

《原 著》

右室心内膜ペーシング例における左右心室収縮様式の検討 ——位相解析法を用いて——

田淵 博巳* 村田 啓* 外山比南子* 村木 俊雄*
 丹野 宗彦* 千葉 一夫* 山田 英夫* 大川真一郎**
 上田 慶二**

要旨 右室心内膜ペーシング例に位相解析を行い、左右心室収縮様式の特徴について検討した。ペーシング11例、正常10例および左脚ブロック7例の位相解析上、正常例では右室流出路の位相の軽度遅延を認めるものの左右心室の位相はほぼ同時であった。これに対し、左脚ブロック例では左室全体の明らかな位相の遅延を認めた。一方、ペーシング例では全例において右室心尖部の位相が最も早く、左右心室基部に向って収縮が波状に伝播する傾向がみられた。ペーシング時の心電図QRS波形による左右心室の位相差について検討したところ、RS型で位相差の少ない症例が多くみられたが、RS型とLBBB型間に有意差は認められなかった。ペーシングレート変換による左右心室の位相は、9例中6例でペーシングレートが増すにつれて左室の位相が遅延する傾向がみられた。以上、位相解析法はペーシング例の心室収縮様式の解明に有用な方法であると考えられた。

I. はじめに

Adam ら¹⁾ の報告以来、位相解析法は心室局所の収縮の低下のみでなく、収縮位相（収縮の開始時相）の異常を検出し得る方法として、虚血性心疾患や脚ブロック・WPW症候群などの症例において検討^{2~5)}されている。われわれも心筋梗塞例や脚ブロック例に位相解析を行い、その有用性を報告してきた^{3,6,7)}。

今回、右室心内膜ペーシング例に位相解析を試み、左右心室収縮様式の特徴について、正常例および非ペーシング左脚ブロック例との対比を加え検討した。また、ペーシング時の心電図QRS波形との対比およびペーシングレート変換による左

右心室収縮様式の変化についても検討を行ったので報告する。

II. 対 象

対象は、正常対照者10例、非ペーシング左脚ブロック例（以後、左脚ブロック例とする）7例および右室心内膜ペーシング例（以後、ペーシング例とする）15例の計32例である。正常対照者は、27~69歳、平均38歳で、左室および冠動脈造影にて異常の認められなかった4例とボランティア6例である。全例、左室駆出率（LVEF）は55%以上であった。左脚ブロック例は、74~88歳、平均80歳で、臨床経過、心筋タリウムスキャン、マルチゲート心ピールイメージで、心筋梗塞を除外できた症例である。LVEFは50%以上4例、40%以下3例であった。

Table 1に今回検討したペーシング例（62~88歳、平均76歳）を示す。マルチゲート法施行時、自己心拍などの不整脈の混在した例は除外した。臨床診断は、完全房室ブロック10例、洞不全症候

* 東京都養育院附属病院核医学放射線部
** 同 診療第一部

受付：57年9月13日

最終稿受付：57年12月8日

別刷請求先：鹿児島市宇宿町1208-1（〒890）

鹿児島大学医学部第二内科

田 淵 博 已

Table 1 Clinical characteristics of the patients with right ventricular endocardial pacing

Case	Age	Sex	Clinical diagnosis
1. S.M.	74	M	Complete A-V block
2. H.I.	79	F	Complete A-V block
3. S.G.	75	F	Complete A-V block
4. K.I.	83	M	SSS
5. R.S.	78	M	Complete A-V block
6. S.S.	80	M	Complete A-V block
7. M.M.	87	F	Complete A-V block
8. S.S.	69	F	Complete A-V block
9. C.S.	76	M	SSS
10. K.K.	77	F	SSS
11. Y.O.	81	M	SSS
*12. F.N.	88	F	Complete A-V block
*13. U.I.	62	F	SSS
*14. K.I.	67	M	Complete A-V block
*15. Y.T.	74	F	Complete A-V block

* The cases had regional wall motion abnormalities.

M: male, F: female, SSS: sick sinus syndrome

群5例である。なお、症例12～15の4例は、シネ表示による局所壁運動の観察で異常が認められ、心筋梗塞の合併が疑われたため、他の11症例とは区別して解析を行った。局所壁運動に異常の認められなかった11例のLVEFは、35.7～70.2%，平均52.7%であった。

III. 方 法

ビロリン酸* 静注30分後、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 20 mCi (74×10^7 Bq) (第1回循環時法を2回行う場合は20 mCi×2) 静注約10分後、スラントホールコリメーターを装着した γ -カメラ (Searle PHOGAMMA V) を用い、左右心室の分離が最良となる左前斜位(modified LAO)にて、平衡時法によるデータ採取を行った。データ収集は、オンライン接続したコンピューターシステム(COSNMTMGH)を使用して、イメージモードにより10分間(約700心拍)行った。

位相解析法は、従来報告してきた^{3,6)}ようにフーリエ級数の1次の項で近似し、算出された位相値は時間の絶対値(msec)で表示した。位相は16色

のカラー機能図として表示し、また、位相イメージ上に関心領域を設定して位相分布のヒストグラムを作成し、位相を定量した。

ペーシング例では全例、ペーシングレート70/分にてデータ採取を行い、以下の項目について検討した。

(1) ペーシング例、正常例および左脚ブロック例における左右心室収縮様式の比較。

(2) ペーシング例の両心室各局所間の位相差。

(3) ペーシング時の心電図QRS波形を深谷ら⁸⁾の方法により、RBBB型、LBBB型、S型およびRS型の4型に大別した場合の各群の位相の特徴の比較。

(4) ペーシング例15例のうち、ペーシングレートを変換し得た9例における、ペーシングレート変換による両心室間の位相差の比較。

IV. 結 果

1. ペーシング例、正常例および左脚ブロック例における左右心室収縮様式の比較

Figure 1に正常例(上段)、左脚ブロック例(中段)、ペーシング例(下段)の位相イメージを示す。16色のカラーで区別し、青→緑→黄→赤となるにつれて位相の遅延を示し、1色が15 msecずつ変化するよう表示している。

正常例では、右室流出路の位相は軽度遅延しているが、左右心室の収縮はほぼ同時である。左脚ブロック例では、右室に比べ左室全体の位相の遅延が明らかである。これに対しペーシング例では、右室心尖部より収縮が始まり、左右心室基部に向い波状に位相が遅延し、左脚ブロック例と異なるパターンを示している。

左室全体と右室全体の位相差を定量したところ、Fig. 2に示すように、正常例では平均 12.5 ± 10.8 (SD) msec 右室の位相の遅延を示した。これに対し左脚ブロック例では、明らかな左室の位相の遅延(平均 42.7 ± 18.1 msec)が認められた。一方ペーシング例では、左室の位相の遅延は平均 11.0 ± 9.18 msecと軽度であり、左脚ブロック例と区別された。

* 第1ラジオアイソトープ研究所製

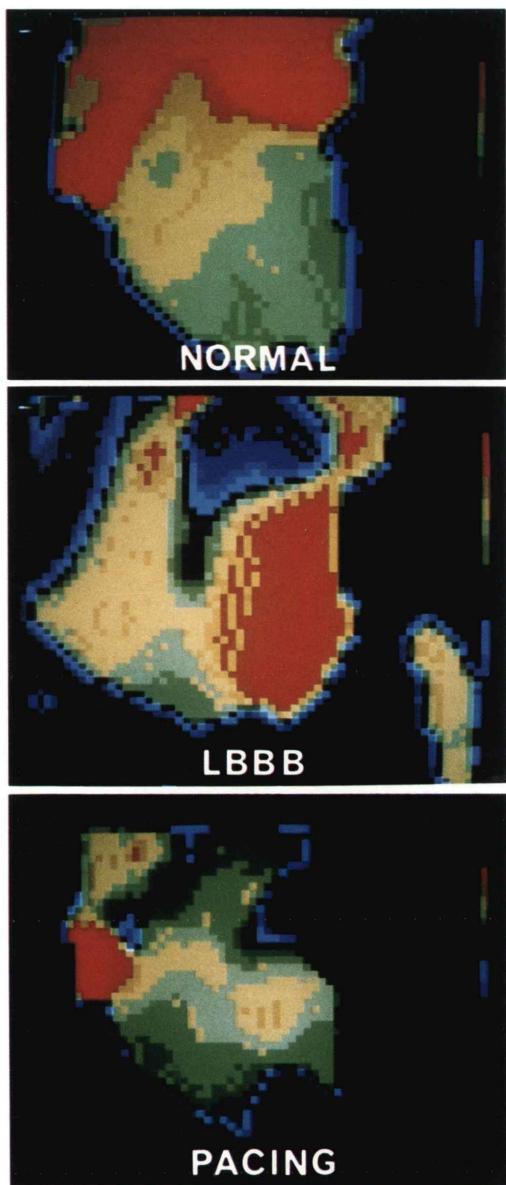


Fig. 1 Phase images of a normal control (upper), a patient with LBBB (middle) and pacemaker (lower).

Contractions of left and right ventricles were nearly simultaneous in a normal control, however, contraction delay in the left ventricle was evident in a case with LBBB. On the other hand, apex of the right ventricle contracted initially and then wavelike spread of contraction to the bases of both ventricles were observed in a case with pacemaker.
LBBB: left bundle branch block

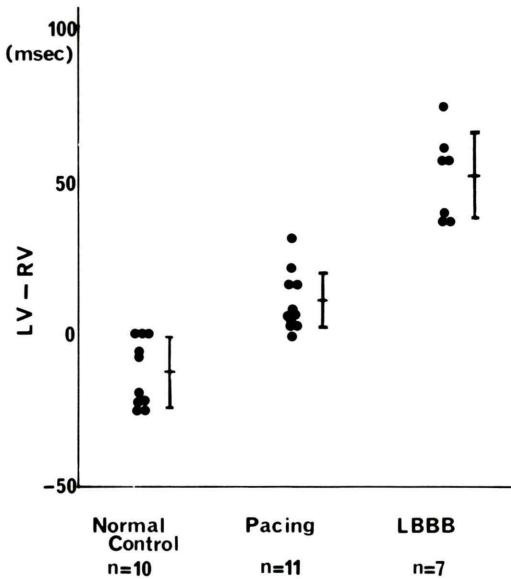


Fig. 2 Comparison of phase difference between left and right ventricles in normal control, patients with LBBB and pacemaker. Normal control showed slight contraction delay in the right ventricle. Prominent contraction delay in the left ventricle was observed in patients with LBBB. On the other hand, contraction delay in the left ventricle was mild in patients with pacemaker. Three groups were clearly separated.



Fig. 3 Regional ROIs in the ventricles.
Regional phase values were obtained from these three areas.
ROI: Region of Interest

S.M. 74y.M S57.1.8

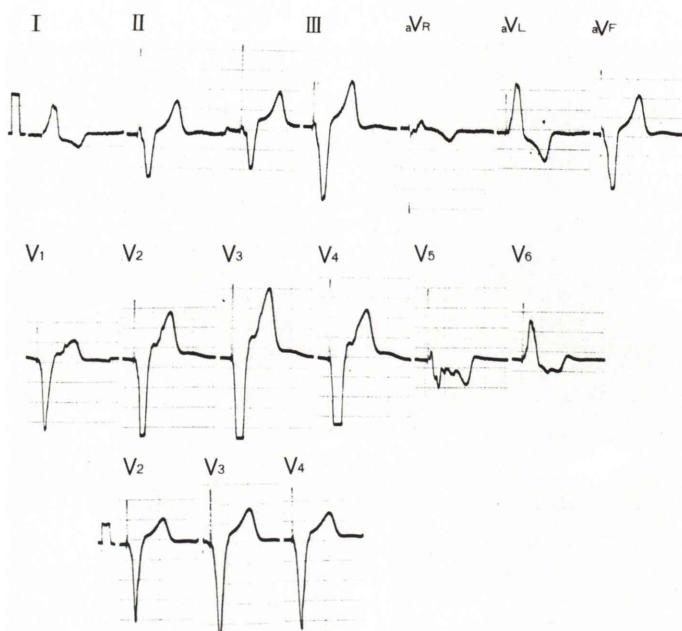


Fig. 4 Electrocardiogram of a patient with pacemaker (case 1).
QRS wave form shows typical LBBB pattern.

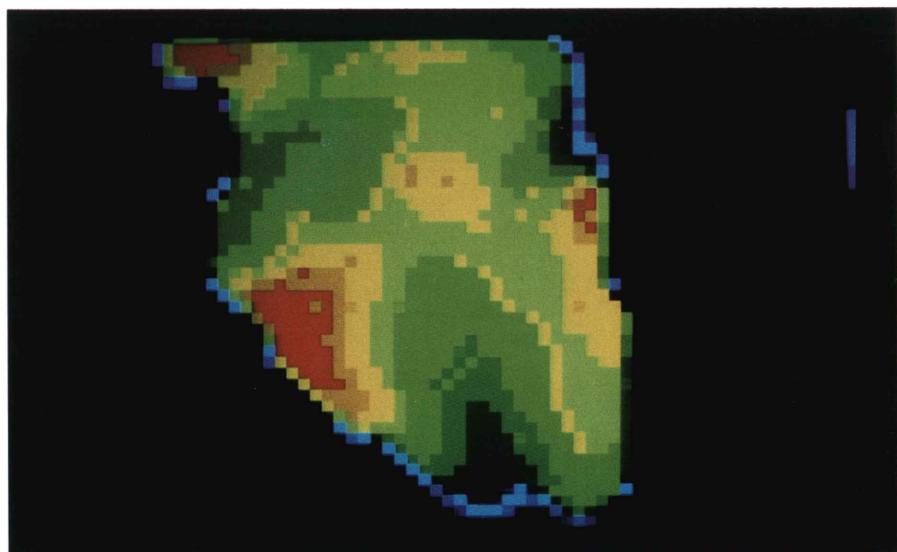


Fig. 5 Phase image of a same patient as Fig. 4.
Initial contraction occurs at apex of the right ventricle and then wavelike spread over both ventricles.

K.K. 78y.F S57.3.5

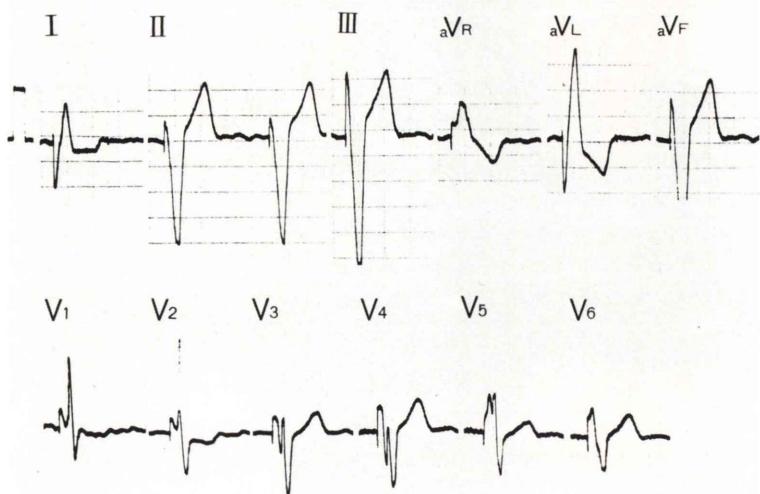


Fig. 6 Electrocardiogram of a patient with pacemaker (case 10).
QRS wave form shows typical RS pattern.

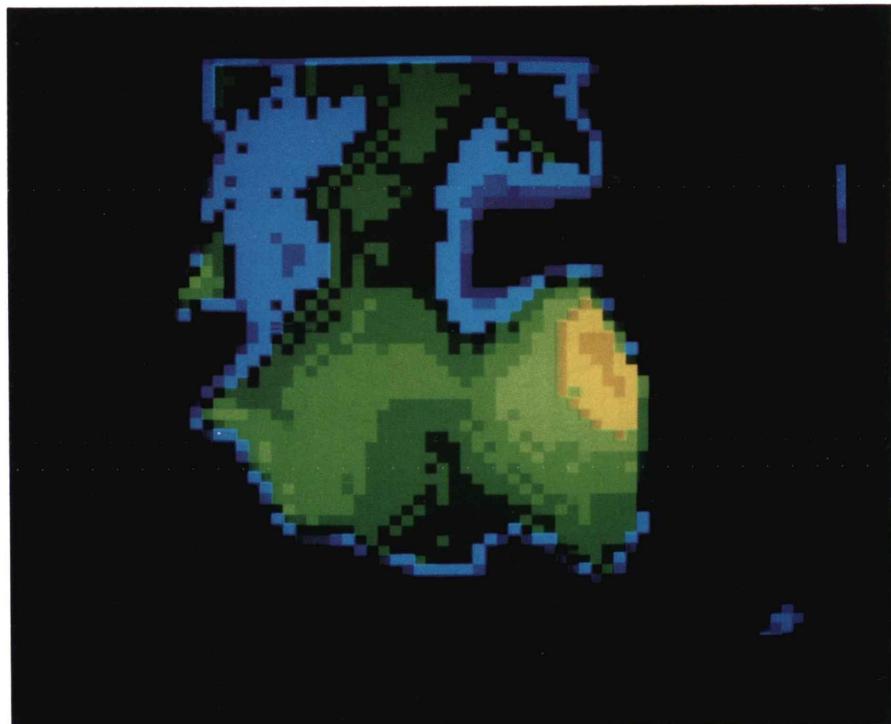


Fig. 7 Phase image of a same patient as Fig. 6.
Contraction pattern was similar to a case in Fig. 5.

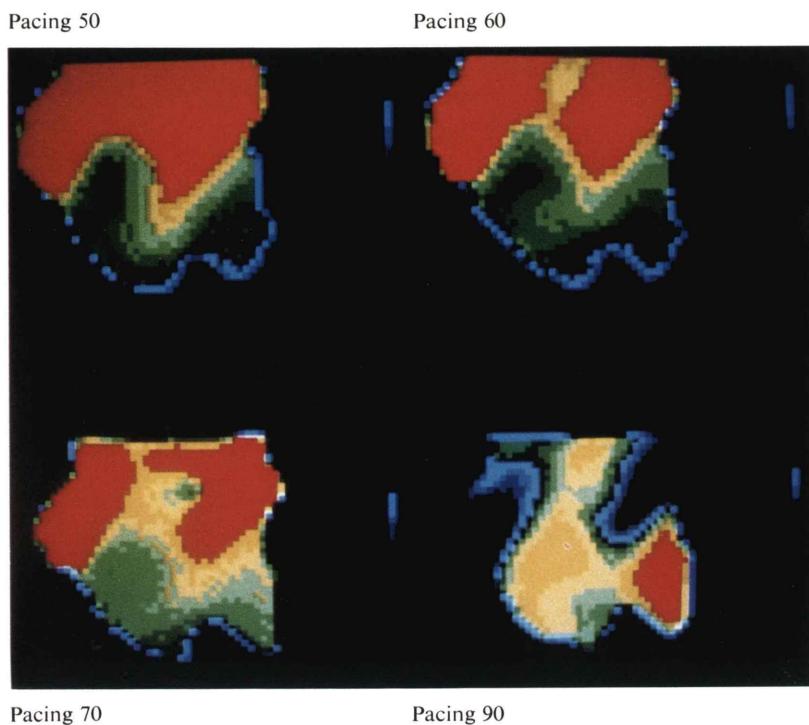


Fig. 8 Phase images from a patient with pacemaker (case 2) at various pacing rates. Contraction delay in the left ventricle was greater in proportion to increasing the pacing rate.

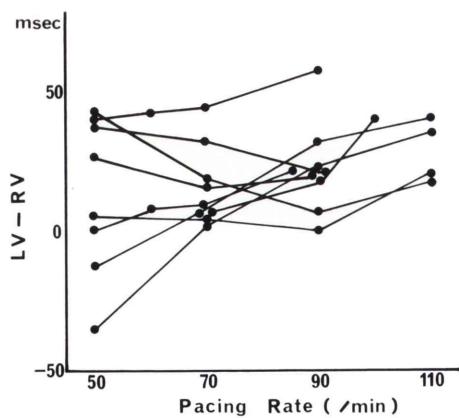


Fig. 9 Comparison of phase difference between left and right ventricles at various pacing rates in the patients with pacemaker.
In 6 out of 9 cases, phase of the left ventricle was delayed in proportion to increasing the pacing rate.

2. ペーシング例の両心室各局所間の位相差

Figure 3 に示すように、右室心尖部 (A), 右室自由壁 (R), 左室自由壁 (L) に関心領域を設定し、各部位の位相を定量した。Table 2 に各局所間の位相差を示す。全例において右室心尖部の位相が最も早く、右室自由壁との位相差は 40.5 ± 22.0 msec, 左室自由壁との位相差は 60.0 ± 20.9 msec であった。また、左室自由壁と右室自由壁の位相差は、11例中 8 例に左室の位相の遅延が認められたが、3 例では左右心室の位相はほぼ同時であった (平均 19.7 ± 15.9 msec)。

3. ペーシング時の心電図 QRS 波形による左右心室収縮様式の相違

左室局所壁運動に異常の認められなかった11例において、深谷らの方法によりペーシング時の心電図 QRS 波形を分類したところ、Table 2 に示すように、LBBB 型 3 例・S 型 1 例・RS 型 7 例であった。Fig. 4 に LBBB 型の 1 例 (症例 1) の心電図を示す。V₁ で QS, V₆ で R 優勢型を示している。同例の位相イメージを Fig. 5 に示す。収縮は右室心尖部より始まり、心基部に向って波状に拡がっているが、全体として右室に比べ左室の位相は遅延している。次に、Fig. 6 に RS 型の 1 例 (症例 10) の心電図を示す。V₁ から V₆ まで RS 型を示している。同例の位相イメージを Fig. 7 に示す。収縮は右室心尖部より始まり波状に拡がっており、症例 1 とほぼ同様なパターンを示している。

左室自由壁と右室自由壁の位相差 (L-R) および左室全体と右室全体の位相差 (LV-RV) を定量したところ、Table 2 に示すように、RS 型で両心室の位相差が小さい症例が多くみられた。しかし、LBBB 型・RS 型両者間の位相差に有意差は認められなかった。

4. ペーシングレート 変換による両心室間の位相差の比較

Figure 8 に症例 2 でペーシングレートを $50 \rightarrow 60 \rightarrow 70 \rightarrow 90$ と変えていった時の位相イメージを示す。ペーシングレートが増すにつれて左室の位相が遅延する傾向がみられる。Figure 9 にペーシングレートを変換し得た 9 例について、ペーシングレー-

Table 2 QRS wave form and phase difference in the patients with pacemaker

Case	QRS Eave form	Phase difference (msec)			
		R-A	L-A	L-R	LV-RV
1. S.M.	LBBB	60	103	43	16
2. H.I.	LBBB	21	40	19	8
3. S.G.	LBBB	21	40	19	3
4. K.I.	S	65	84	19	17
5. R.S.	RS	21	61	40	7
6. S.S.	RS	20	40	20	32
7. M.M.	RS	19	59	40	22
8. S.S.	RS	58	56	-2	3
9. C.S.	RS	41	41	0	5
10. K.K.	RS	40	57	17	-1
11. Y.O.	RS	80	79	-1	7
		Mean	40.5	60.0	19.7
		±SD	±22.0	±20.9	±15.9
					±9.18

R-A, L-A & L-R show regional phase difference and LV-RV shows global phase difference of the ventricles. Abbreviations (R, L, A) are same as Fig. 3.

ト変換による左室と右室の位相差を定量したものと示す。9 例中 6 例において、ペーシングレートが増すにつれて左室の位相の遅延が増大する傾向がみられた。

V. 考 察

近年普及してきた位相解析法は、従来の方法では検出できなかった収縮の時間的異常を、位相のカラー機能図あるいはヒストグラムとして表示することにより、梗塞部の位相のずれ^{5,6)}や刺激伝導系の異常にに基づく心室収縮様式の差異の解明^{2,9~12)}などに応用され、有用な評価を得ている。ペーシング例の位相解析については若干の報告はある^{2,9,11,12)}が、詳細に解析した報告は少ない。本論文では、右室心内膜ペーシング例における左右心室収縮様式の特徴について、位相解析法を用い検討を行った。

ペーシング例、正常例および左脚ブロック例において、左右心室の位相差について検討したところ、3 者には有意な差が認められた。すなわち正常例では、右室流出路の位相が軽度遅延していたが、両心室の位相はほぼ同時であった。定量的解析では、右室の位相の軽度遅延が認められた。一方、左脚ブロック例では、一部の症例に心室中隔

の早期収縮が認められたが、右室に比べ左室全体の位相の遅延が明瞭であり、正常例と明確に区別された。これは、正常例および左脚ブロック例における位相解析を行った Swiryn ら¹⁰⁾の報告と良く一致していた。しかし、今回の左脚ブロック例には左室駆出率 40%以下の3症例が含まれており、今後さらに症例を増やして定量解析する必要があると思われる。

ペーシング例では、右室心尖部より収縮が始まり、左右心室基部に向って収縮が波状に伝播する傾向がみられ、正常例、左脚ブロック例と異なるパターンを示していた。定量的解析でも左室の位相の遅延は軽度であり、正常例、左脚ブロック例と明確に区別された。

Botvinick ら¹¹⁾も右室心内膜ペーシング例の位相解析で、右室心尖部より連続的に位相が変化し、左脚ブロック例と明らかに異なる伝導パターンを示していると報告している。このような収縮様式を示すのは、左脚ブロックにおいては、心室中隔右室面へ達した興奮波は筋性伝導により心室中隔左室面へゆっくり伝播されたのち、左室心内膜下プルキンエ線維により左室自由壁へ伝わるため、左室全般にわたる位相の遅れが認められる。一方、右室心内膜ペーシングに際しては、右室より左室へ向う心室中隔の興奮伝導に要する時間は特殊刺激伝導系を介するため短く、また左室内の興奮伝播も正常例と同様に分岐した左脚—プルキンエ線維系を介して短時間のうちに放射状に行われるため、左脚ブロックと異なる位相の差を呈するものと考えられる。

今回の検討では、正常対照群に比べてペーシング例、左脚ブロック例には高齢者が多かったため、加齢による心機能の変化が位相解析に影響を及ぼしている可能性も考えなければならない。しかし、今回の高齢対照者の機能図は正常パターンを示しており、ペーシング例の位相が正常者と異なった原因を加齢によるものとは考えにくい。

心室局所の位相値の比較でも、全例において右室心尖部の位相が最も早く、Turner ら¹³⁾も報告しているように、本解析法はカテーテル電極先端

の位置の決定に有用な方法であると考えられる。今後、冠静脈洞ペーシング、カテーテル電極穿孔例などに本解析を施行する機会が得られたら、比較検討していく予定である。

ペーシング時の心電図 QRS 波形を 4 型に大別し、各群における位相の差を検討したところ、RS 型に左右心室の位相に差のない症例が多くみられた。しかし、LBBB 型・RS 型両者に有意差は見い出せなかった。今後、今回の症例には含まれなかった RBBB 型や症例の少なかった S 型についての検討も必要と考えられる。

ペーシングレート変換時の左右心室の位相差を検討したところ、ペーシングレートが増すにつれて位相差が増大する傾向がみられた。心室全体の容積曲線の分析でも同じ傾向が認められた。その機序としては、左室への興奮伝播が遅れる可能性あるいは興奮伝播は同じでも両心室の収縮様式に差ができる可能性などが考えられるが、現在のところ明らかでなく、その生理学的意味づけには慎重でなければならない。今後、心エコー法、体表面電位図法などの所見と比較検討を行っていく予定である。

VI. 結 語

右室心内膜ペーシング例の左右心室収縮様式の特徴について、位相解析を行い検討した。

- 1) ペーシング例、正常例および左脚ブロック例は位相イメージ上異なるパターンを呈し、定量的位相解析上も明確に区別された。
- 2) ペーシング例では全例において右室心尖部の位相が最も早く、左右心室基部に向かって収縮が波状に伝播する傾向がみられた。
- 3) ペーシング時の心電図 QRS 波形の分類上、LBBB 型・RS 型両者の位相に有意差は認められなかった。
- 4) ペーシングレートが増すにつれて、左室の位相の遅延が増大する傾向がみられた。

以上、位相解析法はペーシング例における左右心室収縮様式の特徴の解明に有用な方法であると考えられた。

本論文の一部は、第6回心臓ペーシング研究会(1982年5月、長崎)および第17回関東甲信越核医学地方会(1982年6月、東京)にて発表した。

文献

- 1) Adam WE, Tarkowska A, Bitter F, et al: Equilibrium (gated) radionuclide ventriculography. *Cardiovasc Radiol* **2**: 161-173, 1979
- 2) Links MJ, Douglass HK, Wagner Jr NH: Patterns of ventricular emptying by Fourier analysis of gated blood pool studies. *J Nucl Med* **21**: 978-982, 1980
- 3) 外山比南子, 飯尾正宏, 村田啓, 他: 位相分析法による第1回循環時および平衡時マルチゲートイメージの解析. *画像診断* **1**: 81-88, 1981
- 4) 向井孝夫, 玉木長良, 石井靖, 他: 心拍同期心プール像の位相解析による局所心筋壁運動の評価. *核医学* **18**: 609-612, 1981
- 5) 玉木長良, 向井孝夫, 石井靖, 他: Phase analysisによる左室局所壁運動の定量的評価. *核医学* **18**: 1241-1248, 1981
- 6) 田淵博巳, 村田啓, 外山比南子, 他: 心筋梗塞症の局所壁運動の分析. *核医学* **19**: 919-928, 1982
- 7) 村田啓, 田淵博巳: 刺激伝導系の診断——位相解析——. *画像診断* **1**: 535-540, 1981
- 8) 深谷真彦, 松本頼明, 植山千秋, 他: 剖検心にて確認したカテーテル電極先端の位置と心電図 QRS 波との対比. 第5回心臓ペーシング研究会プロシードィングス: 247-249, 1981
- 9) Pavel D, Byrom E, Swiryn S, et al: Normal and abnormal electrical activation of the heart—Imaging patterns obtained by phase analysis of equilibrium cardiac studies. *IAEA-SM-247/124*: 253-261, 1981
- 10) Swiryn S, Pavel D, Byrom E, et al: Sequential regional phase mapping of radionuclide gated biventriculograms in patients with left bundle branch block. *Am Heart J* **102**: 1000-1010, 1981
- 11) Botvinick E, Dunn R, Frais M, et al: The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation* **65**: 551-560, 1982
- 12) 高橋恒男, 桂川茂彦, 柳澤融: 位相解析法による各種心疾患のマルチゲート心プール像の評価. *核医学* **19**: 239-244, 1982
- 13) Turner DA, Von Behren PL, Ruggie NT, et al: Noninvasive identification of initial site of abnormal ventricular activation by Least square phase analysis of radionuclide cineangiograms. *Circulation* **65**: 1511-1518, 1982

Summary

Analysis of the Left and Right Ventricular Contraction Patterns in the Patients with Right Ventricular Endocardial Pacing

Hiromi TABUCHI*, Hajime MURATA*, Hinako TOYAMA*, Toshio MURAKI*,
Munehiko TANNO*, Kazuo CHIBA*, Hideo YAMADA*,
Shinichiro OHKAWA** and Keiji UEDA**

*Department of Nuclear Medicine and Radiological Sciences and

**Department of Internal Medicine Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital, Tokyo

Contraction patterns between left and right ventricles were evaluated using phase analysis in the patients with right ventricular endocardial pacing (RVEP). Phase images were compared between 11 cases of RVEP, 10 cases of normal control (NC) and 7 cases of left bundle branch block (LBBB). NC group showed nearly simultaneous contraction between both ventricles although contraction of right ventricular outflow tract was slightly delayed. LBBB group showed markedly delayed contraction of the whole LV compared with the contraction of RV. On the other hand, all cases of RVEP group showed initial contraction at apex of RV and then wavelike spread of contraction to the basal portions of both ventricles. Thus, three groups were clearly separated on the phase image. QRS wave forms of the electrocardio-

gram at pacing were classified into 4 types (RBBB, RS, S and LBBB) and phase difference was compared between each type. Several cases of RS type showed little phase difference between LV and RV, however, there was no significant difference between LBBB and RS type. Phase difference between LV and RV was studied at various pacing rates in 9 cases. In 6 out of 9 cases, phase of the left ventricle was delayed in proportion to increasing the pacing rate.

Phase analysis was useful to evaluate the ventricular contraction pattern in the patients with RVEP.

Key words: phase analysis, right ventricular endocardial pacing, left bundle branch block, QRS wave form, pacing rate.