

心室中隔欠損孔閉鎖術直後における 左室容積・機能の心臓超音波検査による評価

森島 重弘¹⁾, 藤原 直¹⁾, 押富 隆³⁾, 青墳 裕之²⁾
岡嶋 良和²⁾, 遠山 貴子²⁾

Key words :

心室中隔欠損症, 心臓超音波検査法, 左心機能, 左室容積

千葉県こども病院心臓血管外科¹⁾, 循環器科²⁾,
東京女子医科大学附属日本心臓血圧研究所心臓血管外科³⁾

Echocardiographic Evaluation of Left Ventricular Function and Volume Immediately after Intracardiac Repair for Ventricular Septal Defect

Shigehiro Morishima,¹⁾ Tadashi Fujiwara,¹⁾ Takashi Oshitomi,³⁾ Hiroyuki Aotsuka,²⁾
Yoshitomo Okajima,²⁾ and Takako Tohyama²⁾

Departments of ¹⁾Cardiovascular Surgery and ²⁾Cardiology, Chiba Children's Hospital, Chiba

³⁾Department of Cardiovascular Surgery, Heart Institute of Japan, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan

Purpose: An echocardiographic study was performed to investigate changes in LV function and volume immediately after VSD closure.

Methods: Nine patients (mean age at operation, 5.5 months) underwent echocardiographic evaluation at 3 hours, 8 hours, and 1 day after surgery (post-op) and at the time of discharge. Left ventricular volume was estimated by the area-length method. Stress-velocity index (SVI) was calculated as a load-independent parameter of LV function. In 110 patients (mean age at operation, 6.1 months), the correlation between the preoperative data and data at the time of discharge was investigated.

Results: Left ventricular end-diastolic volume (LVEDV) and left ventricular end-systolic volume index (LVESVI) significantly decreased post-op (LVEDV: from 188.5 ± 55.0 to $112.8 \pm 33.7\%$ of normal, LVESVI: from 41.4 ± 12.1 to 34.5 ± 14.8 ml/m²). Left ventricular ejection fraction (EF) significantly decreased post-op from 51.4 ± 5.8 to $35.4 \pm 10.4\%$, but improved at discharge to $50.5 \pm 9.3\%$. SVI post-op correlated significantly with preoperative LVEDV ($r = -0.74$, $p < 0.05$) and preoperative LVESVI ($r = -0.81$, $p < 0.01$). EF at discharge correlated significantly with preoperative LVEDV ($r = -0.20$, $p < 0.05$), preoperative LVESVI ($r = -0.36$, $p < 0.0001$), and preoperative EF ($r = 0.33$, $p < 0.001$).

Conclusion: Increased preoperative LVEDV and LVESVI resulted in reduced immediate postoperative LV function and EF. These data suggested that VSD should be closed before enlargement of LV and reduction of EF.

要 旨

背 景 : 心室中隔欠損症 (VSD) の根治術後は, 左心室の前負荷・後負荷が大きく変化し, 心室容積や機能も変化すると予想されるが, 詳細な検討を行った報告は少ない。術後急性期の心室容量や機能の変化を心臓超音波検査により評価することを目的とした。

方 法 : VSD 9例 (平均年齢5.5カ月) に対し, 根治術前および術後急性期に左室の容積・駆出率 (EF)・収縮能を心臓超音波検査にて計測し, その変化と術後急性期心機能に影響を及ぼす術前因子を検討した。また, VSD 110例 (平均年齢6.1カ月) を対象に, 退院時EFに影響する術前因子を検討した。左室収縮能はstress-velocity index (SVI) を用い, 左室容積はarea length法を用いて計測した。

結 果 : 術後急性期に測定した9例では正常を100%とした左室拡張末期容積 (%EDV) および体表面積で正規化した左室収縮末期容積係数 (ESVI) は, 術前と比較して術後急性期に有意に減少した。EFは術前と比較して術後急性期に有意に低下したが, 退院時では術前と同程度まで改善した。術後急性期SVIは術前%EDVおよびESVIと負の相関関係 (それぞれ $r = -0.74$, $p < 0.05$ / $r = -0.81$, $p < 0.01$) を認めた。また, 110例を対象とした退院時EFは術前%EDVおよび術前ESVIに負の相関 (それぞれ $r = -0.20$, $p = 0.035$ / $r = -0.36$, $p < 0.0001$), 術前EFに正の相関 ($r = 0.33$, $p = 0.0004$)

平成15年10月27日受付

別刷請求先: 〒963-8563 福島県郡山市八山田 7-115

平成16年2月2日受理

総合南東北病院小児心臓外科 森島 重弘

を認めた。

結語：術前%EDV, ESVIの大きい症例やEFの低下していた症例では、術後急性期に左室収縮能の低下や退院時EFの低下が認められた。術後管理上注意を喚起する術前因子であり、手術時期決定の要因にもなり得る。

はじめに

心室中隔欠損症(VSD)の血行動態は、左室前負荷増大による左室拡大を伴い、初期にはEFは良好であり¹⁾、術前術後心機能が問題とされることは少ない。しかし、根治術後は心室内左右短絡が消失するため、前負荷・後負荷の急激な変化が起こると予想される。さらに、体外循環や、大動脈遮断等の多くの影響を受ける。しかし、術前短絡のない左室の術後心機能に対する報告は散見されるが²⁻⁶⁾、術前心室内左右短絡を有する疾患の術後急性期の血行動態変化、前負荷後負荷、心機能を検討した報告は少ない^{7,8)}。そこで、非侵襲的で周術期評価として広く用いられている心臓超音波検査法(UCG)を用い、心室中隔欠損症において、手術前と術後急性期、退院時の左室容積、EF、術後急性期の左室収縮能を測定し検討を行った。

対象と方法

1994年1月～2001年3月に根治術を施行された体重10kg以下のVSDを無作為に選択し対象とした。9例に対し術後急性期の左室容積、EFおよび心機能を経時的に計測した。年齢は平均5.5カ月(1～15カ月)。体重は平均5.4kg(2.9～9.2kg)。1例にDown症候群を認めた。また、110例に対して、術前および退院時の左室容積、EFを計測した。年齢は平均6.1カ月(19日～20カ月)、体重は平均5.3kg(1.9～9.4kg)であった。110例中21例はDown症候群であった。心機能を評価するうえで、臨床上問題となるような僧帽弁閉鎖不全(MR)を認める症例は除外し、UCGにおいて軽度MR以下の症例を対象とした。術式は人工心肺を使用し、大動脈遮断、心停止下に異種心膜を用いてパッチ閉鎖術を行った。心筋保護液はcrystalloid cardioplegiaを使用。初回投与20ml/kg。その後35～40分ごとに10ml/kgを投与した。

UCGはアロカ社製SSD870を用い、5.0MHzのトランスデューサを使用した。

左室収縮能はColanらの提唱する左室収縮末期壁応力(ESWS)と心拍補正平均左室短縮速度(mVcfc)より求められるstress-velocity index(SVI)を用いた⁹⁾。

ESWSはGrossmanらの式を用いた¹⁰⁾。左室短軸Mモード法により左室収縮末期内径(LVDs)、収縮末期左室後壁厚(LVPWTs)を計測し、左室収縮末期圧(Pes)は観血的橈骨動脈圧モニター波形のdicrotic notchの動脈圧で代

用し⁶⁾、以下の式を用い計算した。

$$ESWS = 1.35 \times LVDs \times Pes / \{4 \times LVPWTs (1 + LVPWTs / LVDs)\}$$

mVcfcは以下の方法で測定した。左室拡張末期内径(LVDd)とLVDsを左室短軸Mモード法より計測。左室駆出時間(ET)はパルスドプラ法を用いた左室流出路の血流パターン、および大動脈弁閉鎖時間より、また、RR時間(RR)は心電図より計測し、次の式に代入して求めた。

$$SF = (LVDd - LVDs) / LVDd$$

$$mVcf = FS / ET$$

$$mVcfc = mVcf \times \sqrt{RR}$$

SVIはmVcfcとESWSの正常回帰直線の回帰式より、実測したESWSに対応する予想される正常mVcfcと、実測されたmVcfcとの差が標準偏差の何倍であるかを表した指標である。

$$SVI = (正常mVcfc - 実測mVcfc) / 標準偏差$$

実測mVcfcが正常mVcfcより1SD速度が速いとするとSVIは+1として表される。正常値は±1以内。すなわち±1SD以内と設定した。なお、心拍補正平均左室短縮速度と左室収縮末期壁応力の正常回帰直線と回帰式(正常mVcfc = -0.0055 × ESWS + 1.25)および標準偏差(SD = 0.075)は片山らの測定したものをを用いた¹¹⁾。よってSVIは以下の式で計算した。

$$SVI = \{(-0.0055 \times ESWS + 1.25) - mVcfc\} / 0.075$$

一方、左室容積は青墳らの提唱する、左室を回転楕円体と仮定したarea length法を用いて算出した¹²⁾。乳頭筋のレベルでの左室短軸断面面積をareaとし、左室長軸像の心尖部から大動脈弁口までの距離をlengthとし、

$$左室容積(ml) = 2/3 \times area(cm^2) \times length(cm)$$

の式で計測した。左室容積は左室拡張末期容積(EDV)と左室収縮末期容積(ESV)をそれぞれを求め以下の式でEFを測定した。

$$EF(\%) = (EDV - ESV) / EDV \times 100$$

なお、今回の検討で用いた左室拡張末期容積(%EDV)は青墳らの求めた、体表面積(BSA)あたりの正常

値(正常EDV = $69.4 \times BSA^{1.33}$)を100%とした, % of normalとして表示した¹²⁾。また, ESVは体表面積で除してESV index(ESVI)を求め標準化し, ESVの指標とした。

$$ESVI = \text{ESV(ml)} / \text{BSA(m}^2\text{)}$$

検査は9例に対し術前(平均6.7日; 22日~術当日), 人工心肺離脱後約3時間, 約8時間, 術後1日目, 退院時(平均15.8日; 11~28日)に%EDV, ESVI, EF, 心拍数(HR)を測定した。また, 人工心肺離脱後約3時間, 約8時間, 術後1日目にカテコラミン使用量, SVIを測定し, 術後急性期の変化を検討した。また, 110例に対し, 術前(平均7.0日; 66日~術当日), 退院時(術後平均18.0日; 7~169日)に%EDV, ESVI, EFを計測した。検査時は全身麻酔下, もしくはトリクロホスナトリウム(1ml/kg)を用いて鎮静下に施行した。

各測定値は平均値±標準偏差で示した。統計学的方法は術後急性期を対象とした9例に対しては, 測定した術前術後のHR, %EDV, ESVI, EF, SVIおよびカテコラミン量変化はrepeated-measures ANOVAを用い, 必要に応じて対比検定した。また, 術後急性期のSVIに影響を与えると考えられる術前因子(%EDV, ESVI, EF, HR, 体重, 年齢)との相関を調べた。また, 110例に対し退院時EFに影響を与えると考えられる術前因子(%EDV, ESVI, EF, HR, 体重, 年齢)との相関を調べた。求められた相関より術後急性期SVI, 退院時EFに対する術前の危険因子を検索した。相関解析には直線回帰法を用い, 0.05以下の危険率で統計学的有意とした。

結 果

1. 術後急性期のカテコラミン使用状況(Fig. 1)

術後急性期のUCG測定時にはドーパミンとイソプロテレノールを使用した。ドーパミンに関しては術後約3時間では $4.0 \pm 1.3 \mu\text{g/kg/min}$ で, その後, 使用量に有意差は認めなかった。イソプロテレノール使用量は術後約3時間で $0.019 \pm 0.019 \mu\text{g/kg/min}$ で, その後, 術後約8時間での使用量は $0.025 \pm 0.017 \mu\text{g/kg/min}$, 術後1日目で $0.029 \pm 0.017 \mu\text{g/kg/min}$ となり, 術後約3時間と比較して術後1日目では有意差をもって増加していた($p < 0.05$)。

2. 心拍数の術前, 術後急性期変化(Fig. 2)

心拍数は術前 $130.7 \pm 13.1/\text{min}$ から術後急性期は $160/\text{min}$ 前後で有意($p < 0.01$)に増加して経過した。退院時は $122.3 \pm 15.8/\text{min}$ で術前と有意差を認めなかった。

3. %EDVの術前, 術後急性期変化(Fig. 3)

術前%EDVは $188.5 \pm 55.0\%$ of normalと左室拡大を認め, 術後約3時間で $112.8 \pm 33.7\%$ of normal, 術後約8時間で $125.0 \pm 40.6\%$ of normal, 術後1日目で $138.3 \pm 53.5\%$ of normal, 退院時では $125.1 \pm 28.2\%$ of normalと, 術前と比較し全経過を通して有意に減少した($p < 0.01$)。

4. ESVIの術前, 術後急性期変化(Fig. 4)

ESVIは術前 $41.4 \pm 12.1 \text{ml/m}^2$ と比較し術後3時間では $34.5 \pm 14.8 \text{ml/m}^2$, 術後8時間では $35.4 \pm 13.4 \text{ml/m}^2$ と有意差をもって減少するが(それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$), 術

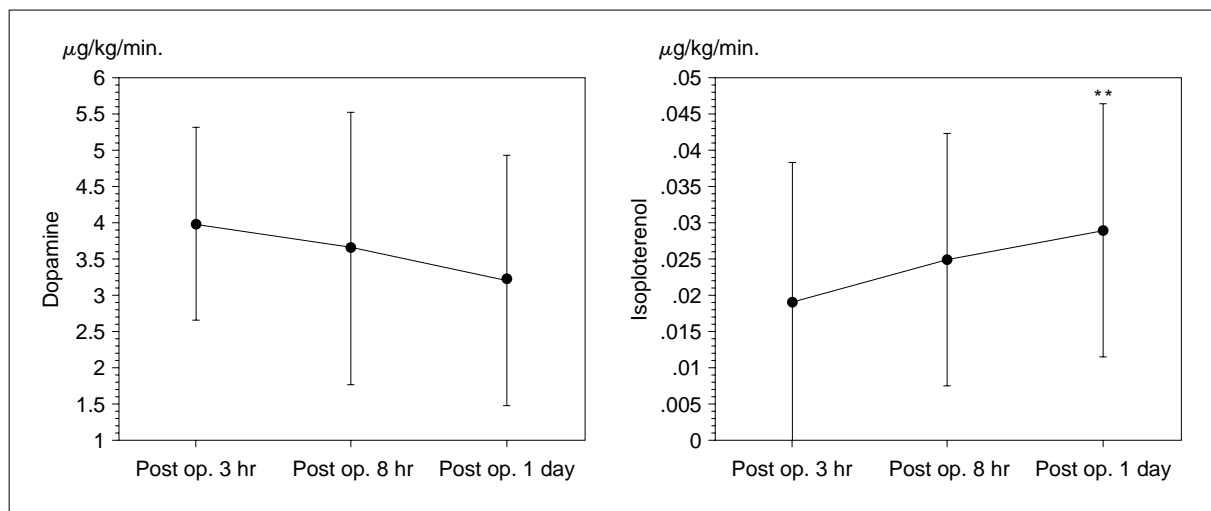


Fig. 1 Administrated catecholamine volume: postoperative course.
**: $p > 0.05$ vs. post op. 3 hr

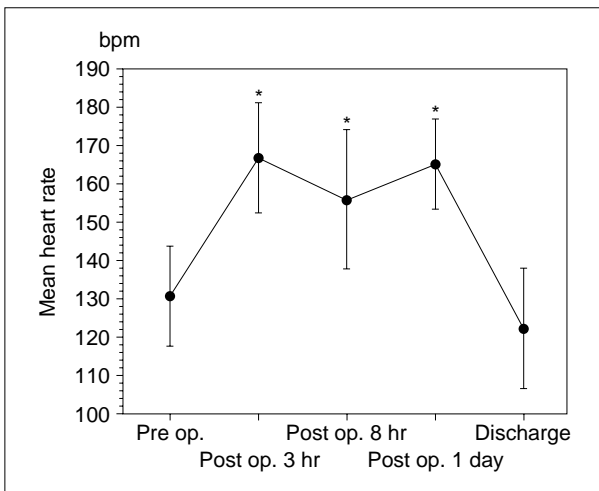


Fig. 2 Mean heart rate: preoperative and postoperative course.
*: $p > 0.01$ vs. pre op.

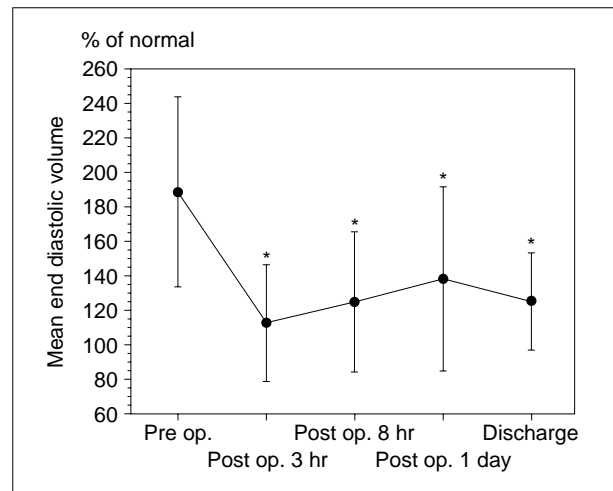


Fig. 3 Mean end-diastolic volume: preoperative and postoperative course.
*: $p > 0.01$ vs. pre op.

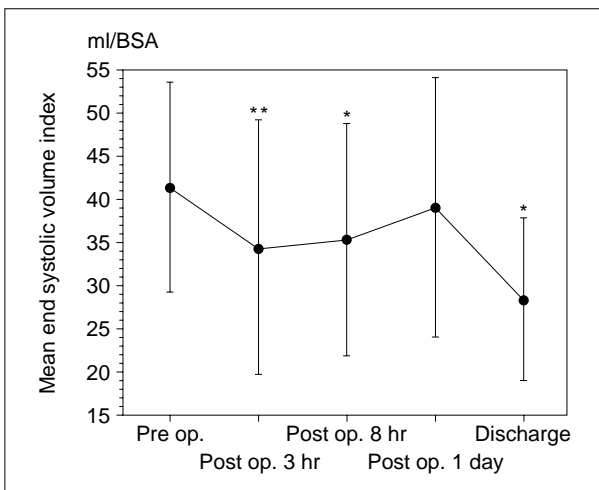


Fig. 4 Mean end-systolic volume index: preoperative and postoperative course.
*: $p > 0.01$ vs. pre op.
**: $p > 0.05$ vs. pre op.

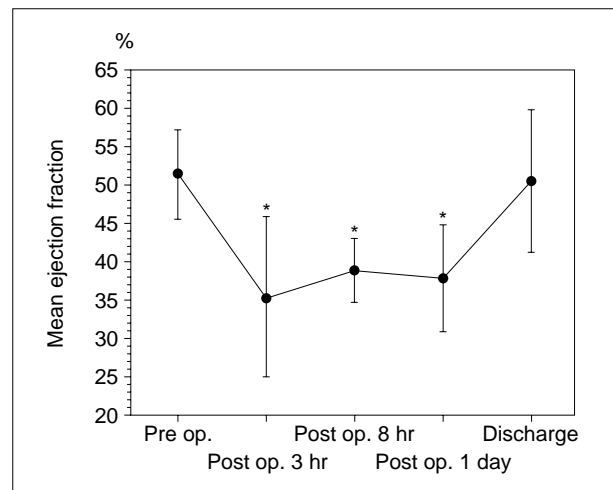


Fig. 5 Mean ejection fraction: preoperative and postoperative course.
*: $p > 0.01$ vs. pre op.

前と比較して減少率は術後8時間で14.5%と%EDVの減少率33.7%と比較し低値であった。術後1日目で有意差がなくなるが退院時では $28.5 \pm 9.4 \text{ ml/m}^2$ と術前より有意に減少していた($p < 0.01$)。

5. EFの術前, 術後急性期変化 (Fig. 5)

EFは術前 $51.4 \pm 5.8\%$ が術後約3時間では $35.4 \pm 10.4\%$ と最低となり, 術前より有意に低下した。その後, 術後急性期では有意に低値で経過した($p < 0.01$)。しかし, 退院時では $50.5 \pm 9.3\%$ と改善を認めた。

6. SVIの術後急性期変化 (Fig. 6)

術後急性期SVIは症例によりばらつきが多いが, EFの低値にもかかわらず良好に経過した症例が多かった。しかし, カテコラミンを使用しているにもかかわらず平均以下 (SVIが0以下) で経過する症例も散見された。

7. 術後急性期SVIと術前因子の相関

術後急性期SVIと術前%EDV, ESVI, EF, 体重, 年齢の相関を検討したところ, 術前%EDVと術前ESVIとの間に負の相関関係を認めた。術後約3時間SVIと術前%EDV, および術前ESVIではそれぞれ $r = -0.75$,

$p = 0.019 / r = -0.76$, $p = 0.017$ (Fig. 7). 術後約 8 時間 SVI では術前%EDV と術前ESVI で負の相関を認め、それぞれ $r = -0.74$, $p = 0.022 / r = -0.81$, $p = 0.009$ (Fig. 8) であった。また回帰式 Fig. 7, 8 より、術後カテコラミンを使用しているにもかかわらず術後急性期に心機能が平均を下回る (SVI が 0 以下) と予想されるのは、術前%EDV が 210% of normal, ESVI が 46 ml/m^2 を超える症例、心機能低下と判断できる SVI が -1 以下になると予想されるのは、術前%EDV が 220% of normal, ESVI が 48 ml/m^2 以上の症例であった。

8. 退院時 EF と術前因子の相関 (Fig. 9)

退院時 EF と術前%EDV, ESVI, EF, 体重, 年齢との相関を検討したところ、術前%EDV ($r = -0.20$, $p = 0.035$),

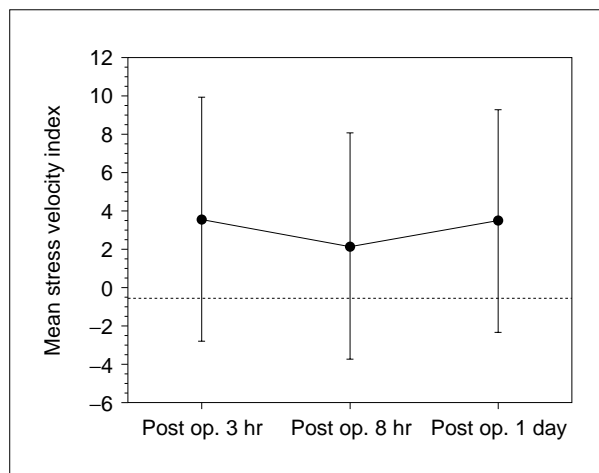


Fig. 6 Mean stress velocity index: postoperative course.

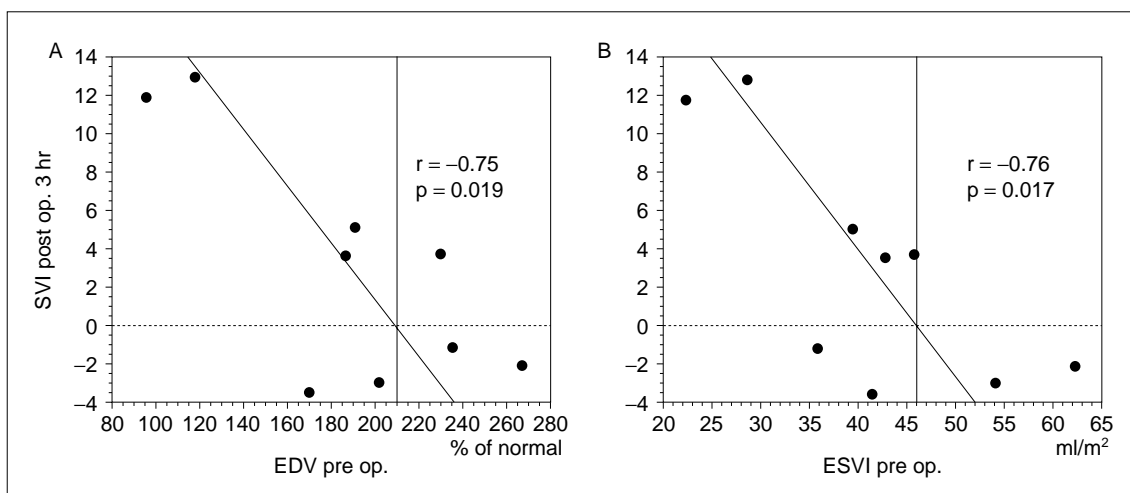


Fig. 7 Correlation between postoperative SVI after 3 hr. and preoperative EDV (A) and preoperative ESVI (B).

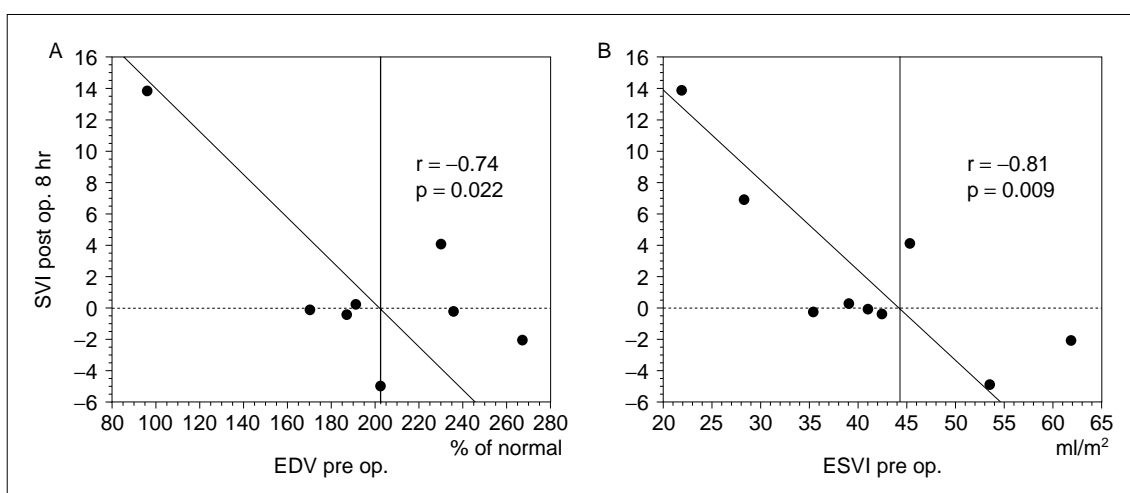


Fig. 8 Correlation between postoperative SVI after 8 hr. and preoperative EDV (A) and preoperative ESVI (B).

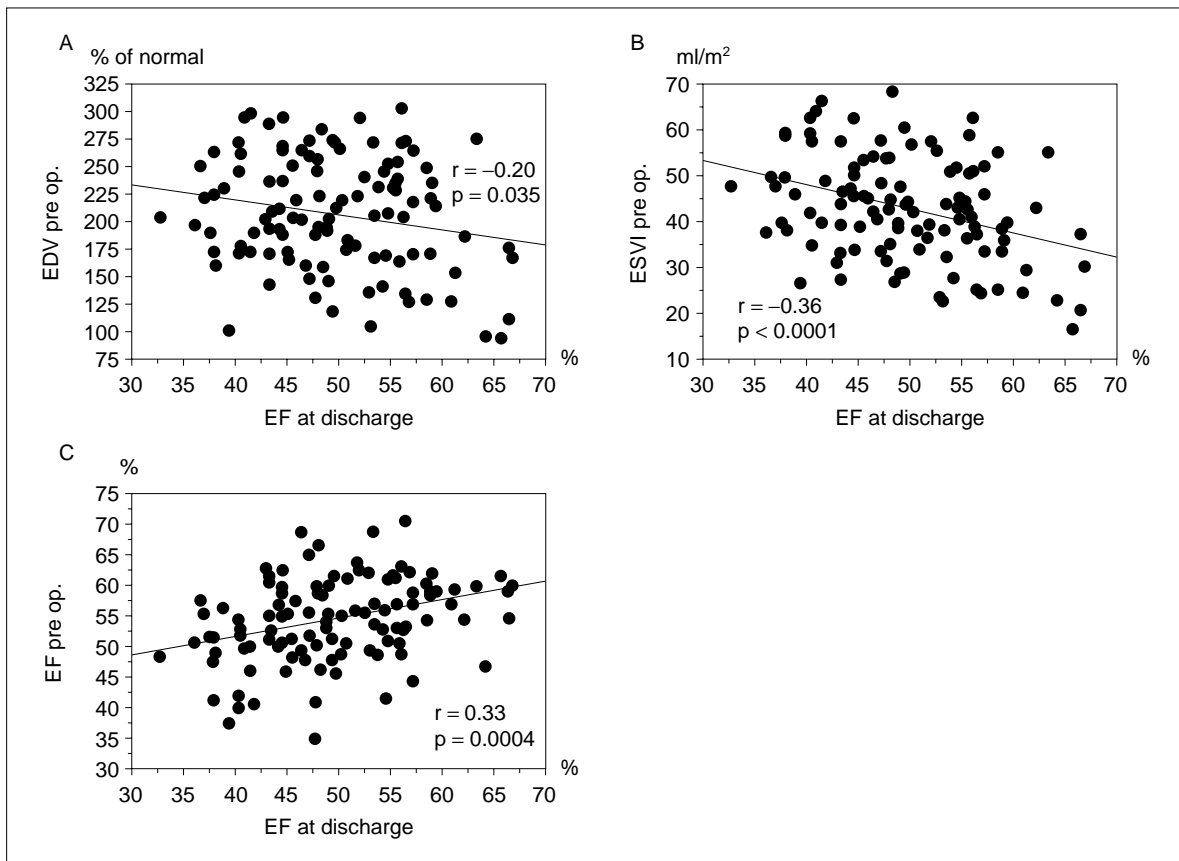


Fig 9 Correlation between ejection fraction at discharge and preoperative EDV (A), preoperative ESVI (B), and preoperative ejection fraction (C).

術前ESVK ($r = -0.36$, $p < 0.0001$), 術前EF ($r = 0.33$, $p = 0.0004$) にはばつきは多いが退院時EFと有意差をもって相関を認めた。

考 察

先天性心疾患開心根治術後は人工心肺離脱時より、術前とは全く異なった前負荷・後負荷に左心室がさらされ、種々の疾患や方法で術後急性期に左室容積、左室収縮能を評価した報告がされている²⁻⁷⁾。しかし、術前心室内左右短絡を有する症例で根治術直後の心機能等を詳細に評価した報告は少ない^{7,8)}。UCGは非侵襲的に心臓を評価することが可能で、先天性心疾患では、術前、術中、術後診断に不可欠な方法となっている。最近では、前負荷・後負荷に影響されない心機能の測定⁹⁾や左室容積の簡便な測定¹²⁾が可能となっている。今回、術前、術後急性期においてVSDの血行動態評価に応用し、検討を行った。

その結果、術後急性期に術前より%EDVが急激に減少し、EFが著しく低下していた症例を多く認めた。ま

た、左室前負荷、後負荷、心拍数に影響されない左室収縮能の指標であるSVIでは陽性変力作用を有するカテコラミンを使用しているにもかかわらず、SVIが平均以下を示す症例が散見された。術後イソプロテノールが時間経過とともに有意に増加していたが、これはEF低下とSVI低値の症例に対し増量していったことが原因と考えられる。このように、一般に術後経過が比較的安定しているVSDでも、詳細な検討により術後急性期では心機能低下例の存在が明らかになった。

術後EFの低下の原因としては、心筋虚血の影響、前負荷の減少、カテコラミンの使用による心拍数の増加などが考えられる。さらに、心室内左右短絡が消失するために、術後左室後負荷がむしろ増大することも原因の一つではないかと考えられる。左右短絡が多く%EDVの増加を来した症例では肺血管抵抗が低いと想像される。心室内短絡のない心臓では大動脈弁が閉鎖した時点で左室収縮が終了するが、VSDが存在し肺血管抵抗が低い症例では大動脈弁閉鎖後も肺動脈弁は開放しており、左心室は収縮し続けてVSDを通して肺動脈

に血液を拍出し続ける。その結果、左室収縮末期圧は、大動脈弁閉鎖時の圧ではなく、心室内左右短絡が終了した時点の圧となり、大動脈弁閉鎖時の大動脈圧より低圧であると考えられる。根治術後の左室収縮末期圧は、心室内短絡の消失により大動脈弁閉鎖直後の圧となり、術前と比較して上昇する。その結果、左室後負荷の増大が起こり、EFの低下を来したと考えられる。

さらに、今回の検討で術前%EDV、ESVIの大きい症例では、カテコラミンを使用しているにもかかわらず、術後SVIが低値であったことが示された。この術後心機能低下の原因として、術前から存在する心室拡大による心機能低下が挙げられる。術前%EDVの増大している症例は、左室前負荷増大の結果と考えられる。これは左右短絡血流量の増加に起因する。左右短絡血流量の増大の原因は、大きい心室中隔欠損孔、低肺血管抵抗の2要素が必要である。そのため、ある程度の大きさを有する心室中隔欠損症の場合、肺血管抵抗が低値なほど、%EDVが大きくなると予想される。次に、肺血管抵抗と左室後負荷の関係を考えてみる。前述したようにVSDの左室は、大動脈弁閉鎖後もVSDを通して肺動脈に駆出する。左室の収縮が終了するのは肺動脈弁が閉鎖した時点と仮定できる。VSDがある程度の大きさを有し肺動脈弁に狭窄がなければ、左室収縮末期圧は肺動脈弁の閉鎖した時点、つまり肺動脈収縮末期圧に近似すると考えられる。また、肺血管抵抗が低ければ低いほど、肺動脈弁の閉鎖時点の肺動脈収縮末期圧は低下すると考えられる。そのため、肺血管抵抗が低いほど、左室収縮末期圧も低下すると仮定できる。以上より、術前%EDVが増大している症例ほど、左室後負荷が減少していることが予想される。以上より、容量負荷を認めるVSDの術前では、前負荷の増大と後負荷の減少に起因する心室拡大を認めると考えられる。同様の血行動態は僧帽弁閉鎖不全症でも報告されている。Grahamらの報告するVSDとRossらが報告する僧帽弁閉鎖不全症の圧容量曲線は非常に類似している^{1,13)}。僧帽弁閉鎖不全症では術前から左室収縮能低下が広く知られているところであり^{14,16-18)}、同様にVSDでも術前より左室心機能が低下していると考えられる。

また、110例のVSDにおける入退院時の比較検討で、術前%EDV・ESVIの増大、術前EFの低下している症例では、退院時EFの低下を来す可能性が示唆された。術前EFの良好な疾患ではあるが、術前%EDV・ESVIの増大、術前EFの低下している症例では退院時EF低下の危険因子となることが予想された。これも、術前からの

左室収縮能の低下が原因と考えられた。これと同様の結果が僧帽弁閉鎖不全症の症例で報告されている。僧帽弁閉鎖不全症の術後遠隔期では、術前EFの低下例および左室収縮末期径の拡大例で、術後EFの低下を認め、術前の心機能の低下が原因であると結論づけている¹⁴⁻¹⁷⁾。

また、術直後に認めたEFの低下は退院時では術前程度に回復していた。心拍数の減少に伴うEFの改善は考慮されるべきであるが、VSD術後遠隔期では左室収縮能も改善される症例が多いのではないかと考えられる。VSDでは肺血流増加から肺うっ血を伴いやすく、早期に臨床症状が出現するため、手術が早い時期に施行されるからではないかと考えられた。今回検討した症例はすべて2歳以下の手術で、心負荷が短時間で改善されたと思われた。このため術前の心筋障害が軽度か可逆性の状態であり、術後心筋の負荷軽減により心収縮能が改善される可能性は考えられた。5歳以上でVSD根治術を施行した症例では術後左室拡大、EFの低下、左室心筋重量の増大を認めるが、2歳以下では左室拡大、左室収縮障害を予防できるとの報告もある¹⁾。また、僧帽弁閉鎖不全症でも術後EDVおよびESVが減少するような症例では、心機能障害を術前から認めるが可逆性であるという報告があり¹⁸⁾、心機能の改善する症例の存在を示唆している。以上の検討より、VSDであっても、術前%EDV・ESVIの増大している症例では乳児期に根治術を行っても、術直後に心筋障害が遺残する可能性があり、なるべく早期に手術を行うことが賢明ではないかと考えられた。また、僧帽弁閉鎖不全症の経験からすると、術前のEFの低下、およびESVIの増大している症例では、遠隔期にも心機能の低下を来す可能性があり、術前EFの低下、ESVIの増大を来す以前に手術時期を決定することが重要だと考えられた^{16,17)}。

今回のVSDでの検討では、術前のSVIの計測は左右短絡の存在により、左室収縮末期圧の測定が不可能であり、確認できていない。術後急性期の心機能低下の原因が術前から存在する心機能低下によるものとは断定できない。ほかに心機能を障害する原因としては人工心肺や大動脈遮断による影響もあり、無視できない。また、退院時EFの低下している症例は遠隔期にEFの改善を認めるかは不明であり、今後検討を重ねていきたいと思う。

まとめ

心室内左右短絡を有するVSDにおいて根治術前に正確な心機能を簡便に測定するのは困難である。したがって、根治術前ではEFだけで心機能を評価しがちで

あるが、今回の検討より左室拡大を伴う症例では術前心機能が低下していることが予想された。左室拡大を認めない肺血管抵抗の上昇したVSDはもちろん、特に強い肺高血圧症を合併していなくても、術後心機能を温存するという観点に立つと術前%EDVが210% of normal, ESVIが46ml/m²となる以前に手術を考慮すべきだと考えられた。また、術前左室拡大、EFの低下を認める症例では根治術後退院時にEFの低下する傾向があり、注意深い経過観察が必要と考えられた。

本論文の要旨の一部は第36回日本小児循環器学会総会シンポジウム(2000年7月、鹿児島)および第32回日本心臓血管外科学会総会(2002年2月、大阪)にて発表した。

【参考文献】

- 1) Graham TP Jr: Ventricular performance in congenital heart disease. *Circulation* 1991; 84: 2259-2274
- 2) Boutin C, Wernovsky G, Sanders SP, et al: Rapid two-stage arterial switch operation. Evaluation of left ventricular systolic mechanics late after an acute pressure overload stimulus in infancy. *Circulation* 1994; 90: 1294-1303
- 3) Chaturvedi RR, Lincoln C, Gothard JWW, et al: Left ventricular dysfunction after open repair of simple congenital heart defects in infants and children: Quantitation with the use of a conductance catheter immediately after bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115: 77-83
- 4) Kimball TR, Ralston MA, Khoury P, et al: Effect of ligation of patent ductus arteriosus on left ventricular performance and its determinants in premature neonates. *J Am Coll Cardiol* 1996; 27: 193-197
- 5) Colan SD, Trowitzsch E, Wernovsky G, et al: Myocardial performance after arterial switch operation for transposition of the great arteries with intact ventricular septum. *Circulation* 1988; 78: 132-141
- 6) 小出昌秋：完全大血管転位症I型に対する新生児期 Jatene 手術後急性期の左室機能評価：心エコー法による収縮末期左室壁応力 心拍補正mean Vcf関係の応用。日胸外会誌 1994；42：2023-2031
- 7) Bjornstad PG, Semb BK: Echocardiographic assessment of left ventricular function in left ventricular volume load and the immediate changes after operation. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* 1986; 20: 47-52
- 8) Sunakawa A, Nakamura Y, Shinohara T, et al: Angiocardiographic evaluation of ventricular septal defect - pre- and post-operative cardiac volume characteristics. *Jpn Circ J* 1983; 47: 625-634
- 9) Colan SD, Borow KM, Neumann A: Left ventricular end-systolic wall stress-velocity of fiber shortening relation: A load-independent index of myocardial contractility. *J Am Coll Cardiol* 1984; 4: 715-724
- 10) Grossman W, Jones D, McLaurin LP: Wall stress and patterns of hypertrophy in the human left ventricle. *J Clin Invest* 1975; 56: 56-64
- 11) 片山博視：End-systolic wall stressから見た先天性心疾患の非侵襲的心機能評価の検討。東女医大誌 1990；60：69-81
- 12) 青墳裕之，内柴三佳，丹羽公一郎，ほか：心断層心コー図による簡便な左室拡張末期容積評価についての検討。日児誌 1991；95：2034-2039
- 13) Ross J Jr: Afterload mismatch in aortic and mitral valve disease: Implications for surgical therapy. *J Am Coll Cardiol* 1985; 5: 811-826
- 14) Carabello BA, Nolan SP, McGuire LB: Assessment of preoperative left ventricular function in patients with mitral regurgitation: Value of the end-systolic wall stress-end-systolic volume ratio. *Circulation* 1981; 64: 1212-1217
- 15) Krishnan US, Gersony WM, Berman-Rosenzweig E, et al: Late left ventricular function after surgery for children with chronic symptomatic mitral regurgitation. *Circulation* 1997; 96: 4280-4285
- 16) Enriquez-Sarano M, Tajik AJ, Schaff HV, et al: Echocardiographic prediction of left ventricular function after correction of mitral regurgitation: Results and clinical implications. *J Am Coll Cardiol* 1994; 24: 1536-1543
- 17) Starling MR: Effects of valve surgery on left ventricular contractile function in patients with long-term mitral regurgitation. *Circulation* 1995; 92: 811-818
- 18) Starling MR, Kirsh MM, Montgomery DG, et al: Impaired left ventricular contractile function in patient with long-term mitral regurgitation and normal ejection fraction. *J Am Coll Cardiol* 1993; 22: 239-250