

左室収縮終期圧の非観血的測定法

Noninvasive estimation of left ventricular end-systolic pressure

諏訪 道博
弘田 雄三
木野 昌也
斉藤 隆晴
米田 豊
河村慧四郎

Michihiro SUWA
Yuzo HIROTA
Masaya KINO
Takaharu SAITO
Yutaka YONEDA
Keishiro KAWAMURA

Summary

A method for noninvasively determining left ventricular (LV) end-systolic pressure (ESP) using carotid pulse tracings and cuff-measured blood pressure was re-evaluated. It was validated during diagnostic cardiac catheterization in 60 patients with cardiovascular diseases.

LVESP calculated by this method and systolic blood pressure measured by the cuff were compared with aortic diastolic notch pressures obtained by a catheter-tip manometer system as true LVESP. The calculated ESP was measured by the following formula; [the ratio of the excursion of diastolic notch (b) to the peak (a) in carotid pulse tracings: (b/a) × pulse pressure] + diastolic blood pressure.

This calculated ESP had a high correlation coefficient with true ESP invasively measured ($r=0.96$), but was estimated to be 5.3 ± 5.0 mmHg less than true ESP. Systolic blood pressure, used as a noninvasive index of ESP, accurately estimated ESP, but it was higher by 14.8 ± 11.2 mmHg ($r=0.84$). Calculated ESP measured by the present method was not affected by age or systemic vascular resistance.

This is a reliable noninvasive means of estimating LV end-systolic pressure. Compared with the peak arterial pressure, this is a better parameter for the analysis of LV contractility, such as stress-shortening, and end-systolic pressure-volume relations.

Key words

Left ventricular end-systolic pressure

Carotid pulse tracing

Blood pressure

はじめに

左室 (LV) 収縮力の評価には、左室駆出分画 (EF)、左室内周短縮率 (FS)、左室内周平均短縮速度 (mVcf) などの駆出期指標が広く用いられているが、いずれの指標も前負荷、後負荷、心拍数

などに依存し、とくに後負荷の影響を強く受ける¹⁻³⁾。このため、駆出期指標を用いて心機能を評価する場合には、後負荷を同時に考慮する力-速度 (force-velocity)、または応力-収縮率 (stress-shortening) 関係を用いることが推奨されている^{4,5)}。この後負荷の指標として、左室収縮終期応

大阪医科大学 第三内科
高槻市大学町 2-7 (〒569)

The Third Division, Department of Internal Medicine, Osaka Medical College, 2-7, Daigaku-cho, Takatsuki 569

Received for publication March 5, 1987; accepted May 6, 1987 (Ref. No. 29-54)

力 (end-systolic stress: ESS) が用いられているが, その際には左室収縮終期圧 (ESP) の正確な測定を不可欠とする¹⁻⁴⁾. 左室の収縮力を評価する他の指標として, 力-長さ (force-length) 関係理論に基づく左室収縮終期圧-容量直線勾配 (E_{max}) が提唱されており, これは前負荷あるいは後負荷に影響されない指標とされている⁶⁾. しかし, ESP を用いて収縮力特性を評価する場合, 非観血的にはこれを求めることができないため,

左室収縮期圧で代用されており, 実際にはカフで測定した上腕収縮期血圧が使用されている⁷⁾.

今回, 我々は非観血的に左室収縮終期圧が測定可能になれば, これら収縮特性をより正確に評価できると考え, 上腕血圧および頸動脈波形よりこの終期圧を算出する方法を再検討した. さらに, 非観血的左室収縮終期圧および上腕収縮期血圧と, 観血的に求めた収縮終期圧および収縮期圧との相違についても検討した.

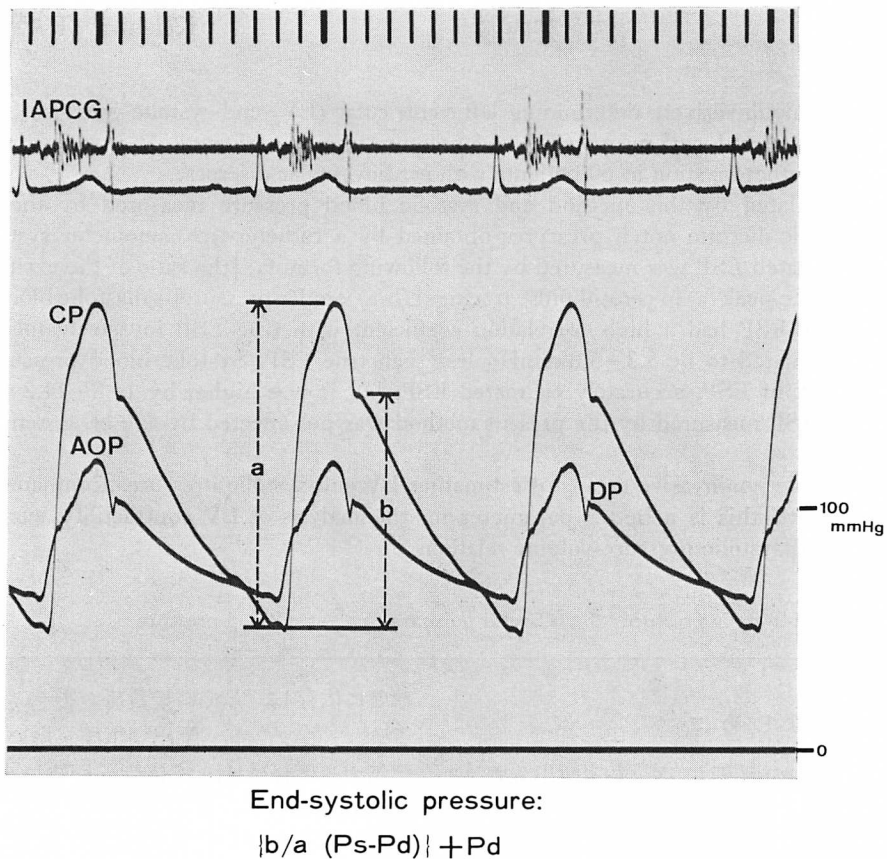


Fig. 1. Method for noninvasively determining left ventricular end-systolic pressure (LVESP).

The simultaneous recording of ascending aortic pressure (AOP) using a micro-tip® angiocatheter and carotid pulse wave (CP) is shown. LVESP is calculated by the formula shown at the bottom of the figure to compare it with invasively-obtained dicot notch pressure (DP).

a, b=excursions of the CP to the peak and the dicot notch, respectively. P_s =systolic pressure; P_d =diastolic pressure measured by cuff method.

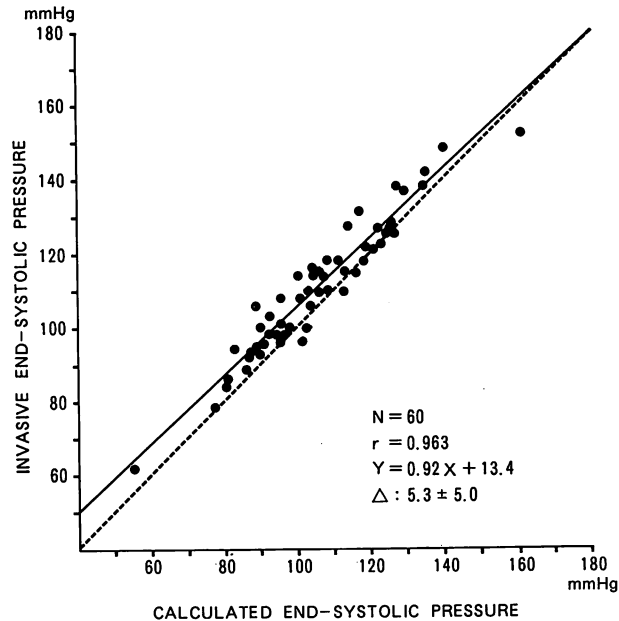


Fig. 2. Relationship between aortic dicrotic notch pressure (invasive ESP) and calculated ESP.

The correlation coefficient is very high ($r=0.96$), but this method underestimates true ESP by 5.3 ± 5.0 mmHg as the mean value.

対象と方法

対象は当科において診断目的にて心カテーテル検査を施行し、大動脈-左室間に圧較差を認めなかった心疾患患者 60 例である。年齢は 16~66 歳 (平均 50 歳)、全例正常洞調律である。心疾患の内訳は、冠動脈疾患 36 例、高血圧性心疾患 5 例、心筋疾患 12 例、不整脈、先天性心疾患など 7 例である。

観血的には、左室収縮終期圧は Mikro-tip angiocatheter® (RC-481, Miller Instrument) を使用して記録した上行大動脈の切痕圧 (dicrotic notch pressure: invasive ESP) より求めた。その際、頸動脈波曲線を Fukuda 製トランスジューサー TY304 (周波数特性 0.04~200 Hz) および同社製ミニポリグラフ MIC-8600 を使用して紙送り速度 5 cm/sec にて上行大動脈圧と同時記録した。また上腕動脈の収縮期および拡張期血圧をカ

フにて同時測定した。

Fig. 1 は左室収縮終期圧を非観血的に算出する方法を示したものである。頸動脈波曲線の上行脚開始点より最高点までの振幅 (a)、および上行脚開始点より切痕までの振幅 (b) の振幅比 (b/a) を連続 5 心拍について求めて平均した。さらにカフにて上腕収縮期血圧および拡張期血圧を 3 回連続測定後、その平均値より脈圧を求め、それに頸動脈波曲線より求めた振幅比 (b/a) を乗じ、拡張期血圧を加えることにより、左室収縮終期圧計算値 (calculated ESP) を算出した。また、この終期圧の代用として用いられている左室収縮期圧は、観血的には大動脈最高圧で求められるが、本研究では非観血的にカフにて測定される上腕収縮期血圧 (noninvasive PSP) を用いた。

結 果

上行大動脈における切痕圧の実測値、すなわち

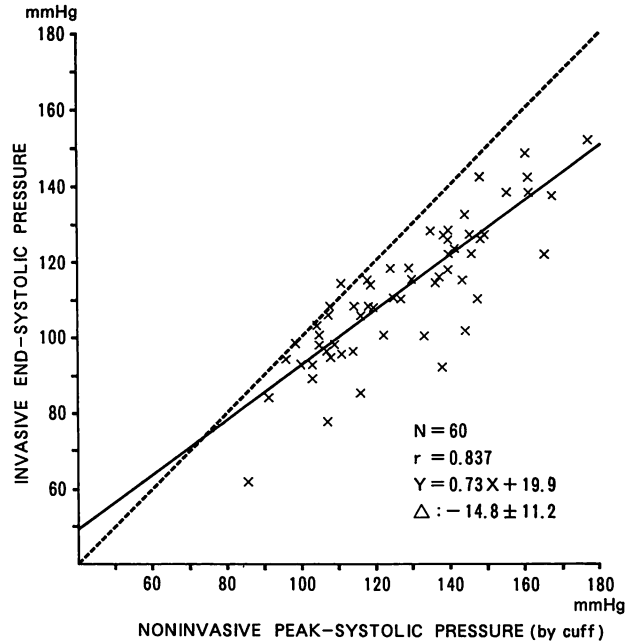


Fig. 3. Relationship between invasive ESP and the peak systolic pressure obtained by the cuff method.

Although the correlation coefficient is relatively high ($r=0.84$), it is not as good as the value as shown in Fig. 2, and the peak systolic pressure is higher than the true ESP by 14.8 ± 11.2 mmHg, as the mean value.

左室収縮終期圧を、左室収縮終期圧計算値および上腕収縮期血圧と比較検討した。この計算値は、Fig. 2 に示すごとく、切痕圧実測値ときわめて高い相関関係 ($r=0.96$) を示し、また実測値を平均 5 mmHg 過小評価していた。一方、切痕圧実測値と上腕収縮期血圧との関係は、Fig. 3 に示すごとく、相関係数は $r=0.84$ で、後者は前者よりも平均 15 mmHg 大であった。

この左室収縮終期圧が年齢および総血管抵抗に影響されるか否かを検討する目的で、年齢別および総血管抵抗別に、非観血的計算値および観血的実測値による左室収縮終期圧を比較し、その偏差を算出した (Figs. 4 & 5)。その結果、年齢 $16 \sim 66$ 歳および総血管抵抗 $1,000 \sim 3,000$ dynes·sec·cm⁻⁵ の範囲において、この計算値は最大でも 15 mmHg 以内の過小評価に留まり、年齢および総血管抵抗に影響されないことが判明した。

Fig. 6 は M モード心エコー図より、非観血的に求めた左室収縮終期圧を用いて、左室の meridional end-systolic stress を、Grossman らの方法⁸⁾により算出した 1 例を示す。

考 按

心機能を評価する場合、収縮力はつねに後負荷に影響されることを認識しておく必要がある¹⁻³⁾。左室側より観察した後負荷は駆出期における stress と定義され、内径、壁厚および血圧により規定されるが、駆出期においては stress は常に変動し、前負荷の指標のごとく、拡張終期一点における stress により表すことは出来ない⁹⁾。したがって、後負荷の指標としては従来 peak, mean, あるいは end-systolic stress が提唱されているが、非観血的には算出が容易ではない。我々はすでに mid-systolic endocardial stress の非観血的算出

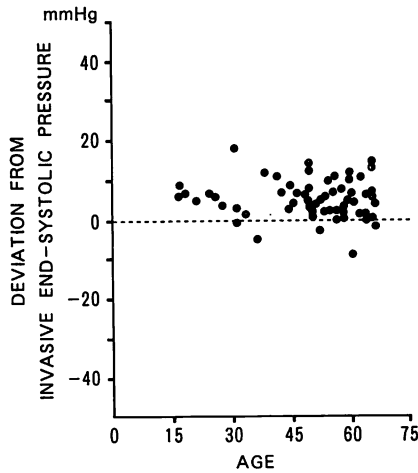


Fig. 4. Deviation of calculated ESP from invasive ESP according to age.

Noninvasively calculated ESP is not affected by age.

法を提案している¹⁰⁾。しかし、この算出法も endocardial stress のため、左室長軸径の算出を必要とし、現時点では十分な指標とならない場合がある。

近年、左室収縮特性の解析に対し、種々の負荷状態に影響されない指標として、end-systolic pressure-volume 関係により演繹された Emax の概念が頻用されている^{7,11)}。しかし、この Emax を求めるには収縮力を変えずに後負荷を変えることと、左室収縮終期圧を求めることが不可欠とされている。一方、この圧の算出は非観血的には不可能で、従来は左室収縮期圧で代用され、実際にはカフ測定による上腕収縮期血圧が使用されている⁷⁾。しかし、その代用には明らかに過大評価があり、使用上の限界があった。

頸動脈波曲線は大動脈圧波形と相似しており、これを利用した心機能の評価がすでに行われている^{12~15)}。今回検討した方法では上行大動脈切痕圧の計測に頸動脈波曲線の切痕を利用したが、それは容易、かつ非観血的に算出可能であった。類似の方法には、小児において腋窩動脈波曲線より切痕圧を推定したとの報告がある¹⁴⁾。本方法は観血

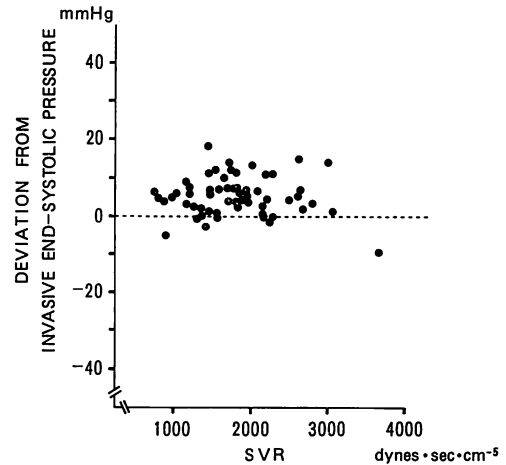


Fig. 5. Deviation of calculated ESP from invasive ESP according to systemic vascular resistance (SVR).

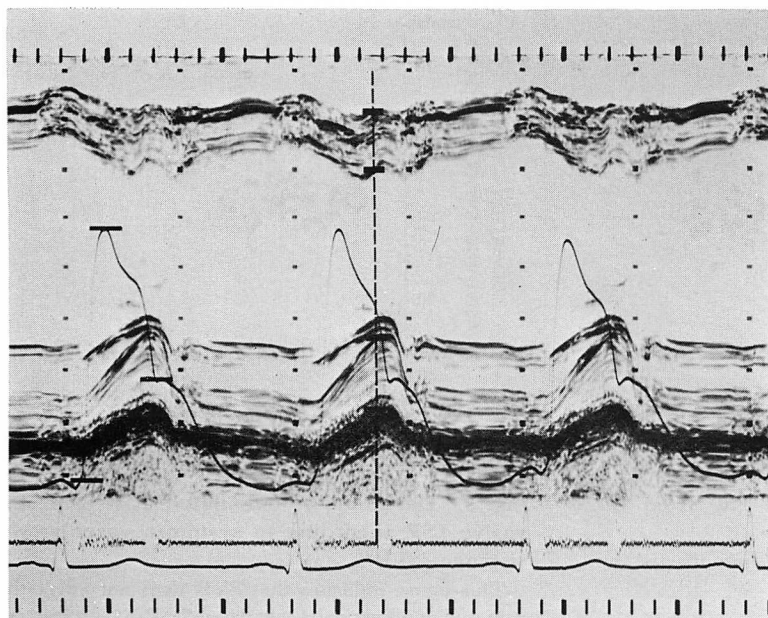
This figure indicates that SVR does not affect the value of noninvasively calculated ESP.

的に求めた収縮終期圧との相関関係がきわめて高く、有用な測定法と考えられる。しかも、患者の年齢、総血管抵抗によって影響されないことも実証された。しかし、大動脈弁閉鎖不全症など、正確な切痕の記録が困難な患者や、大動脈・左室間に圧較差を有する大動脈弁狭窄症など、左室収縮期圧を上腕収縮期血圧で代用することが出来ない患者では、本方法を適用することは出来ない。

本法の臨床的応用として、左室収縮終期圧の非観血的測定により、end-systolic stress あるいは end-systolic pressure-volume 関係の評価が非観血的に、しかも正確に行うことが可能となり、したがって、本法は非観血的心機能評価にとって有用な方法であると考えられる。

結 語

血圧計および頸動脈波曲線より左室収縮終期圧が非観血的に算出され、その結果、心エコー図を用いることにより、左室の end-systolic stress あるいは end-systolic pressure-volume 関係の検討を、より正確かつ容易に行うことが可能となっ



ESD: 3.4 cm
meanWTes: 1.25 cm
BP: 110/66 mmHg
ESP: 84 mmHg
ESS: 56 g/cm²
(meridional)

M.M. 31M

Fig. 6. An example of the noninvasive estimation of left ventricular end-systolic stress.

Left ventricular end-systolic meridional stress is obtained from the M-mode echocardiogram in a normal healthy subject using Grossman's formula.

ESD=left ventricular end-systolic dimension; WTes=end-systolic wall thickness; BP=blood pressure; ESP=end-systolic pressure; ESS=end-systolic stress.

た.

要 約

頸動脈波曲線およびカフにて測定した血圧を用いて非観血的に左室収縮終期血圧(ESP)を測定する方法の有用性を検討した。対象は診断目的にて心カテーテル検査を施行した心疾患患者60例である。本法にて測定した左室収縮終期圧の計算値とカフ測定による収縮期血圧を、非観血的に求めた大動脈切痕圧(左室収縮終期圧実測値)と対比検討した。この計算値は頸動脈波曲線における全振幅(a)と切痕の振幅(b)の比(b/a)に脈圧を乗じ、これに拡張期血圧を加算して求めた。

この計算値は実測値ときわめて高い相関関係($r=0.96$)を示し、また前者は後者を平均 5.3 ± 5.0 mmHg 過小評価していた。一方、この実測値よりも、カフにて求めた収縮期血圧は平均 $14.8 \pm$

11.2 mmHg 高かった ($r=0.84$)。また、この計算値は年齢あるいは総血管抵抗にも影響されなかった。

本方法は非観血的に左室収縮終期圧を算出する上に役立ち、したがって左室収縮力の解析に有用な方法と考える。

文 献

- 1) Quinones MA, Gaasch WH, Cole JS, Alexander JK: Echocardiographic determination of left ventricular stress-velocity relations in man: With reference to the effects of loading and contractility. *Circulation* 51: 689-700, 1975
- 2) Hirshleifer J, Crawford M, O'Rourke RA, Karliner JS: Influence of acute alterations in heart rate and systemic arterial pressure on echocardiographic measures of left ventricular performance in normal human subjects. *Circulation* 52: 835-841, 1975
- 3) Sasayama S, Kotoura H: Echocardiographic ap-

- proach for the clinical assessment of left ventricular function: The analysis of end-systolic pressure (wall stress)-diameter relation and force-velocity relation of ejection ventricle. *Jpn Circ J* **43**: 357-366, 1979
- 4) Marsh JD, Green LH, Wynne J, Cohn PF, Grossman W: Left ventricular end-systolic pressure dimension and stress-length relations in normal human subjects. *Am J Cardiol* **44**: 1311-1317, 1979
 - 5) Borow KM, Green LH, Grossman W, Braunwald E: Left ventricular end-systolic stress-shortening and stress-length relations in humans. *Am J Cardiol* **50**: 1301-1308, 1982
 - 6) Sagawa K: The end-systolic pressure-volume relation of the ventricle: Definition, modifications and clinical use. *Circulation* **63**: 1223-1227, 1981 (editorial)
 - 7) Reichek N, Wilson J, St John Sutton M, Plappert TA, Goldberg S, Hirshfeld JW: Noninvasive determination of left ventricular end-systolic stress: Validation of the method and initial application. *Circulation* **65**: 99-108, 1982
 - 8) Grossman W, Jones D, McLaurin LP: Wall stress and patterns of hypertrophy in the human left ventricle. *J Clin Invest* **56**: 56-64, 1975
 - 9) Braunwald E, Ross J Jr, Sonnenblick EH: Mechanics governing contraction of the whole heart. *in* *Mechanisms of Contraction of the Normal and Failing Heart*. 2nd ed, Little, Brown & Co, Boston, 1976, p 92-129
 - 10) Hirota Y, Suwa M, Takatsu T: Mid-systolic left ventricular endocardial stress as a noninvasive index of afterload. *J Cardiogr* **8**: 99-106, 1978 (in Japanese)
 - 11) 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* **4**: 715-724, 1984
 - 12) Stefadouros MA, Gougherty MJ, Grossman W, Craige E: Determination of systemic vascular resistance by a noninvasive technic. *Circulation* **47**: 101-107, 1973
 - 13) Lewis RP, Rittgers SE, Forester WF, Boudoulas H: A critical review of the systolic time intervals. *Circulation* **56**: 146-158, 1977
 - 14) Colan SD, Borow KM, 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
 - 15) Colan SD, Fujii A, Borow KM, MacPherson D, Sanders SP: Non-invasive determination of systolic, diastolic and end-systolic blood pressure in neonates, infants and young children: Comparison with central aortic pressure measurements. *Am J Cardiol* **52**: 867-870, 1983