

乳児開心術直後における Emax, Ea の近似による計測の試み

(平成11年9月28日受付)

(平成11年12月13日受理)

九州厚生年金病院心臓血管外科

田ノ上禎久 瀬瀬 顯 上野 安孝 坂本 真人
深江 宏治 園田 拓道 岩井 敏郎 江藤 政尚

key words : 乳児開心術, 心内膜自動認識システム, 心機能, Emax, Ea

要 旨

乳児開心術直後, 通常の方法では測定困難な心収縮能の指標 (Emax), 後負荷の指標 (Ea), および, 機械的効率の指標 (Ea/Emax) の近似による計測を試みた.

本院にて開心術を施行した乳児7症例(心室中隔欠損症5例, ファロー四徴症1例, 総肺静脈還流異常症1例)に対し, 心内膜自動認識システムを搭載したエコー装置により左心室短軸断面積を計測し, 橈骨動脈圧から心収縮能の指標である心室収縮末期最大弾性率(end-systolic maximal elastanc; Emax)と後負荷の指標である実効動脈エラスタンス(effective arterial elastance; Ea)を近似し, 機械的効率の指標である心室動脈整合条件(ventriculoarterial coupling; Ea/Emax)を算出した. Emaxは平均橈骨動脈圧を心室収縮期(最小)短軸断面積で除して近似し, Eaは橈骨動脈収縮期圧を拡張期(最大値)と収縮期(最小値)の心室短軸断面積の差で除して近似した. 患児が集中治療室に入室した後, ドーパミン3 μ g/kg/min増量, アムリノン5 μ g/kg/min増量によるEmax, Ea, Ea/Emaxの変化を計測することにより本計測法の妥当性を検討した.

ドーパミン, アムリノンの増量によりEmaxが増加し, Eaはドーパミンの増量により増加し, アムリノンの増量により減少した. Ea/Emaxはドーパミン, アムリノンの増量により減少した.

近似による本計測法は開心術直後の乳児症例に対するドーパミンの心収縮能増強作用, 後負荷増大作用, アムリノンの心収縮能増強作用, 後負荷軽減作用を評価することが可能であった.

はじめに

乳児開心術後に心収縮能, 後負荷等の心機能の評価が可能であれば周術期の管理の大きな手助けとなりうる. 左心室圧容積関係から得られる情報は, 負荷非依存性の心収縮能の指標である心室収縮末期最大弾性率(end-systolic maximal elastanc; Emax)¹⁾, 後負荷

の指標である実効動脈エラスタンス(effective arterial elastance; Ea)²⁾, および, 機械的効率の指標である心室動脈整合条件(ventriculoarterial coupling; Ea/Emax)³⁾等, 極めて有益なものである. しかしながら, 左心室圧容積関係を算出するためには, コンダクタンスカテーテルやカテ先圧トランスデューサーを左心室内に留置する必要があるが, 乳児開心術後の患児に対して行うことは非現実的である.

近年, エコー検査装置の進歩に伴い連続的な心内膜の自動認識が可能となった. 実験動物において, 左心室短軸断面積と容積の良好な相関関係の報告がなされ³⁾, 臨床においても, 左心室容積の代わりに心臓エコー装置により計測された左心室短軸断面積を用い,

別刷請求先: (〒806 8501)福岡県北九州市八幡西区岸の浦2-1-1

九州厚生年金病院心臓血管外科

田ノ上禎久

TEL: 093 641 5111

FAX: 093 641 8080

E-mail: tanoue@heart.med.kyushu-u.ac.jp

左心室圧 短軸断面積関係より, E_{max} , E_a を算出し, 心機能の評価が可能であるという報告がなされている^{3,4)}. これらの報告では, E_{max} の算出のために, 下大静脈を一時的に閉塞することで前負荷を変化させて複数の左心室圧 短軸断面積ループを計測することが行われているが, この方法も乳児開心術後の患児に対して行うことは非現実的である.

我々は, 第35回日本小児循環器学会総会において, 心臓カテーテル検査時の圧データと心室容積データより E_{max} , E_a を近似し, 両方向性グレン手術, フォンタン型手術前後での体心室の心機能の評価が可能であることを報告した⁵⁾. 左心室容積を左心室短軸断面積で代用し, 左心室圧を橈骨動脈圧で代用すれば, この近似法を用いて乳児開心術後の患児に対しても E_{max} , E_a の計測が可能となる. 今回我々は, 開心術直後の乳児に対して, 集中治療室入室後に, 心内膜自動認識システムを搭載したエコー装置により計測した左心室短軸断面積と橈骨動脈圧から, E_{max} , E_a を近似し, E_a/E_{max} を算出し, ドーパミン, アムリノン増量による E_{max} , E_a , E_a/E_{max} の変化を計測することにより, 本計測法の妥当性を検討したので報告する.

対象と方法

当院にて開心術を施行された乳児のうち, 術中, 経静脈経心房中隔的に左心房圧モニターを挿入され, ドーパミン, ドブタミンの総使用量が $5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 以下の7症例を対象とした. 疾患の内訳は心室中隔欠損症5例, ファロー四徴症1例, 総肺静脈還流異常症1例で, 手術時体重が $3.94 \sim 7.72 \text{ kg}$ (平均 $5.47 \pm 1.22 \text{ kg}$), 手術時年齢が $1 \sim 10$ カ月(平均 4.7 ± 3.5 カ月)であった.

集中治療室入室後に, 心内膜自動認識システムを搭載したエコー装置 (Sonos 1500, Hewlett-Packard, Andover, Mass.) により左心室短軸断面積を計測し, 同時に心拍数, 左心房圧と橈骨動脈圧を計測し, アナログデジタル変換器 (MacLab System, ADInstruments, Ltd., Dunedin North, New Zealand) により毎分200ポイントの割合でコンピュータ (Macintosh PowerBook 540 C, Apple computer, Inc., Cupertino, Calif.) に測定値を記録した. 下記に示す計算式により, 呼吸終末時の測定値から E_{max} , E_a を近似し, E_a/E_{max} を算出した.

E_{max} 平均橈骨動脈圧/心室収縮期(最小)短軸断面積

E_a 橈骨動脈収縮期圧/(心室拡張期(最大)短軸断

面積 - 心室収縮期(最小)短軸断面積)

集中治療室入室後, 血行動態が安定した状態で計測を行った後(C1), ドーパミンを $3 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 増量した後, 30分経過して同様の計測を施行し(DOB), ドーパミンの効果を計測した. 次にドーパミンの元の量に戻した後, 30分経過してから計測を行い(C2), アムリノンを $5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 増量した後, 60分経過してから計測を行い(AMR), アムリノンの効果を計測した. 計測の間, 呼吸器の設定は一定とし, 循環血液量の変化を最小限に留めるために, 点滴量は維持量で固定し, 利尿剤の投与は行わなかった. また, 電解質は計測開始前に補正し, 計測中に補正電解質の投与は行わなかった.

統計学的検討は paired t-test を用いた.

結果

本計測中に循環動態に問題を来した症例はなかった.

表1 ドーパミン, アムリノンの増量による心拍数, 左心房圧, 平均橈骨動脈圧の変化

	心拍数 (/分)	左心房圧 (mmHg)	平均橈骨動脈圧 (mmHg)
C1	137 ± 12	4.66 ± 0.23	55.7 ± 4.1
DOP	141 ± 14	4.81 ± 0.82	60.5 ± 7.0
p-value	NS	NS	0.034
C2	136 ± 11	4.88 ± 0.43	57.2 ± 5.8
AMR	136 ± 14	4.34 ± 0.59	59.2 ± 5.0
p-value	NS	0.002	NS

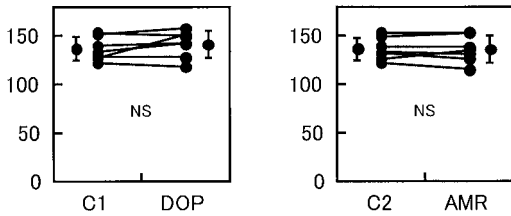
値は平均 ± 標準偏差で示す. C1, 集中治療室入室後, 血行動態が安定した状態; DOB, ドーパミン $3 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 増量後; C2, ドーパミンを元の量に戻した後; AMR, アムリノン $5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 増量後; NS, 有意差なし.

表2 ドーパミン, アムリノンの増量による E_{max} , E_a , E_a/E_{max} の変化

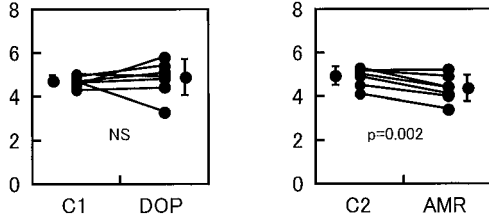
	E_{max} (mmHg/cm ²)	E_a (mmHg/cm ²)	E_a/E_{max}
C1	71.7 ± 21.4	81.6 ± 36.7	1.15 ± 0.29
DOP	104.7 ± 34.3	86.4 ± 36.6	0.88 ± 0.36
p-value	0.003	0.012	0.001
C2	76.6 ± 20.3	84.3 ± 36.5	1.10 ± 0.30
AMR	99.3 ± 24.2	73.6 ± 38.5	0.73 ± 0.24
p-value	< 0.001	0.034	0.001

値は平均 ± 標準偏差で示す. C1, 集中治療室入室後, 血行動態が安定した状態; DOB, ドーパミン $3 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 増量後; C2, ドーパミンを元の量に戻した後; AMR, アムリノン $5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 増量後.

心拍数(/分)



左心房圧(mmHg)



平均橈骨動脈圧(mmHg)

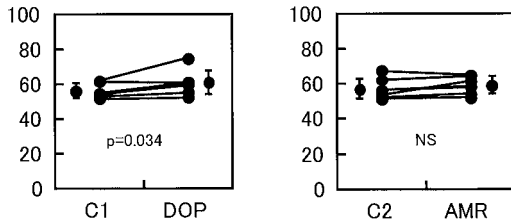
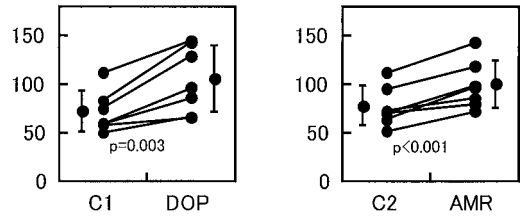
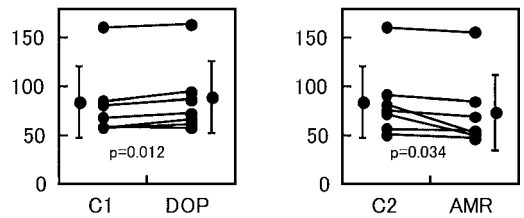


図1 ドーパミン,アムリノンの増量による心拍数,左心房圧,平均橈骨動脈圧の変化
値は7症例個々の値と平均±標準偏差で示す。C1,集中治療室入室後,血行動態が安定した状態;DOB,ドーパミン3μg/kg/min増量後;C2,ドーパミンを元の量に戻した後;AMR,アムリノン5μg/kg/min増量後;NS,有意差なし。

E_{max}(mmHg/cm²)



E_a(mmHg/cm²)



E_a/E_{max}

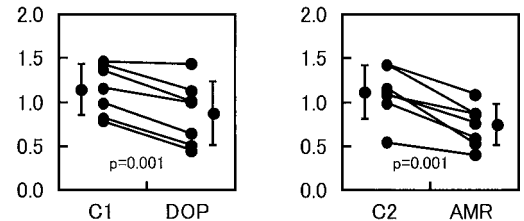


図2 ドーパミン,アムリノンの増量による E_{max}, E_a, E_a/E_{max} の変化
値は7症例個々の値と平均±標準偏差で示す。C1,集中治療室入室後,血行動態が安定した状態;DOB,ドーパミン3μg/kg/min増量後;C2,ドーパミンを元の量に戻した後;AMR,アムリノン5μg/kg/min増量後。

た。

ドーパミン増量前後,アムリノン増量前後の心拍数,左心房圧と橈骨動脈圧の変化を表1と図1に,近似により計測・算出された E_{max}, E_a と E_a/E_{max} の変化を表2と図2に示す。

心拍数はドーパミン,アムリノンの増量により変化せず,左心房圧はドーパミンの増量により変化しなかったが,アムリノンの増量により有意に低下した。平均橈骨動脈圧はドーパミンの増量により有意に上昇したが,アムリノンの増量により変化しなかった。

ドーパミン,アムリノンの増量により E_{max} が有意に増加した。E_a はドーパミンの増量により有意に増加し,アムリノンの増量により有意に減少した。E_a/

E_{max} はドーパミン,アムリノンの増量により有意に減少した。

考 察

乳児開心術後に,複数の左心室圧容積曲線が計測可能であれば,収縮末期圧容積関係より負荷非依存性の心収縮能の指標である E_{max}¹⁾,左心室収縮末期圧を一回拍出量で除して得られる後負荷の指標である E_a²⁾など様々な循環動態の情報が得られる。これらの情報は重症患児に対する強心剤と血管拡張剤の適切な投与の指針になろうし,複雑心奇形の特種循環動態の解明にも有用であろう。しかしながら,乳児開心術後に集中治療室で左心室の容積を測定することはほとんど不可能であり,複数の左心室圧容積曲線の解析

は非現実的である。

今回、乳児開心術の症例に対して試みた Emax, Ea の近似による計測法は、左心室短軸断面積と左心室容積の変化に相関性があり、左心室圧の代わりに橈骨動脈圧から Emax, Ea の近似が可能であるという概念に基づいている。開心術後の乳児は、心内膜自動認識システムを搭載した心エコーによる経胸壁的な左心室短軸断面積の計測が容易であり、橈骨動脈圧は全症例でモニターされている。

左心室短軸断面積と左心室容積の相関に関しては、森田らが、雑種成犬のバルーンを挿入された摘出灌流心モデルにおいて 0.99 と高い相関があったことを報告している³⁾。彼らはさらにコンダクタンスカテーターを用いた雑種成犬の右心バイパスモデル下に同様の検討を行い同様に 0.92 と高い相関があったことを報告している³⁾。彼らはこれらの検討をもとに、経食道心エコーにより連続的に計測された左心室短軸断面積を用いて大動脈弁置換術前後の心機能の変化の評価が可能であったことを報告している^{3,4)}。先天性心疾患の様な正常心と短軸像形態の異なる心臓に対しては、野村らが、開心術中に心房中隔欠損症例を含むの 6 人の患者に対して、直接心表面に当てたエコープローブにより算出された左心室容積とコンダクタンスカテーターにより直接計測された左心室容積とを比較し、各々の測定値から算出された Emax において 0.84 と高い相関関係を認めたことを報告している⁵⁾。また、清水らが同じ手技を用いて、心室中隔欠損症とファロー四徴症の患者に対して術前術後の左心室圧 容積関係を求め左心室機能の評価している⁷⁾。

Emax, Ea の近似に関しては、我々が、雑種成犬の右心バイパスモデルにおいて、コンダクタンスカテーターを用いて得られた左心室圧 容積関係から、Emax は平均大動脈圧を体心室収縮期容積で除すことで、Ea は体心室収縮期圧を体心室の拡張期と収縮期の容積差で除すことで近似が可能で、各々の相関関係を 0.96 と 0.97 と高いことを報告した⁵⁾。

我々は、この二つの方法論から、左心室容積の測定が困難である開心術後の乳児において、心エコーにより計測される左心室短軸断面積と橈骨動脈圧から、Emax, Ea の近似が可能であると仮定し本研究を行った。本計測法により乳児開心術の 7 症例において、左心室のドーパミンの心収縮能増強作用 (Emax 増大)、後負荷増大作用 (Ea 増大)、アムリノンの心収縮能増強作用 (Emax 増大)、後負荷軽減作用 (Ea 減少) を評価

することが可能であった。

近似による本計測法は乳児開心術後の左心室機能の評価以外にも応用できる可能性を秘めている。右心室圧 短軸断面積関係を用いて右心室機能評価が可能であったとする報告もあり^{8,9)}、肺動脈圧モニターラインが留置されている症例では右心室の Emax, Ea の近似による計測にも応用可能である。右心室機能の評価に応用すれば、肺高血圧症を合併している症例や右心不全を呈している症例において有用な計測法と考えられる。さらに、単心室の症例においても、体心室の心収縮能、後負荷を評価することにより、両方向性グレン手術、フォンタン型手術前後の血行動態の詳細な検討が可能となる。

左心室圧の代わりに橈骨動脈圧を用いることは様々な問題点がある。術直後の末梢循環が不良な状態では、橈骨動脈圧が正確にモニターできないことはしばしば経験するところである。しかしながら、そういう場合でもマンシット圧を代用すれば、本計測法は可能である。橈骨動脈圧の代わりにマンシット圧を用いれば、橈骨動脈圧がモニターされていない状況、たとえば、外来における患児の Emax, Ea の近似による評価にも応用可能である。

近似による本計測法は、心内膜自動認識システムを搭載したエコー装置があれば、大きな侵襲を患児に与えることなく施行することが可能である。今後、本計測法で得られる正常児の Emax, Ea の近似値の検討、橈骨動脈圧とマンシット圧の比較が肝要と考える。

結 論

1. 乳児開心術直後、心内膜自動認識システムを搭載したエコー装置により計測した左心室短軸断面積と橈骨動脈圧から、Emax, Ea の近似、Ea/Emax の算出を試みた。

2. 近似による本計測法により開心術直後の乳児症例に対するドーパミンの心収縮能増強作用 (Emax 増大)、後負荷増大作用 (Ea 増大)、アムリノンの心収縮能増強作用 (Emax 増大)、後負荷軽減作用 (Ea 減少) を評価することが可能であった。

3. 本計測法は、橈骨動脈圧の代わりにマンシット圧を用いれば開心術後の患児だけでなく、外来における患児の Emax, Ea の近似による評価にも応用可能である。

本研究は厚生年金事業振興団職員研究助成を受けた。

本論文の要旨は、第 32 回日本胸部外科学会九州地方会総会 (1999 年 7 月、長崎) において発表した。

文 献

- 1) Suga H : Ventricular energetics. *Physiol Rev* 1990 ; 70 : 247 - 77
- 2) Sunagawa K, Maughan WL, Burkhoff D, Sagawa K : Left ventricular interaction with arterial load studied in isolated canine ventricle. *Am J Physiol* 1983 ; 245 : H 773 - 80
- 3) 森田茂樹, 中島淳博, 久原 学, 田ノ上禎久, 落合由恵, 富永隆治, 安井久喬 : 経食道エコーによる術中心室圧容積関係の評価法 . 日本 ME 学会雑誌論文号 JJME 1996 ; 34(Suppl.) : 118(Abstr.) .
- 4) Morita S, Hisahara M, Shiraishi K, Okamoto H, Kawachi Y, Kohno H, Mayumi H, Masuda M, Takahashi S, Yasui H : Contrasting effect of aortic valve replacement of left ventricular contractility between aortic stenosis and regurgitation. *Circulation* 1994 ; 90 (Suppl.) : I-562 (Abstr.) .
- 5) 田ノ上禎久, 瀬瀬 顯, 上野安孝, 坂本真人, 福村文雄, 岩井敏郎, 城尾邦隆, 肘井孝之 : 両方向性 Glenn 手術 , 段階的 TCPC 前後の体心室の収縮性 , 後負荷 , 機械的効率の検討 . 日小児循環器会誌 *Acta Cardiol Paed Jpn* 1999 ; 15 : 233(Abstr.) .
- 6) 野村耕司, 黒澤博身, 森田紀代造, 奥山 浩, 小柳勝司, 長堀隆一, 鈴木博之 : 心エコーとコンダクタンスカテーテルによる左室圧 容積曲線の比較検討 . 日胸外雑誌 1997 ; 45 : 37 - 41
- 7) 清水昭吾, 黒澤博身, 中野雅道, 橋本和弘, 鈴木和彦, 山岸正明, 奥山 浩, 野村耕司 : 心室中隔欠損症及びファロー四徴症における左室圧 容積曲線を用いた術前後の左室機能解析 . 日胸外雑誌 1997 ; 45 : 1961 - 7
- 8) Ochiai Y, Morita S, Tanoue Y, Kawachi Y, Tominaga R, Yasui H : Use of trasesophageal echocardiography for postoperative evaluation of right ventricular function. *Ann Thorac Surg* 1999 ; 67 : 146 - 53
- 9) Ochiai Y, Morita S, Tanoue Y, Kawachi Y, Tominaga R, Yasui H : Effects of amrinone, a phosphodiesterase inhibitor, on right ventricular/arterial coupling immediately after cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998 ; 116 : 139 - 47

The approximation of Emax and Ea after cardiac operations of infant

Yoshihisa Tanoue, Akira Sese, Yasutaka Ueno, Masato Sakamoto, Kouji Fukae,
Hiromichi Sonoda, Toshiro Iwai and Masataka Eto
Department of Cardiovascular Surgery, Kyushu Kosei-Nenkin Hospital

We tried to measure contractility (end-systolic maximal elastance ; Emax) afterload (effective arterial elastance ; Ea) and mechanical efficiency (ventriculoarterial coupling ; Ea/Ees) after cardiac operation on infancy. Seven infancies after cardiac operation (ventricular septal defect 5, tetralogy of Fallot 1, total anomalous pulmonary venous connection 1) were studied to compare the effects of dopamine and amrinone. Their left ventricular cross-sectional area was measured by transthoracic echocardiography with automated border detection capability. Emax and Ea were approximated as follow ; Emax = mean radial arterial pressure/minimal-systolic ventricular cross-sectional area, Ea = systolic radial arterial pressure/(maximal-diastolic ventricular cross-sectional area - minimal-systolic ventricular cross-sectional area) and Ea/Emax was then calculated. Both dopamine and amrinone increased Emax, and dopamine increased Ea, whereas amrinone decreased Ea, resulting in the improvement of Ea/Emax. In conclusions, the approximation of Emax and Ea by the measurement of left ventricular cross-sectional area enabled to compare the hemodynamic effects of dopamine and amrinone on infancy after cardiac operation.