

体表面等時線図による心室  
興奮伝播過程の推定

Ventricular activation  
sequence estimated by  
body surface isochrone  
map

林 博史  
石川 富久  
高見 和秀  
小島 春紀  
矢部誠太郎  
大杉 茂樹  
宮地 恭一  
外畑 巖

Hiroshi HAYASHI  
Tomihisa ISHIKAWA  
Kazuhide TAKAMI  
Haruki KOJIMA  
Seitaro YABE  
Shigeki OHSUGI  
Kyoichi MIYACHI  
Iwao SOTOBATA

**Summary**

This study was performed to evaluate the usefulness of the body surface isochrone map (VAT map) for identifying the ventricular activation sequence, and it was correlated with the isopotential map.

Subjects consisted of 42 normal healthy adults, 18 patients with artificial ventricular pacemakers, and 100 patients with ventricular premature beats (VPB). The sites of pacemaker implantations were the right ventricular endocardial apex (nine cases), right ventricular epicardial apex (five cases), right ventricular inflow tract (one case), left ventricular epicardial apex (one case), and posterior base of the left ventricle via the coronary sinus (two cases).

An isopotential map was recorded by the mapper HPM-6500 (Chunichi-Denshi Co.) on the basis of an 87 unipolar lead ECG, and a VAT isochrone map was drawn by a minicomputer.

The normal VAT map was classified by type according to alignment of isochrone lines, and their frequency was 57.1% for type A, 16.7% for type B, and 26.2% for type C.

In the VAT map of ventricular pacing, the body surface area of initial isochrone lines represented well the sites of pacemaker stimuli.

In the VAT map of VPB, the sites of origin of VPB agreed well with those as determined by the previous study using an isopotential map.

The density of the isochrone lines suggested the mode of conduction via the specialized conduction system or ventricular muscle.

The VAT map is a very useful diagnostic method to predict the ventricular activation sequence more directly in a single sheet of the map.

**Key words**

VAT isochrone map      Ventricular activation time      Ventricular activation sequence      Isopotential  
map      Ventricular premature beat

名古屋大学医学部附属病院 検査部  
同 第一内科  
名古屋市昭和区鶴舞町 65 (〒466)

Department of Clinical Laboratory, Nagoya Uni-  
versity Hospital, Tsurumai-cho 65, Showa-ku, Nagoya  
466

Received for publication August 20, 1984; accepted September 26, 1984 (Ref. No. 28-1)

### はじめに

心室興奮伝播過程を正しく推定することは、すべての心疾患の心電学的診断の基礎である。標準12誘導心電図、ベクトル心電図による興奮伝播過程の推定は、誘導点数あるいは単一・双極子性に対する制約等により、十分な精度が得られない。

体表面電位図は100点近い単極誘導心電図を基礎にして作成されるので、心筋局所の電気現象に関する情報が、非常に良く反映されかつ、それが時間の関数で表現されている。したがって心室興奮伝播過程の推定法としては極めて優れた検査法であり、これを用いて、これまで種々の心疾患の興奮伝播過程の検討がなされている<sup>2-7)</sup>。

従来の体表面電位図は等電位線表示であり、正負電位の分布とその大小を経時的に追跡して、興奮伝播過程を知るものである。したがって、この目的のためには数十枚の瞬時の電位図を観察する必要があり、煩雑である。これに対して、体表面等時線図 (body surface isochrone map) は、一枚の図で興奮伝播過程が等時線表示され、簡便にその推定が可能である。この等時線図は、等電位線図から求められた心室興奮到達時間 (ventricular activation time VAT) に基づいて作成され、等時線の配列および粗密から興奮伝播の情報を伝達するものである (VAT map)。

本研究は、VAT map により、健常人の正常洞調律および心室性期外収縮 (VPB) の心室興奮伝播過程を推定し、その有用性の検討を行なった。

### 対象と方法

対象は健常男子成人42例、平均年齢  $37.6 \pm 3.9$  歳。心室ペースングが施行されている患者18例 (男10, 女8)、平均年齢  $41.8 \pm 4.3$  歳、および心室性期外収縮を有する患者100例 (男56, 女44)、平均年齢  $43.4 \pm 8.1$  歳である。なお、これらのVPBの発生源は、すべてすでに等電位線図により推定されている例である<sup>6,7)</sup>。

心室ペースングの部位は、右室心尖部心内膜9

例、同心外膜5例、右室流入路1例、左室心尖部心外膜1例、左室後壁基部 (経冠静脈洞) 2例である。

方法は、87誘導点から同時記録された単極誘導心電図を基にして、中日電子製 mapper HPM-6500 を用いて、等電位線図を作成した<sup>8)</sup>。等時線図 (VAT map) の作成は、等電位線図のデータを日本電子製ミニコンピューター 980B により処理

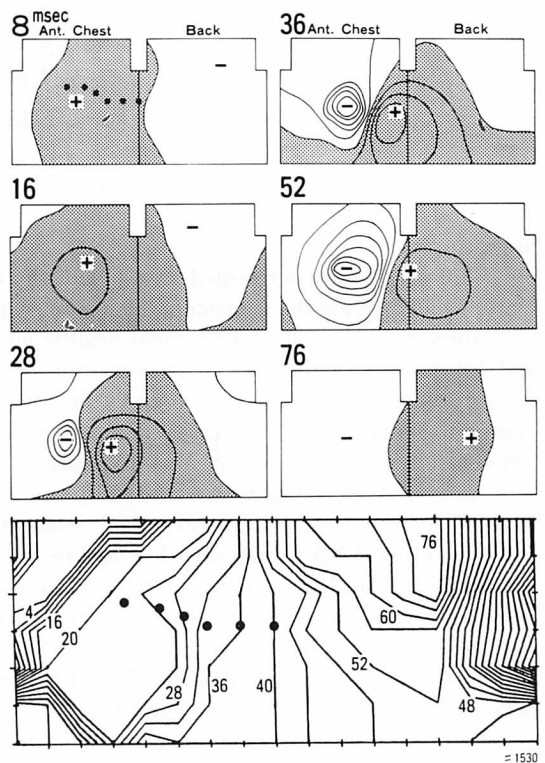


Fig. 1. Isopotential (top) and VAT isochrone maps (bottom) (a 69-year old normal man).

Gray and white areas in isopotential map represent the positive and negative potentials, respectively. The increment of isopotential lines is  $40 \mu V$  and that of VAT map is 4 msec. Six dots in the anterior chest in both maps represent  $V_1-V_6$  in the standard 12-lead electrocardiogram. Sequential changes of the zero-line of the isopotential map in the chest are quite similar to those of the isochrone lines of the VAT map.

して行った. すなわち VAT map は, QRS 開始から 87 誘導点各々の QRS 波の R 波の頂点までの時間を ventricular activation time (VAT) として求め, 同じ時間を示した誘導点を結んで作成した. この際, QS パターンの場合は VAT は 0 とし, RSR' パターンの場合は最初の R の VAT を採用した.

## 結 果

### 1. 健常例

健常成人の等電位線図と VAT map を Fig. 1 に示す. 興奮初期 (8~16 msec) に胸部全体に広がった正領域は, 28 msec 以降は次第に左胸部から左側胸部へと移動し, 興奮終期 (76 msec) には左背部に広がった. これに伴い, 最初, 右胸部にあった負領域は, 次第にその電位を増しながら胸部全体に拡がった.

VAT map では右肩領域に最初の等時線が出現し, 斜めに密集して配列した. 20 msec からは等時線の配列は粗となり, 48 msec までは縦方向に胸部中央から左側胸部にかけて配列した. 52 msec から 76 msec にかけては, 背部上方に向けて等時線の集簇を認めた.

これらの等時線の配列は, 等電位線図における右胸部における零線 (8, 16 msec), および極小と極大に挟まれた零線 (28~76 msec) の走行とよく類似した.

今回対象とした健常者の VAT map のパターンは 3 型に分類することができた (Fig. 2).

A 型では図示した例と同様に, 等時線の開始が右肩領域にあり, その終了が背部中央上方に認められた.

B 型では等時線の開始が左肩領域にあり, これは胸部を下行し, 右背部から右側胸部にわたる領域で終了した.

C 型では等時線の開始が右肩領域と左肩領域にあり, 背部中央にてこれが終了した.

各型の出現頻度は, A 型 24 例 (57.1%), B 型 7 例 (16.7%), および C 型 11 例 (26.2%) であった.

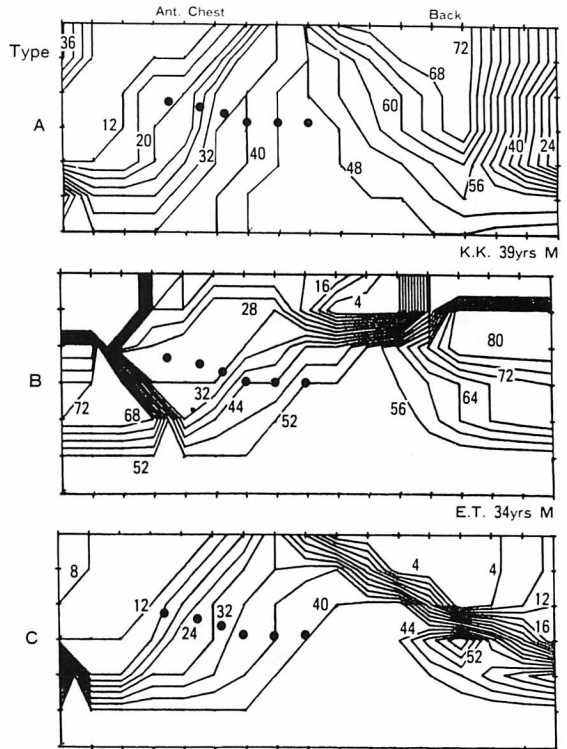


Fig. 2. Classification of three types (A, B and C) of the normal VAT maps according to the initiation of the first isochrone line and the alignment of the lines.

The increment is 4 msec.

### 2. 心室ペーシング

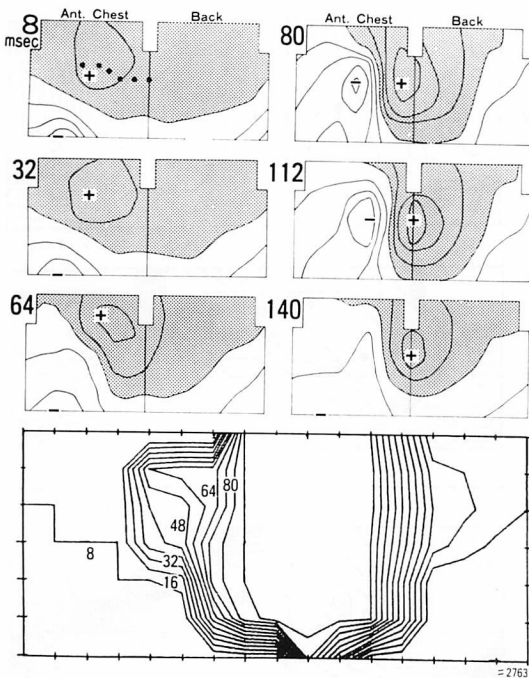
右室心尖部心外膜ペーシングの等電位線図 (Fig. 3 上) は, 興奮初期 (8~32 msec) ではトルソー下 1/3 が負領域となり, 中期 (64~80 msec) には, これが右胸部全体を占めた.

VAT map (Fig. 3 下) では等時線の開始が右胸部下方であり, ついでこれが胸部中央に縦方向に配列して, 左側胸部にて終了した. 興奮中期 (64 msec) 以降の胸部における零線の移動は, VAT map の等時線の配列とよく似ていた.

### 3. 心室性期外収縮

#### 1) 右室流出路起源 (Fig. 4)

等電位線図において, 負領域は胸部上方にあり,



**Fig. 3. Isopotential (top) and VAT (bottom) maps in a patient with the pacemaker implanted at the right ventricular epicardial apex (a 53-year-old woman).**

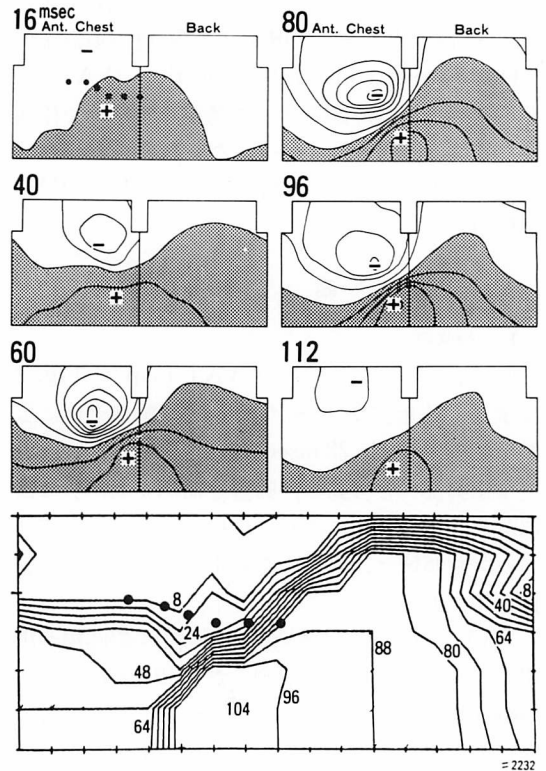
The increment is 8 msec. The sites of initiation and termination of the ventricular excitation are well recognized by either the isopotential map or the VAT map.

これが時間経過に伴い、ゆっくりと下方に広がった。極小と極大の位置関係は終始不変で、特に極大の位置は左側胸部下方の心尖部領域にほぼ停滞した。

VAT map では等時線の開始が胸部上方に横に広く広がっているが、これは 80 msec まで著しく密集して下方に移動し、104 msec で左胸部下方で終了した。これらの等時線は等電位線図の胸部での零線の走行によく類似していた。

2) 右室心尖部起源 (Fig. 5)

等電位線図において右室心尖部に相当する領域に極小があり、興奮終了に至るまで、左胸部から左肩にかけての極大および正領域の位置とともに



**Fig. 4. Isopotential (top) and VAT (bottom) maps of ventricular premature beats (VPB) of right ventricular outflow tract origin (a 40-year-old woman).**

The increment is 8 msec.

に、ほぼ同じ電位分布が持続した。

VAT map では胸部中央を斜めに走る等時線から始まり、密集した配列で、胸部を横切り左肩付近で終了した。この配列は、等電位線図における極小と極大に挟まれた零線の推移と極めてよく類似していた。

3) 左室後基部起源 (Fig. 6)

等電位線図において負領域が背部にあり、左胸部の正領域は極小が少しずつ左側胸部から左胸部に移動するにしたがって、極大は胸部中央から右胸部へと移動した。

VAT map においては、等時線は左背部から始まり、一方は非常に密集した配列で右背部へ、他

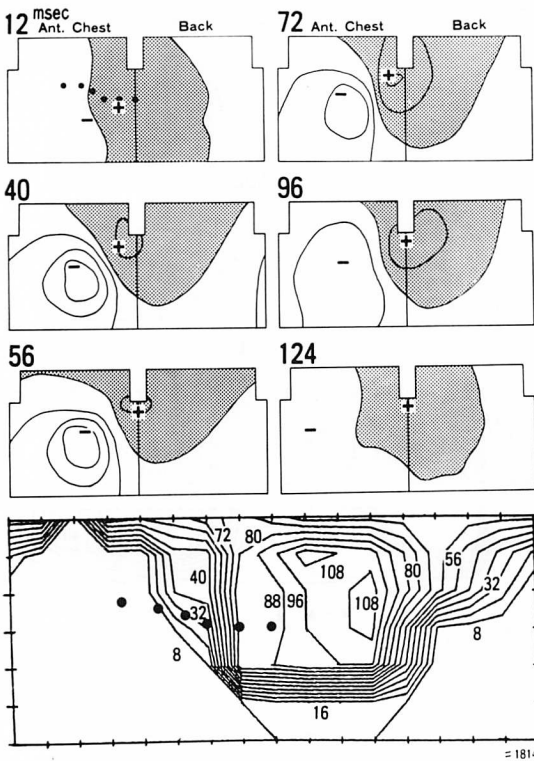


Fig. 5. Isopotential (top) and VAT (bottom) maps of VPB of right ventricular apex origin (a 66-year-old man).

The increment is 8 msec.

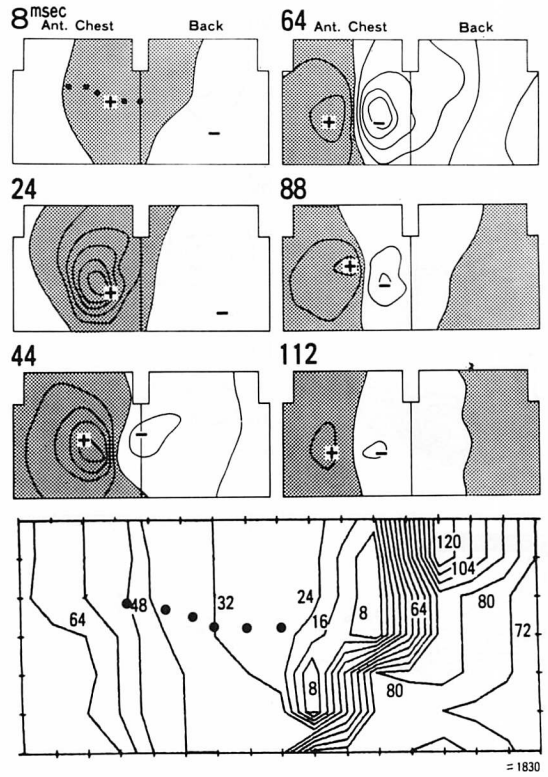


Fig. 6. Isopotential (top) and VAT (bottom) maps of VPB of left ventricular posterior base origin (a 76-year-old man).

The increment is 8 msec.

の一方は粗な配列で左側胸部から胸部全体へと進展した。背部から左側胸部へ進展した等時線配列は、等電位線図において、極小と極大に挟まれた零線の動きとよく似ていた。しかし、等時線は 64 msec で、右側胸部まで到達したのに対し、等電位線における零線は 112 msec で、胸部中央にて停滞した。

4) 左脚後枝起源 (Fig. 7)

興奮初期 (8~20 msec) にはトルソー上方が負領域であったが、32 msec で、負領域は下に廻り込み、中期以降は極小と負領域が左側胸部下方から少しずつ張り出し、正領域は右胸部上方へと退縮した。

VAT map においては背部中央にて等時線の開始が認められ、32 msec でトルソー下方を横に伸び、以後、これは上方ついで右胸部へと進展した。20~24 msec までは等時線と等電位線図の零線とが一致しなかったが、32 msec 以後の両者は非常によく一致した。

5) 心室中隔上部起源 (Fig. 8)

負領域は 8~72 msec まで右肩を中心に分布し、88 msec 以後は極小が胸部中央上方から左肩を経て下方に移動し、それに伴い、負領域は左側胸部上方を中心に広がった。

VAT map では胸部上方と背部上方に等時線の開始を認め、56 msec まで密集して同部に留まり、

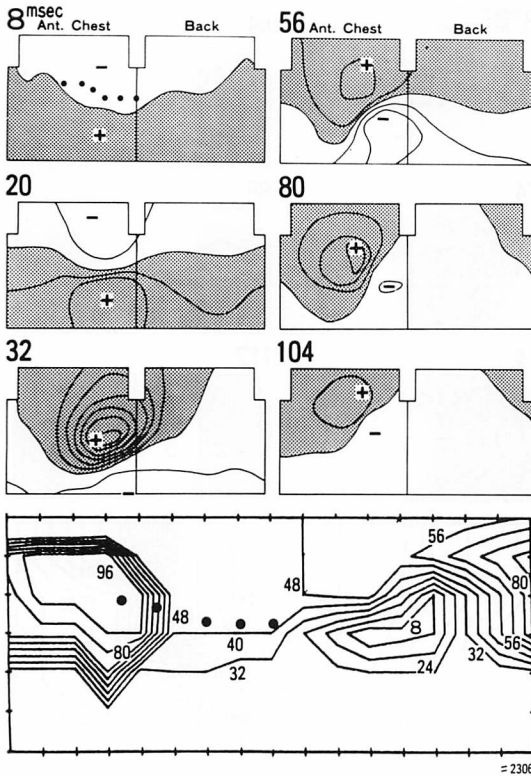


Fig. 7. Isopotential (top) and VAT (bottom) maps of VPB of posterior division of left bundle branch origin (a 9-year-old girl).

In the initial phase of ventricular excitation, these maps do not correlate very closely with each other and the first isochrone line suggests the site of origin of VPB more directly. Sequential changes of the zero line of the isopotential map located between the maximum and the minimum are similar to those of isochrone lines after 32 msec. The increment is 8 msec.

以後等時線は左肩領域から左側胸部を下方へ移動し、80 msec で右胸部と右背部の2方向へ分れて進展した。これらの等時線の推移は、左中腋窩線を対照線とした胸部および背部の零線の動きと極めてよく類似した。

#### 考 按

体表面電位図は多数の誘導点から心臓の電気現象を捉えるので、心臓興奮伝播過程の把握に極め

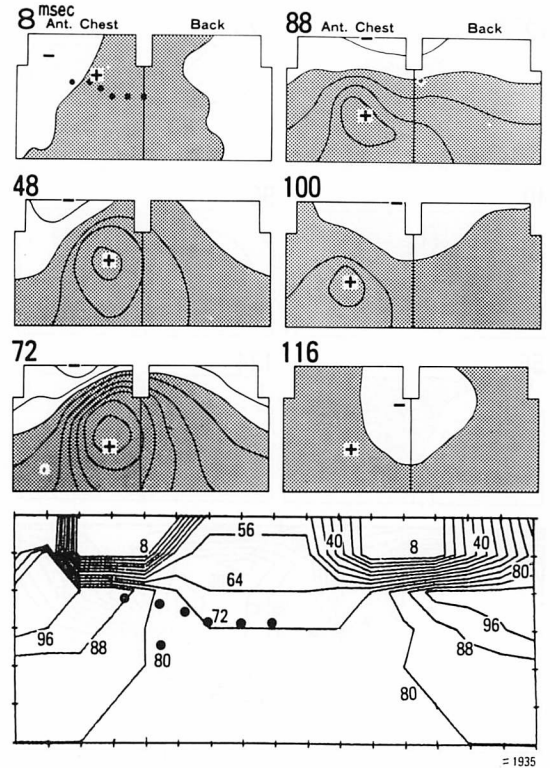


Fig. 8. Isopotential (top) and VAT (bottom) maps of VPB of high interventricular septum origin (a 53-year old woman).

Near symmetrical distribution of the potentials along the left midaxillary line in the isopotential map is well represented by the nearly symmetrical alignment of isochrone lines in the VAT map. The increment is 8 msec.

て有用な方法として注目されるに至った<sup>9)</sup>。

一般に、等電位表示される本法による興奮伝播過程の推定のための指標としては、1) 極大・極小の位置と大きさ、2) 正負電位領域の分布、3) 零線の動き等であるが、これらによる判定は、必ずしも容易でない場合が少なくない。また、これは、多数の瞬時の電位図を見なければならぬ等の不都合もある。

この点に関し、VAT map により興奮伝播過程の推定が容易に行いうるか否かを、健常者、心室

ペースメーカー植込み患者、および心室性期外収縮患者を用いて検討した。

健常人での等時線配列は、等電位線図における零線の動きと極めてよく似ていた。等電位線図での興奮前面は上述の指標により推定されるが、その面の延長がトルソーと交わる線が近似的に零線と考えられる。逆に、電位図上の零線を含む面を立体的に構成すれば、これが心臓内のその瞬時の興奮前面を近似的に表現しているであろう<sup>10,11)</sup>。したがって、この想定された興奮前面の、胸壁面に近い一辺を構成する零線は、その瞬時の興奮到達領域を示唆するものである。このことより、等電位線図の胸部における零線の走行は、VAT map の等時線と極めて良く類似した理由が明らかである。

ただし、両者の時間経過にはややズレがあり、後者の方が時間経過が先行した。今回の検討では、VAT 時間として QRS 波の R 波の頂点を採用したが、その他の方法として、QRS の O-crossing の時点、あるいは最小一次微分の時点等がある。O-crossing の時点は電位図における零線により近くなるが、これは R 波頂点より時間的に遅れる。このため、VAT map の等時線の方が早く経過し、かつ早期に終了した。

なお、どの時点も VAT とするのが至適であるかは、理論的、実験的にまだ解明されておらず<sup>12)</sup>、今回の検討でも明らかでなかった。

VAT の時間の採り方として問題となるのは、単極誘導心電図が QS あるいは RSR' パターンを示す場合である。前者の場合は Q 波の開始時、後者は R 波の頂点を採り、R' の頂点は採用しなかった。QS 波の場合の Q 波の開始時は、その誘導点直下への興奮到達を表現しない場合もある。また、R' も興奮到達に重要な意義があることが多いので、これも採用すべきであるが、同一誘導点で複数の VAT があると一枚の図で表現し得ないので、2 枚の図に分ける等の表現法の工夫が必要であろう。

シミュレーション法を用いた心室興奮伝播過程

と VAT map との関係との検討でも、興奮の方向が一方方向性を示す場合は、VAT map が有用であるが<sup>13,14)</sup>、WPW 症候群の如き、興奮前面が同時に複数方向に進展するような場合は、等時線が交錯して混乱をきたす<sup>15)</sup>。

VAT map の等時線の粗密は、興奮伝播の速度をある程度反映するものであるが、興奮面と体表面との位置関係により大きな影響を受けるので、その判断は慎重にしなければならない。

また、健常人において、右背部や右側胸部下方に、等時線の密集がみられることが少なくなかったが、これらの領域は心臓からの距離が遠く、心電情報の質、量ともに低いと考えられ、その評価には大きな意味を持たせなかった。

健常人の心室興奮過程のパターンに 3 型がみられたが、Durrer ら<sup>16)</sup>によるヒト心を用いた検討でも、いくつかのパターンが認められており、normal variation と考えられた。

ペースメーカー植込み患者の VAT map において、等時線の開始部位は、刺激電極部位に対応する体表面領域に認められ、VAT map は興奮開始部位およびその興奮伝播過程を推定するのに、非常に有用であった。

我々は先に等電位線図により、VPB の発生源を 13 箇所に分類したが<sup>6,7)</sup>、これらの VAT map は、等電位線図から得られる興奮伝播に関する情報を十分有しており、その有用性を確認した。

右室流出路起源、右室心尖部起源等の VPB のごとく、主として筋伝導による場合は、等電位線図の零線が同じ部位に長く停滞するが、これは VAT map では等時線が密集して興奮伝播が遅いことを示唆した。

逆に左脚後枝または前枝起源の VPB には特殊伝導系の関与があり、特に左室前壁領域の等時線の配列は非常に粗で、興奮伝播が早いことが示唆された。

ただし、これらの場合の等電位線の正負領域は、興奮初期における興奮面の急激な展開を反映して短時間に大きな変化を示しており、この間の零線

と VAT map の等時線とは一致しなかった (Fig. 7, 8~20 msec). しかし, 興奮発生源を推定するには, VAT map の方が等時線開始部位により直接的に容易に推定が可能で, 非常に有用であった.

VAT は本来, 心表面上で近接双極電極を用いて記録して, intrinsic deflection として得られるものであるが, これも厳密には膜活動電位との対応関係に多少ズレがあるとも言われる<sup>12)</sup>.

体表面上でこの VAT を用いて興奮到達を論ずる場合は, 心臓との距離が遠いために効果の融合 (fusion) または平滑化 (smoothing) が生じ, VAT map の非侵襲的な検査法としての限界がある<sup>17)</sup>.

また本法は, 再分極過程の推定には応用が出来ない点は不利である.

いくつかの解決されるべき問題点は残しているが, VAT map は, 心臓の興奮伝播過程を知る上で, 1枚の図で, より直接的に表現できるので, 臨床応用の上でも極めて有用と考えられる.

## 要 約

体表面等時線図 (VAT map) を作成して, 心室興奮伝播過程の検討を行い, 等電位線図の所見と対比した.

対象は健常成人 42 例, 心室ペースメーカー患者 18 例, 心室性期外収縮患者 100 例で, 心室ペースメーカーの部位は, 右室心尖部心内膜 9 例, 同心外膜 5 例, 右室流入路 1 例, 左室心尖部心外膜 1 例, 左室後壁基部 (経冠静脈洞) 2 例である. 心室性期外収縮例は, 先にペースメーカー電位図との対比で, すでにその発生源の推定が行われているものである.

方法は, 87 誘導点から同時記録された単極誘導心電図を基にして, HPM6500 (中日電子製) を用いて等電位線図を作成し, これからミニコンピューター処理により VAT map を作成した.

健常者の VAT map は等時線配列から 3 型に分類でき, 各々の頻度は, A 型 24 例 (57.1%), B 型 7 例 (16.7%), および C 型 11 例 (26.2%) であった.

心室ペースメーカー患者の VAT map において, 等時線の開始部位は, ペースメーカー刺激電極の位置をよく反映した.

心室性期外収縮の VAT map は, 等電位線図により推定された発生源を非常に良く表現した.

等時線の粗密により, 特殊伝導系による伝播, あるいは筋伝導による伝播が示唆された.

VAT map は, 心室興奮伝播過程の推定に, 一枚の図でより直接的に表現し得る有用な検査法である.

## 文 献

- 1) Spach MS, Barr RC: Localizing cardiac electrical events from body surface maps. *Int J Cardiol* 3: 459, 1983
- 2) Taccardi B, De Ambroggi L, Riva D: Chest maps of heart potentials in right bundle branch block. *J Electrocardiol* 2: 109, 1969
- 3) Yamada K, Toyama J, Wada M, Sugiyama S, Sugeno Y, Toyoshima H, Mizuno Y, Sotobata I, Kobayashi T, Okajima M: Body surface isopotential mapping in Wolff-Parkinson-White syndrome: Noninvasive method to determine the location of the accessory atrioventricular pathway. *Am Heart J* 90: 721, 1975
- 4) Boineau JP, Blumenshein SD, Spach MS, Sabiston DC: Relationship between ventricular depolarization and electrocardiogram in myocardial infarction. *J Electrocardiol* 1: 233, 1968
- 5) Josephson ME, Horowitz JN, Spielman SR: Comparison of endocardial catheter mapping with intraoperative mapping of ventricular tachycardia. *Circulation* 61: 395, 1980
- 6) Hayashi H, Ishikawa T, Takami K, Uematsu H, Kojima H, Yabe S, Ohsugi S, Miyachi K, Sotobata I: Identification of the site of origin of ventricular premature beat in patients without underlying cardiac disease by body surface mapping. *J Jpn Soc Intern Med* 73: 725, 1984 (in Japanese)
- 7) Hayashi H, Uematsu H, Takami K, Kojima H, Yabe S, Ohsugi S: Identification of the site of origin of ventricular premature beats by body surface map in patients with or without cardiac disease. *in Advances in Body Surface Potential Mapping*, ed Yamada K, Harumi K, Musha T: The University of Nagoya Press, Nagoya, 1983, p 257



- 8) Toyama J, Ohta T, Yamada K: Newly developed body surface mapping system for clinical use. *in* *Advances in Body Surface Potential Mapping*, ed Yamada K, Harumi K, Musha T. The University of Nagoya Press, Nagoya, 1982, p 125
- 9) Taccardi B: Distribution of heart potentials on the thoracic surface of normal human subjects. *Circulat Res* **12**: 341, 1963
- 10) Hayashi H, Ishikawa T, Uematsu H: Identification of the site of origin of ventricular premature beats and its activation sequence by body surface isopotential map. *Jpn Circ J* **45**: 1182, 1981
- 11) Hayashi H, Ishikawa T, Takami K, Kojima H, Yabe S, Ohsugi S: Clinical application of body surface mapping and its limitation. *J. Cardiography* **14** (Suppl III): 41, 1984
- 12) Sano T, Ono M, Shimamoto T: Intrinsic deflections, local excitation and transmembrane action potentials. *Circulat Res* **4**: 449, 1956
- 13) Okajima M, Doniwa T, Ishikawa T, Niimi N, Koike Y: On body surface VAT "isochrone" maps generated by computer using simulated excitation sequences in ventricular model. *Proc Computers in Cardiology*, 1980, 10, Williamsburg, VA, p 187
- 14) 洞庭賢一: 心室内興奮伝播過程推定のための体表面 VAT 等時線図の有用性と限界——心室興奮伝播シミュレーション手法を用いて——*心電図* **1**: 160, 1981
- 15) Ramsey R III, Barr RC, Spach MS: Comparison of measured torso potentials with those simulated from epicardial potentials for ventricular depolarization and repolarization in the intact dog. *Circulat Res* **41**: 660, 1977
- 16) Durrer D, Van Dam R Th, Freud GE, Janse MJ, Meijler FL, Arzbaecher RC: Total excitation of the isolated human heart. *Circulation* **41**: 899, 1970
- 17) 中山 淑: 心電図逆方向問題における一考察——伝達係数における相反性. 第 19 回日本論文集 1980, p 900