

## 心外膜面興奮パターンによる心室中隔由来の心室頻拍の起源推定：術中マッピング所見による検討

## Identification of Deep Septal Ventricular Tachycardia Substrates From Epicardial Breakthrough Characteristics

川村 祐一郎

Yuichiro KAWAMURA

菊池 健次郎

Kenjiro KIKUCHI

Reginald NADEAU\*

Reginald NADEAU\*

Pierre PAGE\*

Pierre PAGE\*

René CARDINAL\*

René CARDINAL\*

### Abstract

This study aimed to elucidate the relationship between the epicardial activation pattern and the site of origin of the ventricular tachycardia (VT) occurring from the interventricular septum, and to find epicardial breakthrough characteristics identifying VT substrates.

Seven patients undergoing intraoperative mapping including right ventricular endocardial mapping were studied. Thirteen septal VTs, which were defined as VTs in which both right and left ventricular endocardial breakthroughs were on the septal aspect, were induced. The VT site of origin was identified from the site and timing of right and left septal endocardial breakthroughs. All VTs were classified into three groups according to the site of epicardial breakthrough: type A, epicardial breakthrough in the anterior interventricular area; type F, epicardial breakthrough in the right ventricular free wall; type P, epicardial breakthrough in the posterior interventricular area. All type F VTs had a right ventricular endocardial breakthrough in the anterior septum and preceded the left ventricular endocardial breakthrough, thereby indicating right anterior septal origin.

In the types A and P, both the right and left endocardial breakthroughs were localized in consistent (anterior and posterior, respectively) halves of the septum, but their relative timing was inconstant. This result suggests that epicardial mapping, and even noninvasive methods like body surface mapping, can identify the site of origin of the septal VTs, especially when the epicardial breakthrough occurs in the right ventricular free wall.

### Key Words

ventricular tachycardia, myocardial infarction, cardiac mapping, ablation-catheter

### はじめに

高周波カテーテルアブレーションが普及した今日でも、慢性期心筋梗塞に伴う心室頻拍 (ventricular tachycardia: VT) の根治療法としては、その心室頻拍の起源がある程度の広がりを持つている点から術中マッピングを駆使した手術療法が主体で、いくつかの好成績が報告されている<sup>1-4)</sup>。しかしながら、心室中隔由来の心室頻拍 (中隔性心室頻拍: septal VT) ではそ

の起源が心表面から遠く、またその興奮伝播に His-Purkinje 系も関与するため、心表面興奮パターンのみからの起源推定には限界があり、満足のいく手術成績が得られていないのが現状である<sup>3,4)</sup>。

中隔性心室頻拍の、とくに起源が中隔深部でむしろ右室側に近いようなものの興奮伝播過程を明らかにするためには、従来の心外膜・左室心内膜マッピングに加え、右室心内膜マッピングによる情報<sup>5-7)</sup>が有用と思われるが、装置の限界などの理由からこれまで臨牀的

旭川医科大学 第一内科：〒078 旭川市西神楽 4 線 5 号 3-11; \*モントリオール、サクレ・カール病院研究センター

The First Department of Internal Medicine, Asahikawa Medical College, Asahikawa; \*Centre de Recherche, Hopital du Sacré-Cœur de Montreal  
Address for reprints: KAWAMURA Y, MD, The First Department of Internal Medicine, Asahikawa Medical College, Nishikagura 4-5-3, Asahikawa 078

Manuscript received May 1, 1995; revised August 9, 1995; accepted September 13, 1995

研究は少ない。今回、われわれは右室心内膜を含めた術中マッピング所見から中隔性心室頻拍の起源と心外膜興奮パターンとの関係を詳細に分析し、さかのぼって心外膜興奮パターンからその起源を推定することが可能か否かを検討した。その結果、示唆に富むいくつかの知見を得たので若干の文献的考察を含め報告する。

## 対象と方法

1989年5月-1993年11月のMontreal市Sacré-Cœur病院における心筋梗塞後持続性単形性心室頻拍の手術例を対象とした。本研究では、心室中隔由来の心室頻拍の定義を「心外膜面・左室内膜面および右室内膜面同時マッピングが施行可能であった症例のうち、左右心内膜における最早期興奮部位がいずれも中隔面であった心室頻拍」とした。

心外膜マッピングは独自に製作した単極128個からなるサック電極 (Fig. 1-A)、右室および左室心内膜面マッピングは同じくそれぞれ単極64個からなるバルーン電極 (Figs. 1-B, C) を用いた。すなわち総計256個の単極電極装着下に、右室流出路におけるプログラム刺激法およびバースト法により心室頻拍を誘発し、マイクロヴァックスコンピューターと独自に開発した解析ソフトウェアを主体とする装置<sup>9)</sup>によりデータ取り込みおよび等時間マップを作成した。各電極における興奮到達時間は、単極電位波形の下向き傾斜角が最大の点とし、これが $-0.5$  mv/msecよりも大(傾斜がゆるい)である場合は、その電極部の電気的興奮はないものとした。マップ上、その周囲のどの点よりも早期に興奮した点をbreakthrough (BT)とした<sup>9)</sup>。BTは心外膜面および左室・右室内膜面のおのおのに最低1個は存在し、複数個存在する場合もある。等時間線は全BT中最も早い点を0 msecとし、10 msec間隔で描出した。Fig. 2に示したように、すべてのマップは心尖部が中央に、心基部が周囲に位置するように描出した。両心内膜マップにおいて、最早期BTの位置および相対時間から深度を含めた心室中隔内の起源部位を決定した。すなわち、右室内膜BTと左室内膜BTの時間差が大きいほど、心室頻拍の起源部位は位置・深度とも、より早期のBTに近いものと考えた。逆に、右室内膜BTと左室内膜BTがまったく等時間であった場合、起源部位は両BTの中点(中隔の中層で位置的にも

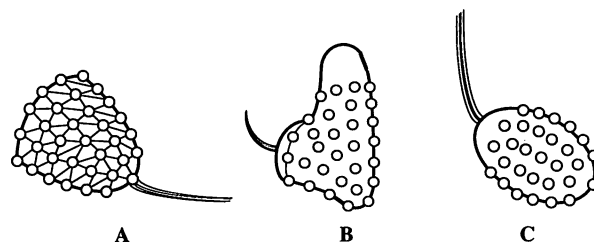


Fig. 1 Schema of mapping apparatus

- A: Epicardial sack electrode arrays.
- B: Right ventricular endocardial electrode arrays.
- C: Left ventricular endocardial electrode arrays.

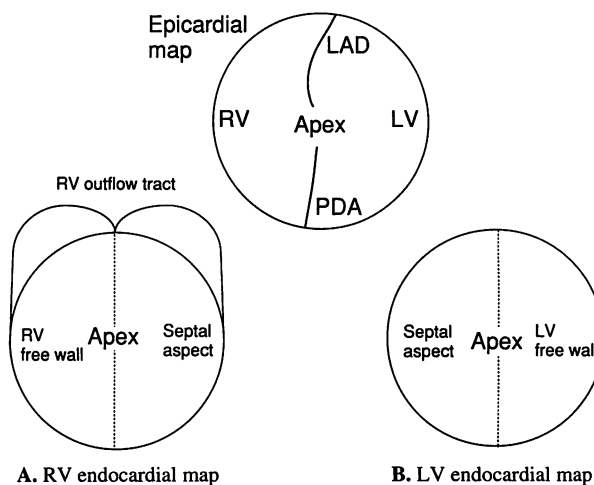


Fig. 2 Schema representing the view of maps

Each map was drawn in the polar view. Sites of coronary arteries were depicted in the epicardial map. Appendages indicating right ventricular outflow tract were included in the right ventricular endocardial map.

RV=right ventricle; LV=left ventricle; LAD=left anterior descending coronary artery; PDA=posterior descending coronary artery.

両BTの中点)であるとした。

このように決定した心室頻拍起源部位と心外膜BTの位置との関連を見出し、逆に心外膜興奮パターンから起源部位が推定可能であるか否かを検討した。数値データの比較には非対称性 $t$ 検定を用いた。

## 成 績

上述のように定義した中隔性心室頻拍は7症例(13心室頻拍)にみられた (Table 1)。Fig. 3に代表的な3つの心室頻拍のマップを示した。Fig. 3-上 (VT 4)では、左室内膜前中隔心基部に最早期BT (0 msec)が出現し、右室内膜BTも同じ前中隔心基部に出現したもののこれに28 msec遅れていた。したがって、この心室頻拍の起源部位は前中隔基部左室側と推定し

**Table 1** Characteristics of patients and ventricular tachycardia

Patient No.	Age (yrs)	Sex	Infarction	VT	Type	Cycle length (msec)	RV-LV (msec)
1	55	M	Ant	1	F	246	12
				2	F	212	8
2	59	M	Ant	3	F	286	10
				4	A	330	-28
3	68	M	Inf	5	A	258	42
				6	P	218	26
				7	P	242	-46
4	49	M	Ant	8	P	248	-40
5	59	M	Ant	9	F	284	8
				10	F	250	44
6	56	M	Inf	11	A	282	-46
				12	A	426	-56
7	69	M	Inf	13	P	506	24

Type A: epicardial breakthrough in the anterior intraventricular area, Type F: epicardial breakthrough in the right ventricular free wall, Type P: epicardial breakthrough in the posterior intraventricular area.

VT=ventricular tachycardia; RV-LV=relative timing between the right and left ventricular endocardial breakthroughs; M=male; Ant=anterior; Inf=inferior. Negative value in the RV-LV indicates that the right ventricular endocardial breakthrough was later than the left ventricular endocardial breakthrough.

た。心外膜 BT (40 msec) は右室傍前中隔心基部に認められた。Fig. 3-中 は上の VT 4 と同一の患者において誘発された心室頻拍 (VT 3) であるが、右室心内膜前中隔 (心尖部と心基部の中間) に最早期 BT (0 msec)、中隔面中央部やや心基部よりに左室内膜 BT (10 msec) が出現していた。両者の相対時間が小でありながらも右室内膜 BT が先行していたことから、この心室頻拍の起源部位は中隔深層で、むしろ前中隔右室側であると推定した。心外膜 BT (6 msec) は右室自由壁上に存在していた。Fig. 3-下 の心室頻拍 (VT 13) では、右室心内膜後中隔に最早期 BT (0 msec)、中隔面中央部やや下壁よりに左室内膜 BT (24 msec) が出現しており、起源部位は後中隔右室側と推定された。心外膜面の最早期 BT (8 msec) は右室内膜 BT 同様後中隔にみられたが、右室自由壁ほぼ中央部に第 2 の BT (36 msec) も認められた。

今回検討したすべての心室頻拍をその最早期心外膜 BT の位置から分類すると、上記の 3 つの心室頻拍に代表されるように、1) 前室間溝付近に存在するもの (前室型)、2) 右室自由壁に存在するもの (自由壁型)、3) 後室間溝付近に存在するもの (後室型) のいずれかに属し、左室自由壁に心外膜 BT を有した心室頻拍は存在しなかった (Fig. 4)。Table 1 に示したように、前室型 (A)、自由壁型 (F)、後室型 (P) に属した心室頻拍は

それぞれ 4, 5, 4 頻拍であった。梗塞部位の前壁/下壁の比率は前室型、自由壁型、後室型でそれぞれ 1/3, 5/0, 1/3 で、自由壁型はすべて前壁梗塞に由来していた。周期長 (cycle length) の平均値±標準偏差はそれぞれ 324±74, 256±31, 304±136 msec と有意差はなかった。

Fig. 5 に各心室頻拍の両側心内膜面 BT の位置を対比して示したが、自由壁型の右室内膜 BT はすべて前中隔基部あるいはそのやや心尖部寄りに存在していた。左室内膜 BT もおおむねこれに対応した位置に存在していたが、VT 9 のように右室内膜 BT とかなり解離した心尖部に出現したものもみられた。一方、前室型、後室型ではおおむね中隔面のそれぞれ前半、後半に両内膜 BT が存在していたが、自由壁型の右室内膜 BT のような局在は認められなかった。また Fig. 5 には右室内膜 BT が左室内膜 BT に先行した心室頻拍を示してある (丸囲み数字) が、自由壁型ではすべて右室内膜 BT が先行していた。すなわち自由壁型心室頻拍の起源部位はすべて前中隔右室寄りと推定された。他の 2 型における右室内膜 BT 先行頻度は前室型 25%、後室型 50% であった。

## 考 案

心室中隔は、心表面あるいはさらに体表面からみて

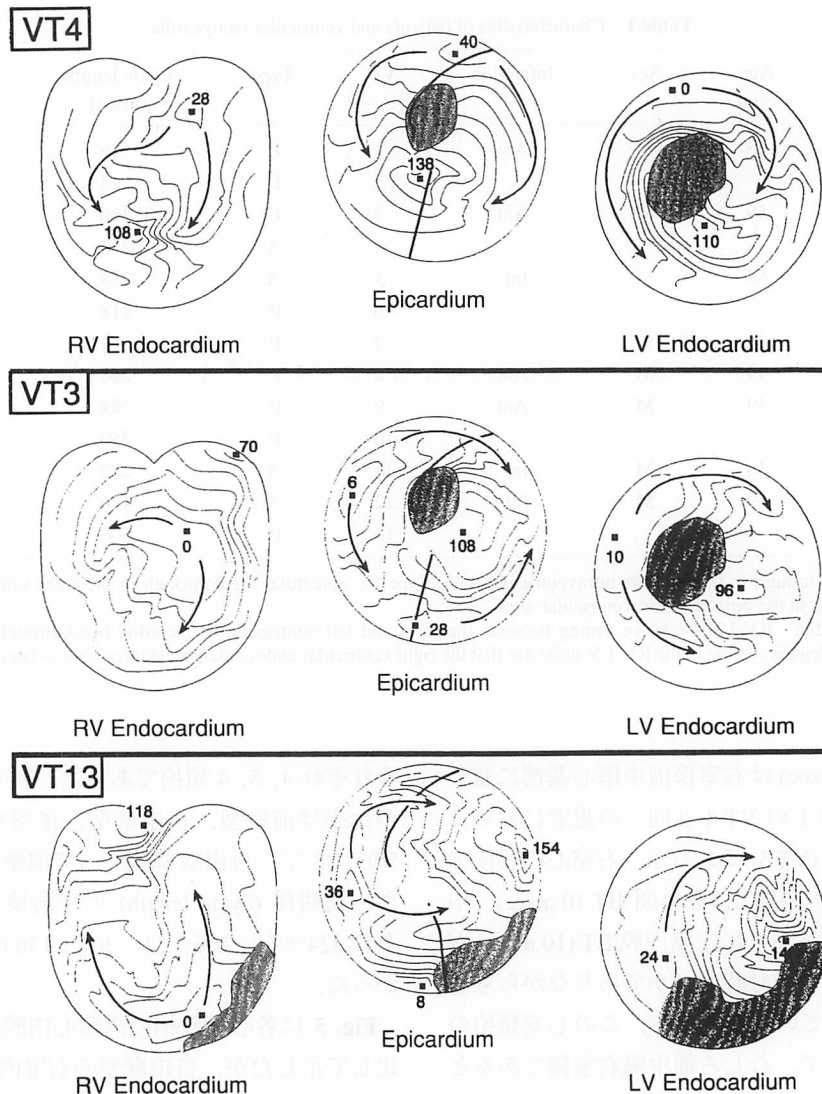


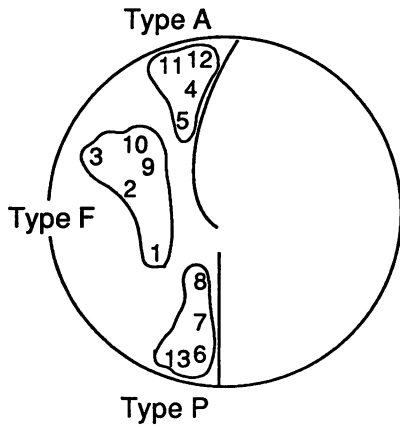
Fig. 3 Three different representative VT maps

Upper: VT4 with epicardial breakthrough in the anterior paraseptal area.  
 Middle: VT3 with epicardial breakthrough in the right ventricular free wall.  
 Lower: VT13 with epicardial breakthrough in the posterior paraseptal area.  
 Abbreviations as in Fig. 2, Table 1.

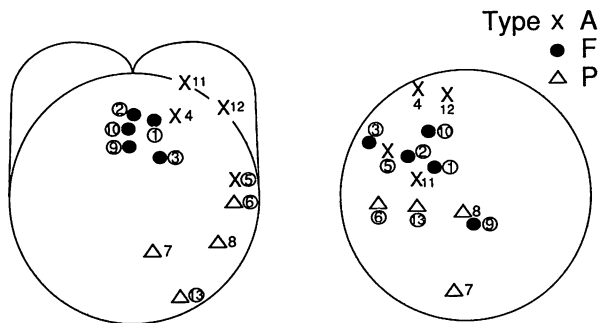
も最も深部の構造であり，ここから発生する心室頻拍(中隔性心室頻拍)の起源部位の同定が極めて困難であることは論をまたない。本研究は，外科的治療を行った中隔性心室頻拍の右室内膜をも含めた術中マッピング所見を詳細に検討し，心外膜面興奮パターン上その起源部位を推定すべき所見があるか否かを検討したものである。

虚血性心室頻拍の起源部位は，従来は主に左室内膜面のBTの位置から2次的に論じられていた<sup>1-4)</sup>。しかしながら，いくつかの実験的研究<sup>5,7)</sup>でも明らかにされているように中隔性心室頻拍の起源は中隔筋層深部

あるいはさらに右室内膜下にも存在しうるので，中隔の厚さを含めて3次的に同定するのが妥当と考えられる。事実，左室内膜マッピングのみを指標とした場合，虚血性中隔性心室頻拍の手術成績が必ずしも満足すべきものではない<sup>3,4)</sup>ことは右室内膜マッピング非施行下での起源同定が不正確であることを示唆する。したがって本研究では，右室内膜BTと左室内膜BTとの位置および時間差から中隔性心室頻拍の起源部位を中隔筋層内深度も考慮して同定したうえで議論を進めた。心筋深層の起源部位の正確な同定には，本来は針電極による術中マッピングを用いるべきであろう。し



**Fig. 4** Sites of epicardial breakthroughs for all 13 VTs and VT types (A, F and P) classified according to the sites  
Representative VTs for each type are shown in Table 1 (VTs 4, 3 and 13, respectively).



**Fig. 5** Comparative representation of the right and left endocardial breakthrough sites for each VT  
The classifications followed Table 1. Circled numbers represent the VT in which the timing of the right endocardial breakthrough preceded that of the left ventricular endocardial breakthrough.  
Note that all type F VTs had the right ventricular endocardial breakthrough in the anterior septal region preceding the left ventricular endocardial breakthrough.

かし Kaltenbrunner ら<sup>4)</sup>が述べているように、左室内膜 BT が心外膜 BT より早期であった場合に前者を指標とした手術療法が好成績であることは、本論文で述べた時間差による起源部位および深度同定の妥当性を支持する。

本研究結果のうち最も重要な知見は、右室自由壁に心外膜面 BT を有する心室頻拍(自由壁型)が非常に一致した部位、すなわち前中隔右室側に最早期興奮部位を有していたことである。この部位は右脚本幹すなわちヒス束から分岐した後前乳頭筋基部で3分岐するまでの間の解剖学的位置にほぼ相当すると考えられる<sup>10)</sup>。このことと、ここで示した右室自由壁の BT が Durrer ら<sup>11)</sup>がヒト摘出心で観察した正常洞調律時の BT と極

めて類似していることを考え合わせると、この群の心室頻拍は刺激伝導系とくに右脚と密接に関係した心室頻拍であると推定される。これらの中には、単に起源部位が右脚本幹に近接している心室頻拍に加えて、梗塞心にしばしば認められる脚間リエントリーを機序とする心室頻拍<sup>12)</sup>が含まれている可能性がある。例えば VT9 のように最早期 BT が前中隔右室側であるが、これに引き続く BT が左室心内膜心尖部に出現するようなマッピングパターンは、右脚を下行し左脚を上行する興奮経路として矛盾しない。ただ今回のマッピングでは明確な脚電位と思われる電位は記録できておらず、確診には至っていない。

他方、前室型および後室型の各心室頻拍の起源部位については、おおむね中隔のそれぞれ前半、後半に存在すると推定されたものの、より詳細な同定は困難であった。心筋梗塞巣は心室頻拍の興奮伝播に対し障壁の役割を果たすとされ<sup>13)</sup>、例えば VT 11 ではその起源部位は中隔の左室内膜側ほぼ中央であったが、下壁側の梗塞巣の存在のため前中隔方向への興奮伝播がより容易であり、ために心外膜面最早期 BT が前室間溝に出現したものと考えられる。また VT 8 ではこれと逆の状況が推定される。しかしこういった興奮伝播のメカニズムは各心室頻拍ごとに異なると思われる、前室型、後室型の2型については、中隔内深度を含めた起源部位と心外膜面 BT の関係に画一的なパターンを見出すことは不可能であった。

本研究結果は、中隔性心室頻拍の複雑な興奮伝播過程の理解に有益な手がかりを与えるものである。とくに右室自由壁に BT を持つ中隔性心室頻拍の起源部位が右室前中隔に限局している可能性を指摘しえたことは、その興味深い機序が窺われるとともに、これらの心室頻拍に対し根治的アプローチを考慮するうえで極めて重要な所見と思われる。しかしながら、他の型の心室頻拍についてはその起源部位にある傾向を見出すにとどまっており、さらなる症例の集積および詳細な興奮伝播過程の研究が今後望まれる。

### 結 論

右室心内膜を含めた術中マッピング所見から中隔性心室頻拍の起源部位と心外膜面興奮パターンとの関係を詳細に分析した。右室自由壁に breakthrough を有する中隔性心室頻拍は右室前中隔に最早期興奮部位を持

ち、この部位に起源を有する可能性、またこのような心室頻拍の興奮伝導パターンの形成に刺激伝導系とく

に右脚が関与している可能性が示唆された。

## 要 約

外科的根治術施行後もなお再発率の高い心室中隔由来の梗塞後心室頻拍 (VT) の起源部位と心外膜面最早期興奮部位の関係を明らかにし、心室中隔内深度を含めた起源同定の指標を見付けることを目的とした。

対象は術中マッピングによって、右室および左室内膜最早期興奮部位がともに心室中隔面に存在した梗塞後心室頻拍 13 例 (7 症例) で、両室内膜最早期興奮部位の位置および時間差から同定した起源部位と心外膜面最早期興奮部位との関連を検討した。

心外膜面最早期興奮部位の位置から、すべての心室頻拍は以下のいずれかの型に分類された。1) 前室間溝に存在したもの (前室型; 4 VT), 2) 右室自由壁に存在したもの (自由壁型; 5 VT), 3) 後室間溝に存在したもの (後室型; 4 VT)。前室型および後室型では両室内膜最早期興奮部位が心室中隔の前半 (前室間溝側) および後半 (後室間溝側) に存在する傾向を示したのみであったが、自由壁型ではすべて前中隔心基部から前乳頭筋基部の、極めて限局した部位に集中していた。右室内膜最早期興奮部位が左室内膜最早期興奮部位に先行した心室頻拍は、前室型および後室型では 3/8 (37.5%) であったが、自由壁型では 5/5 (100%) であった。すなわち自由壁型の推定起源部位はすべて前中隔右室側であった。

以上より自由壁型の起源部位は右脚本幹の走行部位に一致し、かつ右室自由壁の最早期興奮というマッピングパターンは正常洞調律時のそれに類似している。すなわちこの心室頻拍の興奮伝播に右脚を含めた正常刺激伝導系が関与することが推定された。本研究結果は一部の中隔由来の心室頻拍の興奮パターンの機序を解明するうえで貴重なものと思われた。

*J Cardiol* 1995; 26: 349-355

## 文 献

- 1) Krafcek J, Lawrie GM, Roberts R, Magro SA, Windham CRC: Surgical ablation of ventricular tachycardia: Improved results with a map-directed regional approach. *Circulation* 1986; **73**: 1239-1247
- 2) Caceres J, Werner P, Jazayeri M, Akhtar M, Tchou P: Efficacy of cryosurgery alone for refractory monomorphic sustained ventricular tachycardia due to inferior wall infarction. *J Am Coll Cardiol* 1988; **11**: 1254-1259
- 3) Page PL, Cardinal R, Shenasa M, Kaltenbrunner W, Cossette R, Nadeau R: Surgical treatment of ventricular tachycardia: Regional cryoablation guided by computerized epicardial and endocardial mapping. *Circulation* 1989; **80** (Suppl I): I-124-I-134
- 4) Kaltenbrunner W, Cardinal R, Dubuc M, Shenasa M, Nadeau R, Tremblay G, Vermeulen M, Savard P, Pagé PL: Epicardial and endocardial mapping of ventricular tachycardia in patients with myocardial infarction: Is the origin of the tachycardia always subendocardially localized? *Circulation* 1991; **84**: 1058-1071
- 5) Harada A, D'Agostino HJ Jr, Schuessler RB, Boineau JP, Cox JL: Potential distribution mapping: New method for precise localization of intramural septal origin of ventricular tachycardia. *Circulation* 1988; **78** (Suppl III): III-137-III-147
- 6) Chen TCK, Parson ID, Downar E: The construction of endocardial balloon arrays for cardiac mapping. *Pacing Clin Electrophysiol* 1991; **14**: 470-479
- 7) Tweddell JS, Rokkas CK, Harada A, Pirolo JS, Branham BH, Schuessler RB, Boineau JP, Cox JL: Anterior septal coronary artery infarction in the canine: A model of ventricular tachycardia with a subendocardial origin: Ablation and activation sequence mapping. *Circulation* 1994; **90**: 2982-2992
- 8) Bonneau G, Tremblay G, Savard P, Guardo R, LeBlanc AR, Cardinal R, Page PL, Nadeau RA: An integrated system for intraoperative cardiac activation mapping. *IEEE Trans Biomed Eng* 1987; **34**: 415-423
- 9) Pieper CF, Pacifico A: Observations on the epicardial activation of the normal human heart. *Pacing Clin Electrophysiol* 1992; **15**: 2295-2307
- 10) Uhley HN, Rivkin L: Peripheral distribution of the canine A-V conduction system: Observations on gross morphology. *Am J Cardiol* 1960; **5**: 688-691
- 11) Durrer D, van Dam RT, Freud GE, Janse MJ, Meijler FL, Arzbaeher RC: Total excitation of the isolated human heart. *Circulation* 1970; **41**: 899-912
- 12) Caceres J, Jazayeri M, McKinnie J, Avital B, Denker ST, Tchou P, Akhtar M: Sustained bundle branch reentry as a mechanism of

clinical tachycardia. *Circulation* 1989; **79** : 256-270  
13) Bolick DR, Hackel DB, Reimer KA, Ideker RE : Quantitative

analysis of myocardial infarct structure in patients with ventricular tachycardia. *Circulation* 1986; **74** : 1266-1279