

《ノート》

## 合成左室容量曲線の Fourier 解析による ペースメーカー患者の左房機能評価

—心電図 R 波順および逆同期同時データ収集法を用いて—

Evaluation of Left Atrial Function in Patients with an Artificial Pacemaker:  
Estimation with Fourier Analysis of Left Ventricular Volume Curves  
Obtained by Forward and Backward Data Acquisitions

河合 直樹\*    岡田 充弘\*    鈴木 晃夫\*    松島 英夫\*  
山本 秀平\*    岩瀬 正嗣\*    横田 充弘\*    林 博史\*  
外畑 巖\*    棚橋 淑文\*\*    村松 博文\*\*    肥後 隆之\*\*\*  
高柳 光雄\*\*\*

Naoki KAWAI\*, Mitsuhiro OKADA\*, Akio SUZUKI\*, Hideo MATSUSHIMA\*,  
Shuhei YAMAMOTO\*, Masatsugu IWASE\*, Mitsuhiro YOKOTA\*,  
Hiroshi HAYASHI\*, Iwao SOTOBATA\*, Yoshibumi TANAHASHI\*\*,  
Hirobumi MURAMATSU\*\*, Takayuki HIGO\*\*\*  
and Mitsuo TAKAYANAGI\*\*\*

\*First Department of Internal Medicine, Nagoya University School of Medicine, Nagoya

\*\*Department of Internal Medicine, \*\*\*Department of Radiology,  
Nagoya Ekisaikai Hospital, Nagoya

### I. はじめに

従来の心電図 R 波順方向 (順) 同期心プール像より得られる心室容量曲線の解析は心室機能の検討には有用であるが, P-P 間隔の自然変動のため心房機能の評価には限界がある. この欠点を補う方法として近年, R 波逆方向 (逆) 同期収集を用いた心室容量曲線の解析による心房機能評価に関する報告が散見されるようになった<sup>1,2)</sup>. しか

し, これらの報告は主としてリストモード法を用いたものであり, フレームモード法による報告は少ない. 本研究では複数の video buffer memory を有する ADAC 社製 bad beat rejection program<sup>3)</sup> を使用し, フレームモードにより R 波順同期および逆同期心プール像とこれらの合成心プール像を別個に同時収集し, 合成心プール像より左室容量曲線を作成した. 合成左室容量曲線は心周期が完結するため Fourier 解析にきわめて適していると考えられる. 本研究ではペースメーカー植え込み患者を中心としてこの合成左室容量曲線を Fourier 解析し, 微分曲線より左房機能評価を試みた.

\* 名古屋大学医学部第一内科

\*\* 名古屋掖済会病院内科

\*\*\* 同 放射線科

受付: 59年12月13日

最終稿受付: 60年1月30日

別刷請求先: 名古屋市昭和区鶴舞町 65 (☎ 052)

名古屋大学医学部第一内科

河合 直 樹

**Key words:** Fourier analysis, Artificial pacemaker, Forward and backward data acquisition, Atrial systole, LV filling rate.

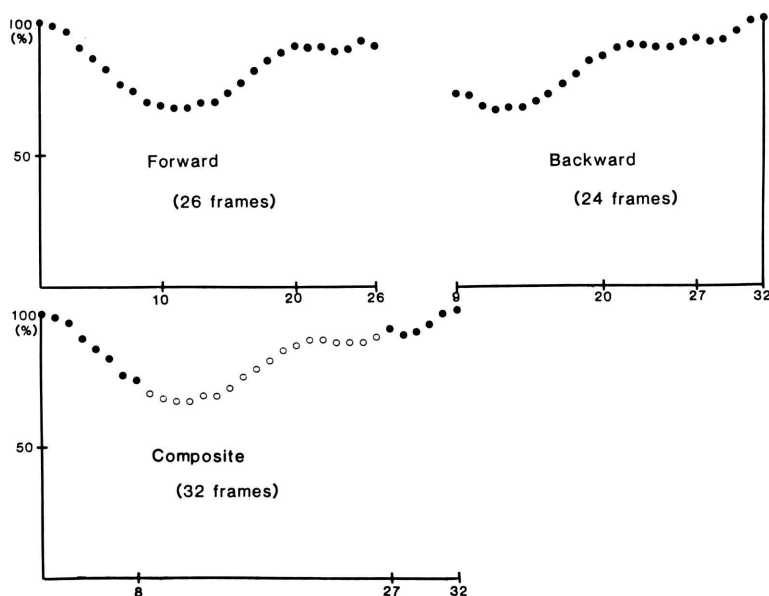


Fig. 1 LV volume curves obtained by unidirectional (forward or backward) and bidirectional (composite) data acquisitions. In the composed volume curve, the initial 8 points and last 6 points are derived from forward and backward acquisition data, respectively, and the 9th to 26th points are obtained by averaging the forward and backward data.

## II. 対象および方法

### 1. 対象

心臓ペースメーカ植え込み患者 8 名 (男 4 名, 女 4 名, 平均年齢 61 歳) と正常対照男子 5 名 (平均年齢 38 歳) を対象とした。植え込まれた心臓ペースメーカ機種の内訳<sup>4)</sup>は VVI 1 名, AAI 2 名, VDD 4 名, DDD 1 名であった。なお今回用いたデータ収集法の基礎的検討では心房収縮の心室充満に対する貢献度が大きいと考えられる高齢者 2 名 (男女の狭心症各 1 名, 平均 60 歳) を用いた。

### 2. 方法

高感度コリメータを装着した日立製ガンマカメラ (Gamma View-H) と ADAC 製コンピュータシステム (System 2) を用い, 赤血球を 25 mCi の Tc-99m で in vivo 標識し, modified LAO 45° における心電図同期心プール像を 2 倍拡大により 3 分間記録した。

データ収集には ADAC 製 bad beat rejection program を用い, フレームモードにより R 波順同期, 逆同期および両者の合成心プール像を得た。本プログラムには 64×64 マトリックスで R-R 間隔を 16 等分する方法と, 32×32 マトリックスで R-R 間隔を 32 等分する方法の 2 種類があるが, 心房機能評価には比較的高い時間分解能が必要と考えられるため, 本研究では 32×32 マトリックスで R-R 間隔を 32 等分する方法を用いた。各心拍において R 波から順方向へ 26 フレーム (R-R 間隔の 81% に相当), 次の R 波から逆方向に 24 フレーム (R-R 間隔の 75% に相当) の画像をおのの video buffer memory に収集し, データ収集後これらの両画像および 32 フレームに合成した心プール像の 3 種類の画像データを磁気ディスクに収録した。画像合成は全 32 フレームのうち, 最初の 8 フレームは順方向データのみ, 最後の 6 フレームは逆方向データのみを用いて, また中間の第 9-26 フレームは順方向および逆方向データの加

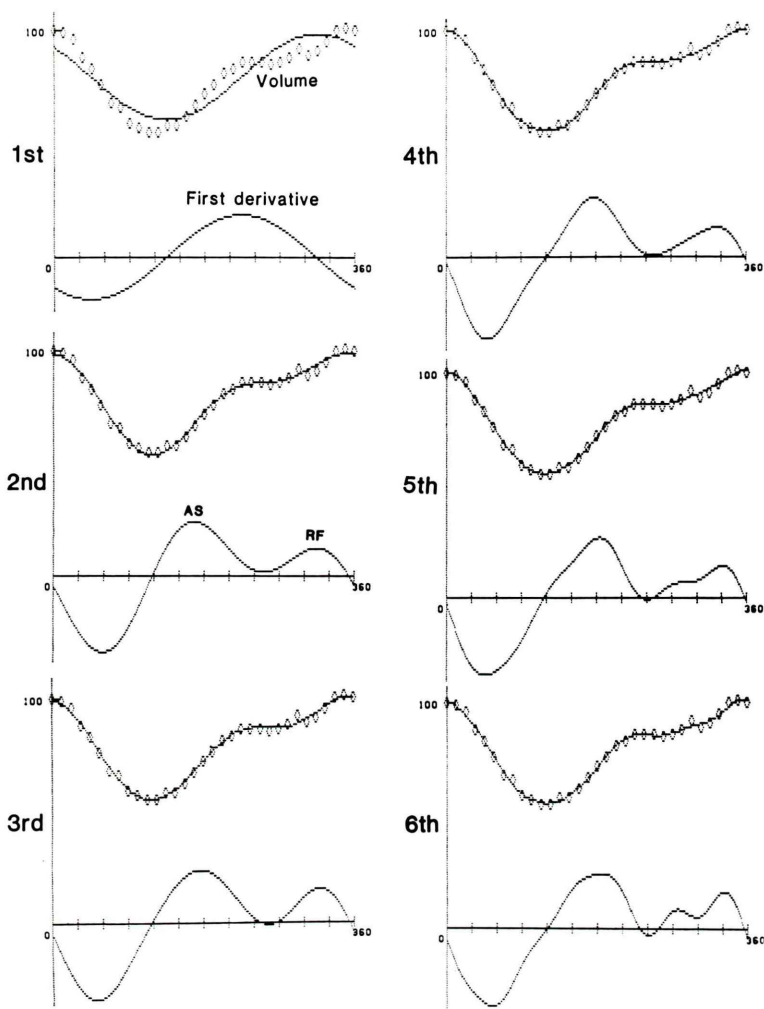


Fig. 2 Fourier fitting of the composed volume curve shown in Fig. 1. LV filling due to atrial systole (AS) is identifiable in the first derivative curve obtained by Fourier transformation of higher order harmonics. RF=rapid filling.

算平均により行われた。

左室容量曲線は左室および拡張期の左室内腔周囲におおの関心領域 (ROI) を設定し、バックグラウンド補正して求めた。左室 ROI は原則として variable ROI 法を用いたが、ROI 設定法自体による誤差が結果に及ぼす影響を避けるため本プログラムの基礎的検討 (結果 1) には fixed ROI 法を用いた。

Fourier 近似による左室容量曲線の解析には日

本電気製マイクロコンピュータ PC-9801F を用い、1 次から 6 次までの Fourier 近似について検討し、さらに各 Fourier 近似した左室容量曲線について、その微分曲線すなわち左室容量変化速度曲線を求めた。この Fourier 近似した左室容量微分曲線より、左室急速流入期および左房収縮期のおおのにおける最大拡張速度を拡張末期容積で補正した値を求め、さらに両最大拡張速度の比 (左房収縮/急速流入) も算出した。

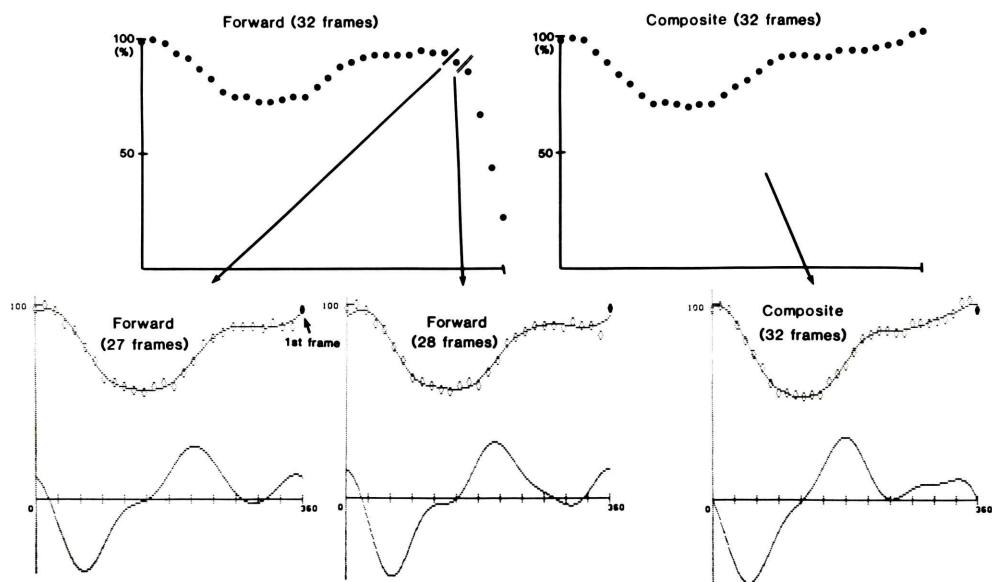


Fig. 3 Fitted forward (left and middle) and composite (right) volume curves using the 4th harmonics of Fourier transform. LV filling due to atrial systole is clearly shown in the composed but not in the forward volume curves.

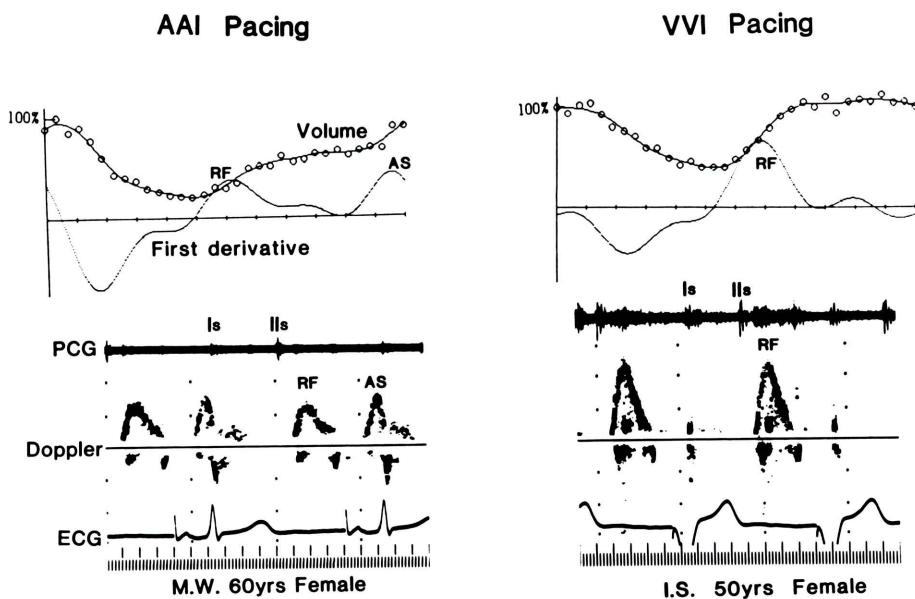


Fig. 4 Fitted LV volume curves and pulse Doppler echocardiograms in AAI and VVI pacing. LV filling due to atrial systole is demonstrated in both the first derivative curves and Doppler flow velocity recordings in AAI but not in VVI mode.

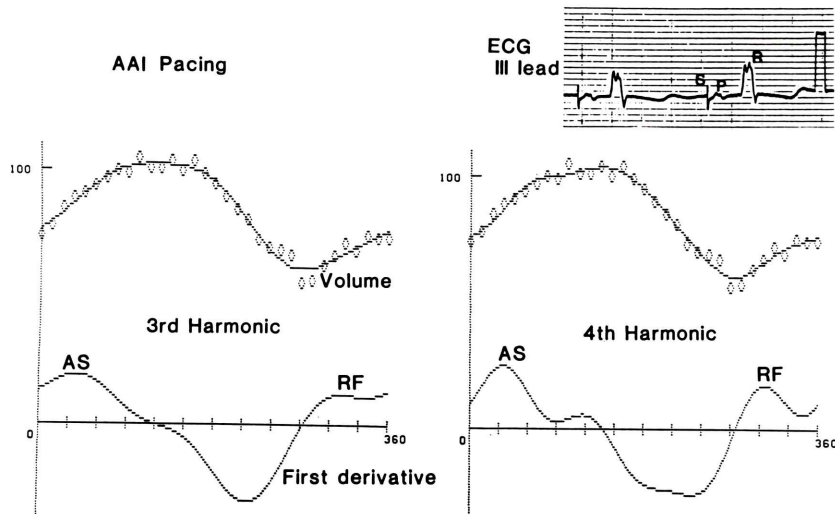


Fig. 5 Fitted LV volume curves and their first derivative curves obtained in the multi-gated pool images triggered by the pacing spike of AAI pacer.

VDD ペースメーカー患者の 1 例では AV 間隔を 250 msec から 50 msec まで階段状に 50 msec ずつ漸減し、各 AV 間隔において心プールデータ収集を行った。また VDD あるいは DDD ペースメーカー例 4 名では VVI モードへ変更し、データ収集を行った。

AAI および VVI ペースメーカー各 1 例では超音波パルスドプラ法 (東芝製 SSH-11A および SDS-10A) を用いて僧帽弁口における左室流入血流速波形を記録した<sup>5)</sup>。

### III. 結 果

#### 1. 基礎的検討

Figure 1 は労作狭心症患者 1 例で固定 ROI 法により R 波順同期、逆同期およびこれらより合成した左室容量曲線を示す。この症例で計測した Fourier 1-6 次近似した合成容量曲線とその微分曲線を Fig. 2 に示す。左室の急速流入 (rapid filling: RF) および左房収縮による流入 (atrial systole: AS) はともに 2 次以上の Fourier 近似により同定可能であった。経験的に S/N 比の悪い心プールデータでは 5 次以上の Fourier 近似はむしろ noise を拾う可能性が高いと考えられ、本研

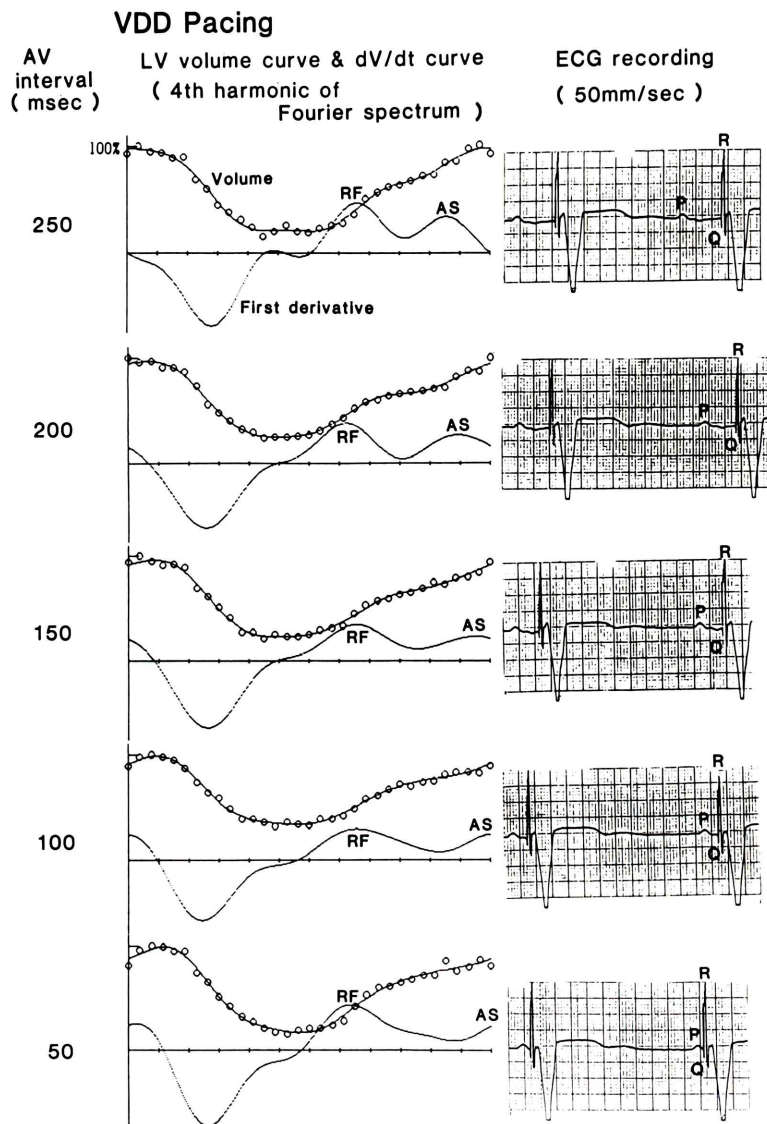
究では原則として 4 次近似を用いて以後の検討を行った。

Figure 3 は別の労作狭心症において、通常行われている順同期収集のみによる左室容量曲線、および順・逆同期合成左室容量曲線とそれらの 4 次 Fourier 近似曲線を示す。順同期収集左室容量曲線では 32 フレームのうち第 29 フレーム以降はカウント数が著しく減少するため、第 29 フレームおよび第 28 フレーム以降を除外した容量曲線についておのこの Fourier 解析を行った。順・逆同期合成曲線の微分曲線では左房収縮による左室流入の検出が可能であったが、順同期収集のみで得られた容量微分曲線では完全な形での左房収縮による左室流入波形の検出はやや困難であった。一方、順同期のみおよび順・逆同期合成の左室急速流入期容量微分曲線はほぼ近似していた。

#### 2. ペースメーカー患者における検討

VVI ペースメーカー 5 例では左室容量微分曲線上、左房収縮による有意な左室流入はみられなかった。一方、生理的ペースメーカー (AAI, VDD および DDD) 例では正常対照に比し、急速流入期の左室最大拡張速度はやや低いものの、左房収縮期の左室最大拡張速度はほぼ同じであり、両最大





**Fig. 6** Fitted volume curves and their first derivative curves in various AV intervals of VDD pacing. Intervals between the peak LV filling during atrial systole and the beginning of LV contraction are progressively shortened with conversion of the AV interval from 250 to 200, 150, 100 and 50 msec by the external programmer.

拡張速度比 (左房収縮/急速流入) は大である傾向がみられた (Table 1).

Figure 4 は AAI ペースメーカ患者と VVI ペースメーカ患者の各 1 例における Fourier 4 次近似した左室容量曲線およびその微分曲線と、超音波

パルスドプラ血流速波形を示す。両検査法により得られた左室流入血流速波形において左房収縮による左室流入は VVI 例では検出されず、AAI 例では明瞭に検出された。AAI 例において左房収縮による左室流入および左室急速流入血流速波形

**Table 1** Peak Filling Rate during Rapid Filling and Atrial Systole, and the Ratio of These Two Filling Rate (Mean $\pm$ SD)

	Peak Filling Rate		
	Rapid Filling (RF) (/EDV $\cdot$ sec)	Atrial Systole (AS) (/EDV $\cdot$ sec)	AS/RF (%)
AAI, VDD or DDD (n=7)	2.37 $\pm$ 0.69	0.96 $\pm$ 0.91	42.0 $\pm$ 37.8
Normal (n=5)	3.50 $\pm$ 2.37	0.85 $\pm$ 0.50	23.6 $\pm$ 10.6

No statistically significant differences were shown between 7 patients with artificial pacemakers and 5 normal controls.

は本法とパルスドプラー法で近似していた。

Figure 5 は AAI ペースメーカー例のうち、心房刺激波を trigger して心プール記録ができた一例を示す。左室容量微分曲線において、左房収縮は pacing spike に引き続いてみられた。

Figure 6 は VDD ペースメーカー例において心房収縮から心室刺激までの時間間隔 (AV 時間) を変更して記録した左室容量曲線の Fourier 4 次近似曲線およびその微分曲線を示す。AV 間隔 250 msec では左房収縮による左室流入は左室収縮の開始前にはほぼ完結しているが、AV 間隔が短縮するに従い、左房収縮による左室流入のピークと左室収縮開始との時間間隔は短縮し、AV 100–50 msec では両者がきわめて接近しているのが示された。

#### IV. 考 案

Bad beat rejection program は multibuffer video memory を利用する目的で開発された program であり、複数 (通常 4) 個の video memory を使用することにより、フレームモードで 2 種類の収集条件の設定を可能にしたものである。この program では (1) 順逆同期データ同時収集、(2) 洞調律、期外収縮データの同時収集、(3) first-pass 法による右室、左室の心電図同期画像収集などを選択することができる。このうち (2) の期外収縮像のデータ収集解析については、著者らがすでに報告した<sup>3)</sup>。

リストモード法により心プールデータの心電図 R 波逆同期収集を行い左室容量曲線を解析した報告は Bonow ら<sup>1)</sup>、近藤ら<sup>2)</sup>のものがある。これら

の報告では一回拍出量に対する左房収縮による左室流入血流量比を求め、特発性心筋症その他の各種心疾患の病態把握、治療効果判定等にこの指標が有用であるという。一方、フレームモード法を用いて逆同期収集を行った報告はあまりみられない。本研究ではフレームモードを用い、順同期および逆同期収集を同時に行い、合成左室容量曲線を作成した。合成左室容量曲線は Fourier 近似に適しているため、この Fourier 微分曲線を用いて左房収縮による左室流入の評価を試みた。左室容量曲線の微分曲線を用い、左房収縮による左室流入血流速度を評価した報告は左室造影を用いた Hammermeister らの報告<sup>6)</sup>以外にはあまりみられない。Hammermeister らは左室容量曲線の微分解析が、左室流入を急速流入と左房収縮による流入とに分離し、各疾患病態における左房機能の評価する上で有用であることを報告した。この方法は左室造影では容量曲線の作成がきわめて複雑なため必ずしも広く用いられてはいない。本研究では心電図同期心プール法でも順同期収集データに逆同期収集データを加えて一周期が完結する合成左室容量曲線を作成することにより、左房収縮による左室流入の評価が可能な容量微分曲線が得られた。

順同期および逆同期収集による合成左室容量曲線では、中間の第 9–26 フレームは順および逆同期データを平均して作成しているため、R–R 間隔の変動が著しい症例ではこの部分のデータ誤差出現の可能性を否定できない。本研究では R–R 間隔が一定で、かつ左房収縮の有無が明確である各種人工ペースメーカー植え込み患者を対象とした、

VVI ペースメーカ例では P 波と QRS 波との時間関係が不定なため、R 波を trigger して多数の心拍を加算平均すると左房収縮による左室流入は左室容量微分曲線上検出されないと考えられた。一方、心房収縮を保持した生理的ペースメーカ(AAI, VDD, DDD)例では良好な左房収縮による左室流入が示され<sup>7)</sup>、これは R 波のみでなく pacing spike を trigger して得られた左室容量微分曲線でも確認された。本研究の結果では生理的ペースメーカ例では正常対照に比し、左室急速流入速度は低く、左房収縮の左室流入に対する貢献度は高い傾向にあった。この理由として生理的ペースメーカ患者群では高齢者が多いこと、および明らかな心筋梗塞あるいは心臓弁膜症はないものの特殊伝導系以外の固有心筋にも何らかの器質的变化が存在する可能性が否定できないことが考えられた。超音波パルスドプラー法による検討<sup>8,9)</sup>では加齢とともに、また左室造影による検討<sup>6)</sup>では冠動脈疾患、心臓弁膜症等において左室 compliance は低下し、左房収縮の左室流入に対する貢献度が增大することが報告されている。

R-R 間隔を32等分する心プールデータに基づいた左室容量微分曲線では VDD ペースメーカ例において 50 msec ごとの AV 時間の変更による左房収縮時相の変化を検出することが可能であり、良好な時間分解能が示された。今後、各種心疾患において順同期、逆同期同時収縮による左室容量微分曲線の検討を行う予定である。

## V. 結 語

複数の video buffer memory を用い、順同期および逆同期データ収集による合成心プール像を作

成した。この合成心プール像より作成した左室容量曲線を Fourier 4 次近似して左室容量微分曲線を求め、左房機能の評価を試みた。ペースメーカ患者を中心とした今回の検討では、この左室容量微分曲線は左房機能の非観血的評価に有用と考えられた。

## 文 献

- 1) Bonow RO, Frederick TM, Bacharach SL, et al: Atrial systole and left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy: effect of verapamil. *Am J Cardiol* **51**: 1386-1391, 1983
- 2) 近藤 武, 菱田 仁, 桜井 充, 他: 心電図同期心プールシンチグラフィによる急速流入期および心房収縮期における左室充満の評価. *心臓* **14**: 1323-1331, 1982
- 3) 河合直樹, 岡田充弘, 鈴木晃夫, 他: 心電図同期心プール像の位相解析による心室期外収縮の発生部位の診断. *核医学* **21**: 1323-1328, 1984
- 4) Parsonnet V, Furman S, Smyth NPD: Implantable cardiac pacemakers: status report and resource guideline. *Am J Cardiol* **34**: 487-500, 1974
- 5) 外畑 巖, 岩瀬正嗣, 河合直樹: 臨床心エコー図診断. スズケンセンター出版部, 名古屋, 1984, p. 9
- 6) Hammermeister KE, Warbasse JR: The rate of change of left ventricular volume in man. II. Diastolic events in health and disease. *Circulation* **49**: 739-747, 1974
- 7) 山本秀平, 河合直樹, 岡田充弘, 他: 不整脈の診断および治療における RI 心プール法の有用性. *J. Cardiography* (印刷中)
- 8) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, et al: Augmentation of atrial contribution to left ventricular inflow with aging as assessed by intracardiac Doppler flowmetry. *Am J Cardiol* **53**: 586-589, 1984
- 9) 岩瀬正嗣, 横田充弘, 高木茂人, 他: DDD pacemaker における心房機能の評価. Pulse Doppler 法を用いて. *J. Cardiography* (印刷中)