日本小児循環器学会雑誌　5巻2号　240～244頁（1989年）

小児心疾患における左室 endsystolic wall stress-Vcf 関係
—心エコーを用いた検討およびその精度について—

（昭和63年12月23日受付）
（平成1年7月4日受理）

順天堂大学小児科
井埜　利博　　秋元かつみ　　島崎信次郎
朴　　仁三　　西本　　啓　　藪田敬次郎

要　旨

正常小児及び心疾患児57例（8.7±4.6歳，男35，女22）に心エコーを用いて endsystolic wall stress（ESWS），velocity of circumferential fiber shortening（Vcf）を測定し，その有用性および精度について検討した．18例には従来の方法に加え，左室短軸断層より面積から補正した cESWS-cVcf 関係を求めた．その結果，(1) 正常小児33例の ESWS-Vcf 関係は ESWS＝－0.008Vcf＋1.5，r＝－0.68と良好に負の相関を示した．(2) 3例にドブタミン負荷（5γ/kg/分静注法）を行ない経時的に測定した結果，ESWS-Vcf 関係は収縮性増大の判定や薬物効果の判定に極めて鋭敏な指標であると思われた．(3) 左室壁運動異常のある症例では ESWS と cESWS の誤差が大きく cESWS を用いた方が良いと思われる．(4) 心疾患24例のうち Vcf＜0.9は18例であったが，ESWS-Vcf 関係の正常域99%以下は12例で真の心収縮力低下とみなすことができた．

ESWS-Vcf 関係は小児心疾患にも心収縮力の鋭敏な指標として適応できると思われる．壁運動異常や左室変形のある例では左室短軸断層像の面積から補正した cESWS，cVcf 値を求めることにより適応できると思われる．

はじめに

真の収縮性とは心筋そのものの収縮特性を意味し，心臓全体のポンプとしての機能と別に考えねばならない．従来用いていた駆出率（ejection fraction＝EF）や fractional shortening（＝FS）などの指標は，心室の全体としての機能を表しており，心拍数や後負荷などの影響を多く受けるため本来の意味の心収縮力を表しているとは言えない．

最近，前負荷および心拍数に依存しない左室収縮期機能の指標として収縮末期壁応力（endsystolic wall stress＝ESWS）と平均周囲短縮速度（mean velocity of circumferential fiber shortening＝Vcf）の関係が注目され臨床に応用されている[1)~7)]．Colan らは心エコーを用いてメトキサミン負荷を行ない広範囲の ESWS-Vcf 関係の正常域を求め，種々の疾患の心機能評価に応用している．しかし，ESWS は左室横断面を円と仮定して計算するため壁運動異常や左室形態の変形がある場合にはその値の信頼性がなくなる．従って小児科領域において川崎病心筋梗塞例や右室負荷のある先天性心疾患での応用はやや困難と思われる．今回筆者らは心エコーを用いて小児の各種心疾患の ESWS-Vcf 関係を求めその有用性および精度について検討した．また壁運動異常および左室の変形がある症例には左室短縮断層像での面積から ESWS を計算する新しい方法を用いて ESWS-Vcf 関係を求めた．

対象および方法

対象は6カ月から17歳（平均8.7±4.6歳，男女比35：22）までの合計57例である．33例は心雑音などの精査のため来院し，器質的心疾患がないと診断された小児で，年齢範囲は5カ月から15歳（8.3±4.7歳）の男19例，女14例である（正常群）．他の24例はなんらかの器

別刷請求先：（〒113）東京都文京区本郷2－1－1
順天堂大学小児科　　井埜　利博

Presented by Medical*Online

質的心疾患をもつ小児で，その内訳は川崎病後遺症9例，先天性心疾患8例，心筋疾患6例および完全左脚ブロック1例である(異常群)．先天性心疾患は肺動脈弁狭窄3例，心室中隔欠損3例，動脈管開存1例，心房中隔欠損1例である．先天性心疾患の8例は全例右室負荷のため，また完全左脚ブロック例は心室中隔の動きは平坦で，左室の変形を認めた．また川崎病のうち3例は重症の冠動脈狭窄のため左室壁運動異常を認めた．

方法はColanらの方法を用いて，心エコー，心電図，心音図および頸動脈波の同時記録によりESWS値およびVcf値を求めた．心エコー装置はHewlett-Packard社製のカラードプラー心エコー装置を用いた．ESWSは

$$\mathrm{ESWS}(\mathrm{g/cm^2})=\frac{1.35\cdot \mathrm{Des}\cdot \mathrm{Pes}}{4\cdot \mathrm{hes}\cdot(1+\mathrm{hes/Des})}$$

Des＝左室短軸断層のMモードスキャンより求めた左室収縮末期径（cm）

hes＝同様にして求めた左室収縮末期壁厚（cm）

Pes＝大動脈収縮末期圧（mmHg）

Pesは自動血圧計および頚動脈波を同時測定し3～5回の血圧測定より平均値を求め，頚動脈波のdicrotic notchより計算した[8)9)]．また，FS％＝（拡張末期径－収縮末期径)/拡張末期径，Vcf(circumference/sec)＝FS・$\sqrt{\mathrm{RR}}$/ET；ET＝頚動脈波より求めた左室駆出時間（秒），RR＝心電図のRR間隔（秒）を計測した．以上の測定は57例全例に行ない検討した．正常群のうち3例に心収縮力増大時のESWS-Vcf関係を検討するためにdobutamine 5γ/kg/分の持続静注による負荷試験を行ない，前，5，10，15分と経時的に測定した．dobutamine負荷試験は3例とも家族の了承を得て行なわれた．

異常群18例には新たなESWS測定法を付け加えた．図1に示す様に僧帽弁の弁尖直下で得られた左室短軸断層像を収縮末期および拡張末期でフリーズし，面積(S)を測定．左室短軸断層面を円と仮定した時はその直径は2・$\sqrt{S/\pi}$で表される．これを補正した左室収縮末期，拡張末期径(cDes，cDed)としcESWS，cFS，cVcfを計算した．

以上の方法を用いて正常群と異常群を比較し，小児心疾患におけるESWS-Vcf関係を検討した．ESWS-Vcf関係は回帰直線による分析を行ない，$p<0.05$を有意とした．また，心収縮力の評価は正常域の99％信頼域を超えた場合に異常とした．

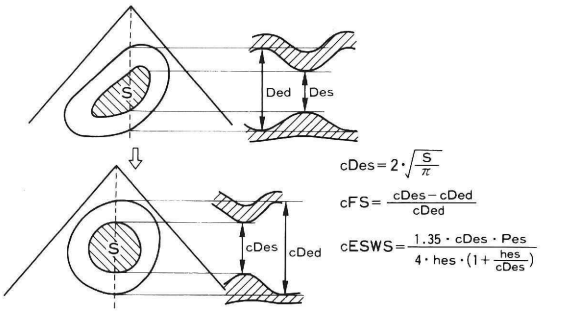

図1　左室変形や壁運動異常がある時のESWSの求め方．
短軸像で面積(S)を求め同面積の円と仮定し左室収縮末期径(cDes)，拡張末期径(cDed)を計算する．次にcVcf，cESWSを計算する．
cDed＝corrected end-diastolic diameter，cDes＝corrected end-systolic diameter，cFS＝corrected fractional shortening，cESWS＝corrected endsystolic wall stress，Pes＝endsystolic pressure，hes＝endsystolic posterior wall thickness

成　績

1．正常群のESWS-FS，ESWS-Vcf関係：

正常群のESWS，FSおよびVcfは各々42±24g/cm²，36±10％，1.1±0.2circ/secであった．ESWS-FS，ESWS-Vcf関係は図2，3の様に良好に負の相関を示した（図2，3）．

2．dobutamine負荷試験：

正常例の3例に行なうことができた(図4)．前値は3例とも正常範囲に入っていたが，負荷後20分にはESWS-Vcf関係のグラフ左上方に移動し，ESWS値の低下およびVcf値の上昇を認めた．従ってdobutamine投与により後負荷の低下に比し収縮性が増大したと思われる．

3．左室短軸断層面積から求めたcESWS-cVcfの関係：

異常群24例中18例についてESWSとcESWSおよびVcfとcVcfの関係を検討した．その結果それぞれ$r=0.7$，$p<0.05$および$r=0.56$，$p<0.05$と正の相関を示した．ESWSとcESWSとの関係では図5に示す様に左室壁運動異常のない症例では直線Y＝Xに近く分布していたが，壁運動異常のある症例ではY＝Xから離れて分布していた．すなわち左室壁運動異常のある症例ではESWSは真の値を過小あるいは過大評価している可能性があり，cESWSの方がより正確であるかと思われる．

Presented by Medical*Online

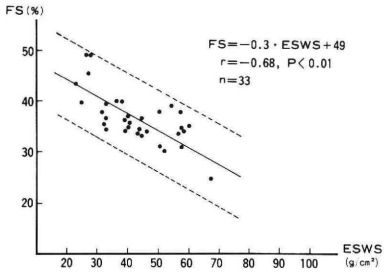

図2　正常群33例のESWS-FS関係

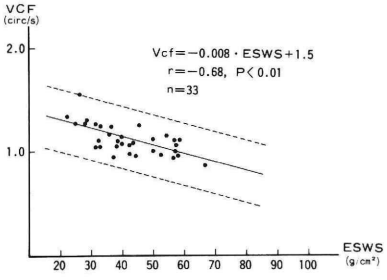

図3　正常群33例のESWS-Vcf関係：ESWS＝end-systolic wall stress, FS＝fractional shortening, Vcf＝velocity of circumferential fiber shortening

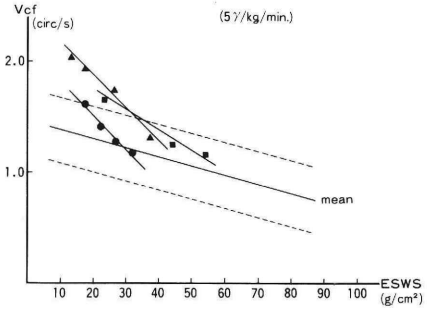

図4　ドブタミン負荷試験
正常例3例にドブタミンを5γ/kg/min持続点滴静注し，前，5，10，15，20分と経時的に計測した．3例とも負荷後はグラフの左上方へ偏位し，収縮速度は増大した．
Vcf＝velocity of circumferential fiber shortening, ESWS＝endsystolic wall stress

4．異常群のESWS-Vcf関係：

上で求めた様に異常群24例について壁運動異常のない症例では従来の様にESWS，Vcfを壁運動異常のある症例についてはcESWS，cVcfを計測した結果を図6に示した．

異常群24例中，Vcf値が0.9以下の症例は18例に認めた．心筋疾患の6例は全例Vcf値が0.8以下であった．しかし，正常群で求めたESWS-Vcf関係の99%の範囲を越えているものは12例であった．すなわちこの12例のみが後負荷の上昇によって収縮速度が低下したのではなく，真の収縮性低下と考えてよいと思われる．

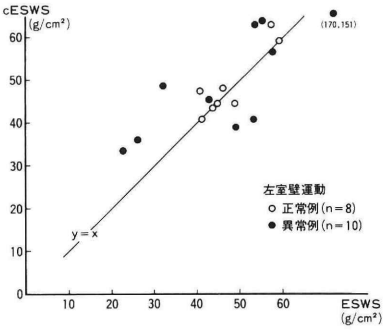

図5　ESWSと面積から補正したcESWSの関係
壁運動異常のある症例では直線Y＝Xから離れて分布しESWS値とcESWS値の誤差が大きいと思われる．
ESWS＝endsystolic wall stress, cESWS＝corrected endsystolic wall stress

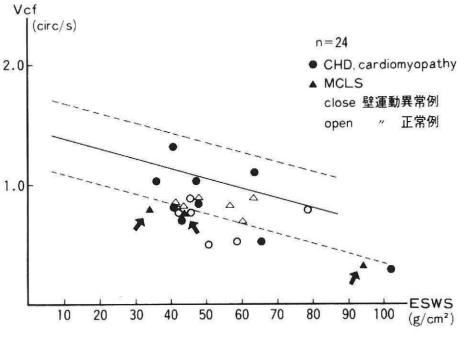

図6　異常例24例のESWS-Vcf関係
Vcf値<0.9は18例に認めたが，正常群の99%以下は12例のみである．ただしclosedの12例は壁運動異常があるためcESWS，cVcf値を用い表した．また矢印は川崎病冠動脈狭窄例を示す．

考　案

後負荷とは心筋線維の内向きの短縮率に対する外向きの張力と表現され，後負荷の状態により収縮速度は容易に変化する．現在まで日常最も良く用いられていた後負荷の指標は血管抵抗（vascular resistance）である．しかしそれは拍動を考慮しない末梢でのvasomotor toneの負荷状態を表すとされ，最近では本来の意味での後負荷の指標として疑問視されてい

Presented by Medical*Online

る[21]．一方，収縮期の壁応力（wall stress）は末梢血管における負荷状態のみならず心筋自体の収縮特性の両方を加味した指標である．最近このESWS-Vcf関係を用いて極めて鋭敏に心の収縮特性を知ることができると報告された．

正常値について

筆者らの測定方法はColanらのそれと同様にその正常域の分布はほぼ類似しているが，多少の差がある．その理由は主にColanらは心収縮力は変化させず，末梢血管抵抗を増大させるα遮断剤のメトキサミン負荷を行ない，広範囲のESWS値でのVcf値を求め正常値としたためと思われる．しかし筆者らはできるだけ生理的な状態で正常値を求めるべきと考えメトキサミン負荷は行わなかったが満足した結果が得られた．また今回の検討及びColanらの報告から乳児期以降ではESWS-Vcf関係はほぼ成人と同様の値をとる様に思われる．

ESWS，Vcf値の精度について

ESWS-Vcf関係を小児例に限って検討した報告は極めて少ない[5)6)11)12)]．それらの報告と今回の検討からESWS, Vcf値の精度をおとす因子は，①頸動脈波が正確に得られない，②左室壁運動異常がある，③右室高血圧のため心室中隔が偏位し左室変形があるなどが考えられる．①については特に新生児，乳児などの低年齢の小児には啼泣や体動のため測定が難しく再現性がやや劣る．従って頸動脈波の測定が困難であり測定用プローベの改良（小型化）や測定部位の変更（腋窩，鼠径部）などを考える必要があるかと思われる．

②③については筆者らが用いたESWSを左室短軸断層像の面積から求める方法により精度の向上に役立つものと思われる．左室面積のトレースは乳頭筋を含み，また収縮末期の決定は時相を心音図の2音に合せて行うのが良い．できれば2～3回測定し，平均値を用いる方がさらに正確である．

まとめ

心エコーにより得られたESWS-Vcf関係は小児心疾患においても収縮性の評価に応用できると思われる．左室の壁運動異常や変形のある症例では左室短軸断層像の面積を計測し補正したcESWSおよびcVcf値を計算することによりその精度が向上するものと思われる．

文献

1) Colan, S.D., Borow, K.M. and Neumann, A.: The left ventricular end-systolic wall stress-velocity of fiber shortening relation: A load independent index of myocardial contractility. J. Am. Coll. Cardiol., 4: 715—725, 1984.
2) Borow, K.M., Green, L.H., Grossman, W. and Braunwald, E.: Left ventricular end-systolic stress-shortening and stress-length relations in humans. Am. J. Cardiol., 50: 1301—1308, 1982.
3) Brodie, B.R., Mclaurin, L.P. and Grossman, W.: Combined hemodynamic-ultrasonic method for studying left ventricular wall stress. Am. J. Cardiol., 37: 864—870, 1976.
4) Borow, K.M., Lang, R.M., Neumann, A., Carroll, J.D. and Rajfer, S.I.: Physiologic mechanisms govering hemodynamic responses to positive inotropic therapy in patients with dilated cardiomyopathy. Circulation, 77: 625—637, 1988.
5) Graham, T.P., Franklin, R.C.G., Wyse, R.K.H., Gooch, V. and Deanfield, J.E.: Left ventricular wall stress and contractile function in transposition of the great arteries after the Rastelli operation. J. Thorac. Cardiovasc. Surg., 93: 775—784, 1987.
6) Graham, T.P., Franklin, R.C.G., Wyse, R.K.H., Gooch, V. and Deanfield, J.E.: Left ventricular wall stress and contractile function in childhood: Normal values and comparison of Fontan repair versus palliation only in patients with tricuspid atresia. Circulation, 74(Suppl 1): 1—61—69, 1986.
7) Colan, S.D., Sanders, S.P., Ingelfinger, J.R. and Harmon, W.: Left ventricular mechanics and contractile state in children and young adults with end-stage renal disease: Effect of dialysis and renal transplantation. J. Am. Coll. Cardiol., 10: 1085—1094, 1987.
8) Borow, K.M. and Newburger, J.W.: Noninvasive estimation of central aortic pressure using the oscillometric method for analyzing systemic artery pulsatile blood flow: Comparative study of indirect systolic, diastolic, and mean brachial artery pressure with simultaneous direct ascending aortic pressure measurements. Am. Heart J., 103: 879—886, 1982.
9) Colan, S.D., Borow, K.M. and Neumann, A.: Use of the calibrated carotid pulse tracing for calculation of left ventricular pressure and wall stress throughout ejection. Am. Heart J., 109: 1306—1310, 1985.
10) Lang, R.M., Borow, K.M., Neumann, A. and Janzen, D.: Systemic vescular resistance: An reliable index of left ventricular afterload.

Presented by Medical*Online

Circulation, 74 : 1114—1123, 1986.
11) Colan, S.D., Trowitzsch, E., Wernovsky, G., Sholler, G.F., Sanders, S.P. and Castaneda, A. R.: Myocardial performance after arterial switch operation for transposition of the great arteries with intact ventricular septum. Circulation, 78 : 132—141, 1988.
12) 中野博行，上田　憲，斎藤彰博，福本信子：小児左室の stress/vcf—特に川崎病における検討—．日小循会誌，3 : 358—359, 1988.

Noninvasive Evaluation on Left Ventricular Endsystolic Wall Stress-Velocity of Circumferential Fiber Shortening Relation in Children with Heart Disease —With Special Reference to the Accuracy—

Toshihiro Ino, Katsumi Akimoto, Shinjiro Shimazaki, Hitomi Boku, Kei Nishimoto and Keijiro Yabuta
Department of Pediatrics, Juntendo University School of Medicine

Endsystolic wall stress (ESWS) and velocity of circumferential fiber shortening (Vcf) were measured by echocardiography in 57 children (33 without heart disease, 24 with heart diseases). Corrected ESWS and Vcf were also measured by modification of calculating area of left ventricular short axis in 18 patients. In addition, intravenous dobutamine loading test was performed in 3 patients to determine if ESWS-Vcf relation was useful for evaluation of cardiac performance in positive inotropic state. In 33 control patients ESWS and Vcf were inversely correlated (ESWS=−0.008 Vcf + 1.5, r=−0.68). In 3 patients with dobutamine loading test Vcf values were exaggeratedly increased compared to the decline of ESWS values. ESWS values was less correlated with corrected ESWS values in paients with morphological and/or wall motion abnormalities of left ventricle than those with normal wall motion. Vcf values were less than 0.9 in 18 patients with heart disease. In 12 of the 18, however, abnormal ESWS-Vcf relation was demonstrated. These results suggest that ESWS-Vcf relation may be sensitive index of left ventricular systolic function in children with heart diseases and the measurements of corrected ESWS and Vcf values is required in hearts with abnormal morphology of left ventricle.

Presented by Medical*Online