

《研究速報》

橈骨動脈圧とシングルプローブ法を用いた非観血的 左室駆出期圧一容積関係の推定の試み

弘瀬 哲* 井出 満* 五島雄一郎* 鈴木 豊**

要旨 左室圧一容積曲線は、左室機能を評価する上で有用であるが、左室圧を得るには観血的方法が必要不可欠である。しかしながら、左室駆出期には、左室圧は、大動脈圧、橈骨動脈圧に、ある程度近似できると仮定し、簡便かつ非観血的に左室駆出期圧一容積関係を評価しうる新しい装置を開発した。左室容積はシングルプローブ法による心電図同期式 RI 心室造影法を使用し、データは 10 msec ごとに収集し、同時に橈骨動脈圧はトノメトリ法により 10 msec ごとに測定した。得られたデータは、RS-232c ケーブルを介してパーソナルコンピュータに送信し、左室駆出期の圧一容積曲線を作成した。この曲線からは E_{max} が得られるほか、新しい左室機能の指標として Ejection rate of change of power (ERCP) が算出可能である。この新しい装置により得られた各種左室機能指標は、薬剤などの心負荷時における心機能の評価に応用が期待できると考えられる。

I. はじめに

左室圧一容積曲線は、左室機能を評価する上で有用であるが、左室圧を得るには観血的方法が必要不可欠である。しかしながら、左室駆出期には、左室圧、大動脈圧、橈骨動脈圧は、ある程度近似できると仮定すれば、トノメトリ法により橈骨動脈圧¹⁾を非観血的に測定することで左室内圧を推定することが可能である。一方、心臓核医学の領域においては、シングルプローブ型測定装置により、時間分解能のよい左室放射能曲線が短時間で繰り返し測定できることが報告されている²⁾。この橈骨動脈圧と左室放射能を同時記録することにより、非観血的に左室駆出期の圧一容積曲線の作成を試みたので、その装置と方法について報告する。

II. 方 法

1) データ収集法

Figure 1 に本システムのハードウェア構成を示す。左室放射能曲線は ^{99m}Tc 生体内標識赤血球 800 MBq (21.62 mCi) を用いた平衡時心電図同期法により、アロカ社製オムニスコープ RRG-602 で測定した。バックグラウンドは毎回左上肺野より収集した。データのサンプリング時間は 10 msec、収集時間は 60 秒間とした。同時に、橈骨動脈圧は、日本コーリン社製連続自動血圧計 CBM-2000 によるトノメトリ法で 10 msec ごとに 60 秒間測定した。得られたデータは、RS-232c ケーブルを介して NEC 社製パーソナルコンピュータ PC-9801 VM2 に送信し、加算平均により 1 心拍分の左室時間放射能曲線と橈骨動脈圧波形を再構成した。この両波形から任意の時点を起点として横軸を左室放射能、縦軸を橈骨動脈圧となるように圧一放射能曲線を描画させるようにした。

2) データ解析法

- 左室絶対容量の算出および時相の調整
シングルプローブ法の左室カウントから左室絶

* 東海大学医学部第一内科

** 同 放射線科

受付：3年4月1日

最終稿受付：3年6月11日

別刷請求先：神奈川県伊勢原市望星台 (〒259-11)

東海大学医学部第一内科

弘瀬 哲

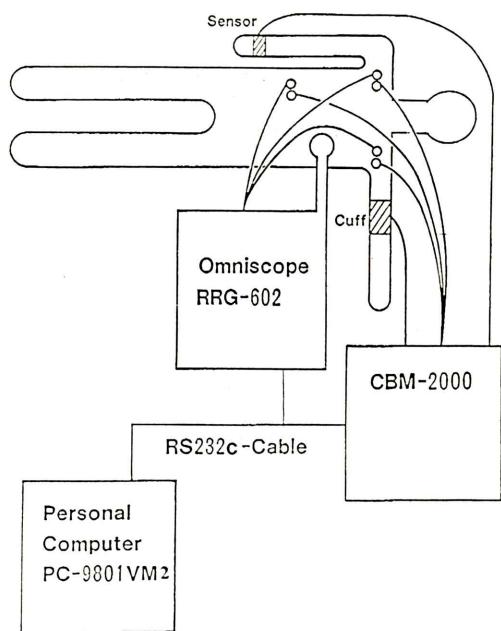


Fig. 1 Schematic representation of our device with ECG gated mode.

対容量への変換には、安静時心エコー図を用いて Teichholz 法³⁾による左室容積値を用いた。これを安静時の左室拡張末期容積として代入し、^{99m}Tc の減衰補正を加味し、この変換率で、その後の容積曲線を絶対容量 (ml) で表示できるようにした。次に、圧波形の時相の遅れを修正するため、容積曲線の下降脚の最初の変曲点と圧波形の立ち上がりの最初の点を駆出開始点とした。駆出終了点は橈骨動脈圧波形の下降脚の dicrotic notch とした。Fig. 2-a に、60歳、男性の急性心筋梗塞症例の、時相を修正した安静時駆出期の圧-容積曲線を示す。

b) パラメータの抽出

この駆出期圧-容積曲線からは以下のようなパラメータが求められる。(1) the peak ratio of left ventricular pressure to volume (E_{max})⁴⁾, (2) peak systolic pressure/left ventricular end-systolic volume (PSP/LVESV)⁵⁾, (3) Ejection rate of change of power (ERCP)⁶⁾。

アンギオテンシン II を用いて種々のレベルの血圧下で、これら駆出期圧-容積曲線の左肩の点

を結んで直線を引けば、最大勾配 E_{max} に近似した駆出末期圧-容積直線が得られる。ここでは36歳女性の軽症高血圧例で、ニフェジピン 5 mg 舌下投与のデータを示す (Fig. 2-b)。本例での傾きは 5.51 となる。

次に Marmor らの報告に従い、前負荷、後負荷の影響をあまり受けない、左室収縮期のポンプ活動に伴う鋭敏な左心機能の指標として、駆出早期のエネルギーの平均加速度を意味する ERCP⁵⁾ を算出した。これは power の変化率の平均値であるため、Stein と Sabbah の報告した、peak ERCP⁷⁾ よりも、瞬間の圧や容量の変化にあまり影響を受けない。ERCP は以下の計算式により得られる。

$$W = 0.0136 \int_{V=V_{ed}}^{V=V_{ed}-SV/2} p \cdot dv \quad (1)$$

$$P = W/T \quad (2)$$

$$ERCP = PP/TT \quad (3)$$

(W: work, V_{ed} : 拡張末期容積, SV: 一回拍出量, p: 圧, P: mean power, PP: peak power, TT: time to PP)

Figure 3 に、60歳男性、急性心筋梗塞症例の ERCP のデータを示す。

III. 考 察

左室の収縮あるいは拡張においては時間、圧および容量にそれぞれ変化が起こっているが、通常の左室機能を現すとされる指標の大部分は、このうち二つの関係で評価されている (時間と容量の関係、時間と圧の関係)。これはある左室機能の一面だけを評価し、もう一つのパラメータとの係わりを無視していることになる。時間と容量の関係に関しては、シングルプローブ法による RI 心室造影法が、データ収集時間は 60 秒間と短時間に繰り返しデータの収集が可能であることより、非観血的左室機能測定法として日常臨床に通用されている²⁾。しかし同時に左室圧を測定するには観血的方法を要する。近年、非観血的手法を用いながら連続的に血圧測定 (主に橈骨動脈圧) を行い、

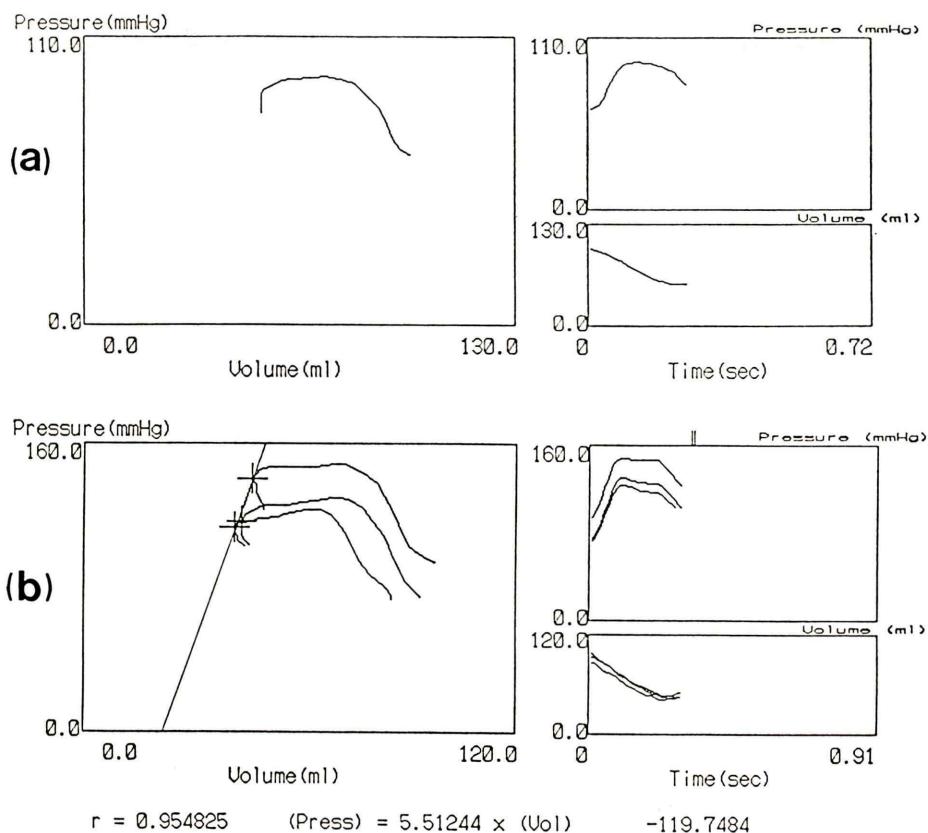


Fig. 2 Pressure-volume curve during ejection phase eliminating the delay time of the pressure wave (a), and serial changes of pressure-volume curve followed by the administration of Nifedipine (b) are shown. The slope is determined by linear fitting of end-systolic pressure-volume points. The slope was 5.51 in this case.

同時に血圧波形のモニタリングを可能にする方法として、トノメトリ法が臨床に使用されるようになった。この臨床評価はきわめて信頼性の高いものであるとされている¹⁾。しかし一般には、左室圧波形と橈骨動脈圧波形には、以下の相違を認める。橈骨動脈圧は左室圧に比べ、1)圧波の立ち上がり勾配が急峻になる、2)ピーク値は高くなる、3)下降脚の勾配も急峻。同時に dicrotic notch pressure の低下などである。しかし、血管系の影響をある程度同じと仮定すれば(動脈狭窄、重症の動脈硬化がなければ)、左室駆出期圧との絶対値は異なるが非観血的橈骨動脈圧で相対的な変化は評価できると思われる。特に同一症例での負荷

に対する変化率を評価する場合には影響が少ない。心臓核医学でのシングルプローブ法とこのトノメトリ法を組み合わせることにより、左室圧一容積曲線を非観血的に得ることが可能となった。圧波形と容積曲線の時相を一致させるため、圧波形の立ち上がりの最初の点を駆出開始点とし、容積曲線では、同心拍の安静時心エコー図の大動脈弁開放時点を心電図の R 波の頂点より計測し、容積曲線に当てはめた。この駆出開始点(左室等容収縮期の終了点)は、シングルプローブ法により得た容積曲線では、下降脚の最初の変曲点として明瞭に判定することができた。駆出終了点は圧波形の dicrotic notch とした。末梢では dicrotic notch

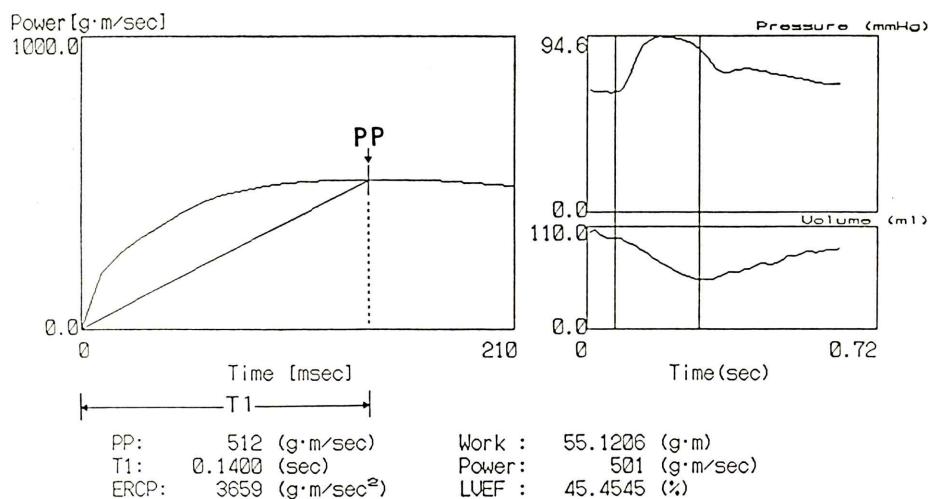


Fig. 3 Power-time curve. Peak power (PP) was 512 g·m/sec, time to peak power (T1) was 0.14 sec, ejection rate of change of power (ERCP) was 3,659 g·m/sec², systolic work at half stroke volume (Work) was 55.1 g·m, mean power at half stroke volume (Power) was 501 g·m/sec, left ventricular ejection fraction (LVEF) was 45.5% in this case.

の低下を認めるが、今回の症例では全例 dicrotic notch が明瞭に確認できた。たとえ dicrotic notch の不明瞭な症例があっても開始点が一致していれば、終了点を実際の終了点より少し遅らせることで、 E_{max} の算出には影響ないと思われる。

この圧一容積関係からは、方法の項で述べたように曲線をいくつか描画し、任意の点を指定すれば E_{max} 類似の駆出末期圧一容積直線が得られる。今回はニフェジピンを使用して圧一容積直線の傾きを描画したが、アンギオテンシン II を用いれば E_{max} を計測できることが可能と考えられる。ほかに、PSP/LVESV, ERCP などの鋭敏な左室機能指標も算出でき、各種心負荷時(薬剤、運動)における心臓の予備能、心筋虚血の検出などに応用が期待できると考えられる。今後は、症例数を重ねて、本法の妥当性、有用性の検討を行って行きたいと考えている。

文 献

- 1) 劍物 修, 山村剛康: 非観血的連続血圧測定法: トノメトリ法の臨床応用. 臨床モニター 1: 69-76, 1990

- 井出 満, 兼本成斌, 五島雄一郎, 他: オムニスコープ(超音波心診断装置付シングルプローブ式シンチレーションカウンター). 呼吸と循環 32: 1039-1045, 1984
- Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, et al: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. Am J Cardiol 37: 7-11, 1976
- Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. Circ Res 32: 314-322, 1973
- Nivatpumin T, Katz S, Scheuer J: Peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio: A sensitive detector of left ventricular disease. Am J Cardiol 43: 969-974, 1979
- Marmor A, Sharir T, Shlomo IB, et al: Radionuclide ventriculography and central aorta pressure change in noninvasive assessment of myocardial performance. J Nucl Med 30: 1657-1665, 1989
- Stein PD, Sabbah HN: Ventricular performance measured during ejection: studies in patients of the rate of change of ventricular power. Am Heart J 91: 599-606, 1976

Summary

Non-Invasive Assessment of the Left Ventricular Pressure to Volume Relationships during Ejection Period Using a Single Cardiac Probe System and Tonometric Measurement of Radial Arterial Pressure

Satoru HIROSE*, Michiru IDE*, Yuichiro GOTO* and Yutaka SUZUKI**

*First Department of Internal Medicine, **Department of Radiology,
Tokai University, School of Medicine

The left ventricular (LV) pressure to volume relationships are very sensitive parameters for the evaluation of the LV function. For measurement of LV pressure in an entire cardiac cycle, an invasive method is always needed. However, on the assumption that the LV pressure is similar to that of aorta and radial artery during ejection period, we have developed a new system for simple and non-invasive assessment of the LV pressure to volume relationships. The LV volume is estimated by ECG-gated radionuclide ventriculography using a single cardiac probe system and the data were collected every 10 msec. The radial arterial pressure was measured simultaneously every 10 msec

by a tonometry system. These data were transferred to the personal computer through RS-232c cable. Then the pressure to volume curves during ejection phase was generated automatically. E_{max} was calculated from these curves. Moreover, the new parameter called the ejection rate of change of power (ERCP) can be calculated. These parameters are very useful for the evaluation of the effect of the drugs on the LV performance.

Key words: Radionuclide ventriculography, Single cardiac probe system, Tonometry method, Pressure-volume diagram, Ejection rate of change of power (ERCP).