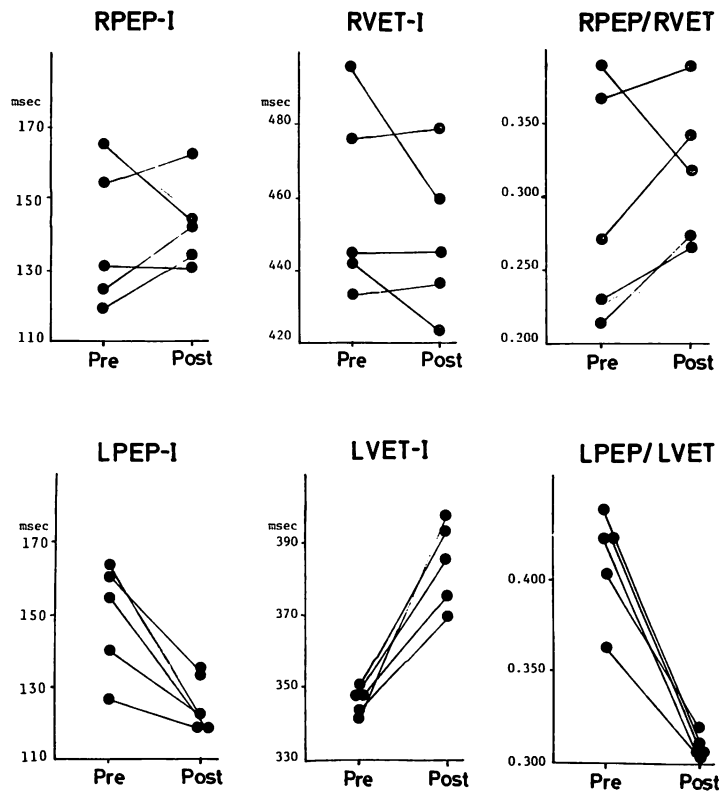


Fig. 6. Changes in systolic time intervals after the closure of ASD.

5. ASD 例の手術前後の STI 変化

ASD の根治手術を施行した 5 例の患者について、手術前後で左右 STI がいかに変化したかを検討した。これらの例は、術後 1~2 年を経過したものであり、術前の心カテーテル検査で、1 例が平均肺動脈圧 25 mmHg であったが、他のいずれも 20 mmHg 以下であった。また術前の Qp/Qs は 2.3~3.5 の範囲であった。術後の右室 STI の変化は個々の症例で異なり、一定の傾向を示さなかった (Fig. 6)。一方、左室 STI の変化は全例が同一方向に変化することが認められた。すなわち、術後には LPEP-I は短縮、LVET-I は延長し、LPEP/LVET は低値となった (Fig. 6, 下段)。

考 案

ASD は左-右短絡を有し、左右両心の血行動態に影響を与えるため、その病態の解析には左右両心室の心時相分析を必要とするが、右室心時相に関しては右心動態を知る有効な手法が少ないこともあり、十分に解析されていない。

起音波弁ドプラー法は弁の開閉時期をドプラーシグナルとして時間遅れなく捕えるもので、特に他の非観血的方法では直接知ることが難しい右室心時相についても情報を得ることができる^{8,9)}。

ASD 例の心時相解析の結果、右室収縮期心時相では肺高血圧を伴っている群 (PH 群) と伴っていない群 (非 PH 群) で明らかな差異を認めた。RPEP および RPEP/RVET が肺動脈圧と正相関を有することはすでに報告した⁴⁾。本研究においても、非 PH 群は健常値と有意差を認めなかったが、PH 群では両指標とも高値を示し、これらが ASD 例の PH 合併の有無の判定に用いえるものであることが示された。

RVET は非 PH 群で健常群に比し有意な延長を示したが、PH 群では逆に短縮する傾向を認めた。左心系 STI では、LVET は左室の一回拍出量の増大により延長し、大動脈圧の上昇により短縮することが知られており、したがって非 PH

群における RVET の延長は左-右短絡による右室容量負荷 (右室一回拍出量の増加) の反映と思われた⁵⁾。PH 群では RVET は逆に低値を示した。これには肺高血圧による右房圧の上昇に基づく左-右短絡の減少も考えられるが、Qp/Qs が同程度の large shunt 例でも短縮を認めていることから、肺高血圧そのものの影響が考えられた。Shaver ら¹⁰⁾も、右心拍出量の増大が肺血管系の容量および抵抗により左右されることを示唆している。

根治術を施行した 5 例で右室容量負荷が除去されたにもかかわらず、手術前後の右室 STI が一定の傾向を示さなかったことも、ASD 例の右室 STI が単に右室の容量負荷のみにより決定されているのではなく、さらに肺血管系の容量や抵抗、右室収縮性など、多くの因子の影響を受けていることを示唆している。

一方、ASD 例における左室 STI では、左室への流入血液量の減少に伴う左室前負荷の低下を反映し、LPEP は延長、LVET は短縮した。Weissler ら¹⁾が心拍出量と逆相関するとして LPEP/LVET は高値となり、左心拍出量の低下が示された。左室 STI には肺高血圧の有無による有意差を認めなかった。根治術後には全 5 例で LPEP の短縮、LVET の延長、LPEP/LVET の低下を認め、左-右短絡の消失による左心血流量の増大が示唆された。

ASD の重症度、手術適応を決定する上で、肺高血圧の有無とともに重要な指標である Qp/Qs を左右心時相の値から推定しうるか否かを調べるため、一回心拍出量と正相関を有するとされている左右両心室の駆出時間の比、RVET/LVET と、Qp/Qs の相関を調べた。両者には有意な正相関を認めたが、その相関の程度はあまり高くなかった ($r=0.47$)。これは駆出時間が一回心拍出量とよく相関する一方、前負荷、後負荷、心収縮性など他の因子の影響も受けているためであろうと考えられる。Qp/Qs と他の両心室 STI 指標との間には有意な相関は認められなかった。

要 約

二次口心房中隔欠損症 (ASD) 患者 35 例を対象とし, 超音波ドプラー法により左右両心室の収縮期心時相 (STI) を求め, 心臓カテーテル検査により求めた血行動態諸量と比較した. ASD は平均肺動脈圧が 20 mmHg 以下の群 (非 PH 群 29 例) と 20 mmHg 以上の群 (PH 群 6 例) に分けて検討し, 対照として健常成人男子 50 例を用いた. 各心時相値は健常成人で求めた回帰式により心拍数補正をした値 (I: index を付した) を用いた.

1) 非 PH 群では right ventricular ejection time index (RVET-I) は 469 ± 19.3 msec (mean \pm SD) で, 健常群 (443 ± 14 msec) に比し有意な延長を認め ($p < 0.001$), これは右室容量負荷を反映したものと考えられた. Right ventricular pre-ejection period index (RPEP-I) は 133 ± 11.6 msec で, 健常群の 137 ± 7.6 msec と有意差を認めなかった.

2) PH 群では RPEP-I は 160 ± 10.9 msec であり, 健常群に比し有意な延長を認めた ($p < 0.001$). RPEP-I は平均肺動脈圧と有意な正相関を認めたため, この結果は肺高血圧の存在を反映したと思われる. RPEP と同様, 肺高血圧と正相関が認められる RPEP/RVET も PH 群で高値を示した. RVET-I は健常群に比し有意に短く, 容量負荷による RVET-I の延長を肺高血圧による短縮が相殺し合った結果と思われる.

3) 左室心時相では非 PH 群, PH 群間に有意差を認めず, いずれも健常群に比し, LPEP-I は延長 ($p < 0.005$), LVET-I は短縮 ($p < 0.05$), LPEP/LVET は高値 ($p < 0.02$) を示し, 左心系の血流量低下が示唆された.

4) 本例で根治術前後の STI の変化を調べた. 右室 STI には術前後で一定の傾向を示さなかったが, 左室 STI では全例, 術後に LPEP-I の短縮, LVET-I の延長, LPEP/LVET の減少を認め, 左室血流量の増加が示唆された.

5) 肺循環-体循環血流量比 (Q_p/Q_s) と, RVET/LVET の間には $r=0.47$ の, 有意 ($p < 0.05$) ではあるが粗な相関を認めた.

以上の結果は, ASD のように, 左右両心室動態に影響を与える病態の評価には, 左右両心室の STI の解析が必要であることを示すとともに, ASD 例における肺高血圧の有無の検索には, 右室心時相, とくに RPEP-I, RPEP/PVET が有用であることを示している. しかし, 左右 STI 値からの Q_p/Q_s の推定には限界があることも示唆されている.

文 献

- 1) Weissler AM, Peele RG, Roehll WH Jr: Relationship between left ventricular ejection time, stroke volume and heart rate in normal individuals and patients with cardiovascular disease. *Am Heart J* 62: 367, 1961
- 2) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* 37: 149, 1968
- 3) Kumar S, Spodick DH: Study of the mechanical events of the left ventricle by atraumatic techniques: Comparison of method of measurement and their significance. *Am Heart J* 80: 401, 1970
- 4) 津田定成: 非侵襲的右室心時相分析による右心室動態解析に関する研究. *Jpn Circulat J* 42: 1373, 1978
- 5) Curtiss EJ, Reddy PS, O'Toole JD, Shaver JA: Alterations of right ventricular systolic time intervals by chronic pressure and volume overloading. *Circulation* 53: 997, 1976
- 6) 仁村泰治, 宮武邦夫, 津田定成, 榊原 博: 超音波ドプラー法. *日本臨牀* 32: 76, 1974
- 7) 榊原 博, 津田定成, 宮武邦夫, 林 亨, 別府慎太郎, 浅生雅人, 松尾裕英, 仁村泰治: 右心系の心時相—超音波ドプラー法による研究: (1) 右室駆出前期並びに駆出時間. *臨床心音図* 4: 415, 1974
- 8) Yoshida T, Mori M, Nimura Y, Hikita G, Takagishi S, Nakanishi K, Satomura S: Analysis of heart motion with ultrasonic Doppler method and its clinical application. *Am Heart J* 61: 61, 1961
- 9) Nimura Y, Matsuo H, Mochizuki S, Aoki K, Wada O, Abe H: Analysis of a cardiac cycle of the left side of the heart in cases of left ventricular overloading or damage with the ultrasonic

Doppler method. Am Heart J 75: 49, 1968
10) Shaver JA, Nadolny RA, O'Toole JD, Thompson
ME, Reddy PS, Leon DF, Curtiss EI: Sound

pressure correlates of the second heart sound:
An intracardiac sound study. Circulation 49: 316,
1974