原 著 体表面等時線図 (VAT map) による正常および

心室性期外収縮の心室興奮伝播過程の推定

名古屋大学医学部付属病院検査部・同第一内科

林 博史◇

名古屋大学医学部第一内科

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

ESTIMATION OF THE VENTRICULAR ACTIVATION SEQUENCE
IN NORMAL AND VENTRICULAR PREMATURE BEAT
BY BODY SURFACE ISOCHRONE MAP (VAT MAP)

Hiroshi HAYASHI, MD

Department of Clinical Laboratory, Nagoya University Hospital

Tomihisa ISHIKAWA, MD, Kazuhide TAKAMI, MD, Haruki KOJIMA, MD,

Seitaro YABE, MD, Shigeki OHSUGI, MD, Kyoichi MIYACHI, MD

and Iwao SOTOBATA, MD

The First Department of Internal Medicine,

Nagoya University School of Medicine

概要 体表面電位図は、心電図・ベクトル心電図に比して、体表面上に多数の誘導点を有するので、心臓の興奮伝播過程を推定するのに非常に有用である。従来からの等電位線図による興奮伝播過程に関する研究は数多く報告されているが、等時線図による検討は殆どなされていない。今回、体表面電位図から、各誘導点の心室興奮到達時間(VAT)を求め、これに基づくVAT等時線図(VAT isochrone map)を作成して、心室興奮伝播過程を体表面から推定する方法の有用性の検討を行なった。対象は、健康成人50人、心室性期外収縮を有する患者150人、心室ペースングを行なっている患者25人であった。87誘導点から同時記録された単極誘導心電図に基づく等電位線図を作成し、このコンピューター処理によりVAT mapを得た。正常のVAT mapは、等時線配列のパターンから3型に分類され、その頻度はA型56%、B型16%、C型28%であった。心室ペースメーカーのVAT mapでは、電気刺激部位から進展する心室興奮伝播過程がよく表現され、等電位線図所見ともよく一致した。先に我々が13箇所(右室4、左室5、中隔4)に発生源を推定した心室性期外収縮のVAT mapでは、等時線の開始部位により、期外収縮の発生源が明らかに示され、またその粗密により、特殊伝導系による伝播、あるいは筋伝導による伝播等が推定された。VAT mapによる心室興奮伝播過程の推定は、等電位線図によるそれと、よく一致したが、前者は、一枚の図でより直接的に表現でき、極めて有用と考えられた。

緒 言

心室興奮伝播過程を知ること、心疾患の病態の理解に極めて重要である。

これは標準12誘導心電図、ベクトル心電図でも、推定し得るが、多数の誘導点から構成される電位図は、興奮伝播に関するより詳細な情報を提供する。

[昭和59年7月3日受稿]

こうした目的に、体表面電位図が非常に優れて

いることは、動物実験による証明、理論的考察の裏付け等により、既に明らかにされている。

臨床的にも、電位図が応用されるようになってから、ほぼ20年経過し、これまでに電位図による種々の心疾患の興奮伝播過程に関する報告が、数多くなされてきた^{1)~7)}。

著者らも、等電位線図 (isopotential map) による心室性期外収縮 (VPB) の発生源を、心室各部位のペースメーカー刺激時の電位分布所見から推定した^{8)~10)}。しかし、等電位線表示による、興奮伝播の判定は、多数の瞬時の電位図を観察する必要があるなど、必ずしも容易でない場合が少なくない。

一方、電位図から各誘導点毎の、心室興奮到達時間 (ventricular activation time, VAT) を求め、これに基づいて作成されたVAT map (等時線図) は、興奮伝播過程を1枚の図で、より直接的に表現しており、その推定に有用性が高いと考えられる。

そこで、正常と各種心室期外収縮 (VPB) および心室ペースキングのVAP mapを作成して、おのおの等電位線図の所見と対比してその有用性の検討を行なった。

対象・方法

対象は、3群に分けられ、第1群は、健常成人50人 (男42人、女8人) で年齢は20才から69才、 $(36.5 \pm 4.3$ 才、平均 $\pm$ 標準偏差、以下同様) であつた。

第2群は、心室性期外収縮 (VPB) を有する患者150人 (男79人、女71人)、年齢は3才から81才 (45.6 ± 7.6 才) であつた。なお、これらのVPBの発生源は、既に等電位線図により推定されている例である⁸⁾⁹⁾。

第3群は、心室ペースキングが施行されている患者30人 (男18人、女12人)、年齢は8才から69才 (45.2 ± 3.9 才) であつた。

ペースキング部位は、右室心尖部心内膜14例、同心外膜8例、右室流入路2例、左室心尖部心外膜3例、左室後壁基部 (経冠静脈洞) 3例であつた。

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、中日電子社製mapper HPM 6500を用いて等電位線を作成した¹¹⁾。

VAT mapは、日本電子社製ミコンピューター980Bを用て、各誘導点において、QRS開始から、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。

なお、QSパターンの場合には、VATは0として処理した。またRSR'のように、late RのあるQRS波の場合には、便宜的にRのみのVATを採用した。

結 果

I. 健常成人

正常の等電位線図では、心室興奮開始と共に、右胸部において、負電位が増大するに従つて、零線および極大が次第に、左胸部から左背部へと移動した (図1)。

また、興奮初期 (28msec) に胸部中央の極小に対向する零線および正電位領域が僅かに陥凹して

図1. 健常成人の等電位線図、各フレームの左半分は前胸部、右半分は背部、灰色部分は正領域、白色部分は負領域、胸部の6個の点は $V_1 \sim V_6$ の位置、等電位線は $400\mu V$ 毎、+は極大、-は極小、72msecまではQRSであり、264msecはT波のピーク時点を示す。

おり、いわゆるniche形成が認められた。

264msecは、再分極過程でT波の頂点における電位分布である。

健康人のVAT mapは、A, B, Cの3型に分類することができた。Type A (図2 上段)の等時線は、右胸部から始まり左胸部に向かつて、32msecまでは比較的密に、斜めに描かれた。ついで、32~44msecでは左側胸部および左背部において粗となり、52msecで背部上方にて終結した。

本例は、図1の症例と同一人のものであり、等時線の経時的推移は、等電位線図における右胸部にみられる零線の動きおよび極大の軌跡に極めてよく類似していた。

Type B (図2 中段)の等時線は、左肩あるいは左胸部上方領域から始まり、ほぼ水平に密集して

図2. 健康成人の等時線図はA, B, Cの3型に分類された。

A型の例は図1の例と同一症例である。等時線間隔は4msec。

表1. VAT and electrical axis in normals

Type	No. of Cases (%)	VAT V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	Electrical Axis
A	28 (56.0)	22.8 (6.0)	26.0 (6.7)	31.1 (7.5)	40.2 (5.9)	41.3 (5.5)	42.3 (5.3)	53.8 (16.1)
B	8 (16.0)	24.6 (3.2)	24.7 (4.1)	27.6 (3.5)	40.6 (5.4)	41.7 (4.7)	43.4 (4.0)	83.1 (8.8)
C	14 (28.0)	22.9 (5.7)	27.7 (4.5)	32.3 (4.9)	43.6 (5.5)	45.8 (5.5)	46.6 (5.5)	55.4 (21.7)
Total	50 (100)	23.1 (5.7)	26.2 (6.0)	30.8 (6.6)	41.1 (6.0)	42.6 (5.7)	43.6 (5.5)	59.1 (20.0)

VAT : msec Electrical Axis : degree Mean (SD)

胸部下方に向かったが、44msecでは、左側胸部下方の広範な領域に拡がり、60msecに背部中央で終了した。

Type C (図2 下段)は、等時線の開始が右肩と、左肩領域の2個所に認められ、Type A, B両者の混合型のようであった。出現頻度は、Type Aは28例 (56%), Type Bは8例 (16%), Type Cは14例 (28%) であった (表1)。

VAT mapにおいて、等時線が標準12誘導心電図のV₁からV₆の誘導点を通過する時間を求め、各点のVATを検討した (表1) (平均±標準偏差)。A, B, C型いずれも大きな差はなく、全体の平均で、V₁からV₃が、23.1msecから30.8msecの間に、V₄からV₆が、41.1msecから43.6msecの間に分布した。標準12誘導心電図から求めた電気軸は、Type AとType Cに比して、Type Bは83.1°と垂直位の傾向を示した (表1)。

nicheの出現時間

各Type毎のniche出現時間を等電位線で検討した。Type Aは、30.5±6.9msec, Type Bは29.1±3.0msec, Type Cは、32.0±4.9msecであり、全体の平均は31.1±4.2msecであった。

また、おのこのTypeにおいてniche出現のみられた誘導点のVATを検討した。

Type Aは22.8±5.7msec, Type Bは28.0±9.3msec, Type Cは25.5±7.7msecで、平均24.4±7.3msecであり、Type Bを除いて、等電位線図でみられたniche出現時間より6~7msec早かった。

II. 心室ペーシング

右室心尖部心内膜ペーシングの等電位線図 (図

図3. 右室心尖部心内膜ペースングの等電位線図(上)と等時線図(下)。等時線間隔は8msec(以下同じ)。

図4. 右室心尖部心外膜ペースングの等電位線図(上)と等時線図(下)。

3上)は、4msecで、右室心尖部に相当すると考えられる領域に極小が出現した。時間経過と共に、この極小電位は著しく増大したが、72msecまで、その位置は殆ど変わらず、極大は、左側胸部にて電位を増した。100msec以後は、負領域が下方にまわり込み、正領域は左肩領域に退縮した。

本例のVAT map(図3下)では、等時線は8msecで右胸背部の下方に拡がり、ほぼ同じ等時線配列が密集して左肩領域に進展した。

右室心尖部心外膜ペースングの等電位線図(図4上)では、8msecでは極小が右室心尖部に相当する領域に出現し、興奮初期(8~48msec)には、負領域が胸背の下方を占めた。興奮中期以後(68~156msec)には、次第に負領域が右胸部全体に拡がり、正領域は背部全体を占めた。

本例のVAT map(図4下)では、等時線が8msecに胸部下方に出現し、24msec以後は、左側胸

図5. 右室流出路起源と推定された心室性期外収縮の等電位線図。132msecまではQRSであり、276msecはT波のピーク時点を示す。

図 6. 右室の 4 箇所起源を有すると推定された心室性期外収縮の等時線図。
I 型（右室流出路起源）の例は図 5 と同一症例である。

部において縦方向に密集して等時線が配列し、興奮後期は、等時線は背部にて下方から上方へと進んだ。

これら 2 例のペースメーカー電位図における胸部の零線の動きが、VAT map の等時線の推移と極めてよく類似していた。

III. 心室性期外収縮 (VPB)

先に等電位線図により発生源が推定された VPB 例の等時線図所見は、以下のようである。

1) 右室源性期外収縮

I 型（右室流出路起源）の VPB の等電位線図では、胸部上方から極小および零線が水平に徐々に下方へ移動した（図 5）。

本例の VAT map では、等時線は胸部上方に始まり、密な配列で徐々に左側胸部下方へ向かった（図 6 左上）。

この等時線の推移は、図 5 の等電位線の零線の動きと極めてよく類似していた。

II 型（右脚起源）の VPB の等時線は、右肩領域に始まり、おおむね縦方向で、一方は左胸部から背部へ、他の一方は右背部へと移動した（図 6 左下）。左胸部から背部にかけての等時線の配列は、非常に粗かつたのに対し、胸部中央および右背部のそれは密であつた。

III 型（右室流入路起源）の VPB では、等時線は右胸部および右背部に始まり、88 msec までは非常に密集した配列を示した（図 6 右上）。

図 7. 左室後壁基部起源と推定された心室性期外収縮の等電位線図。160 msec までは QRS であり、280 msec は T 波のピーク時点を示す。

興奮後期には、左側胸部から左肩にかけて、粗い等時線配列がみられた。

VII R 型（右室心尖部起源）の VPB の等時線は、右側胸部および右背部下方に始まり、密集して左胸部および背部上方へ向かい、左側胸部で終了した（図 6 右下）。

2) 左室源性期外収縮

IV 型（左室後基部起源）の VPB の等電位線図で

は、興奮開始からほぼ終了に到るまで、殆ど常に負領域は背部を、正領域は胸部全体を占めた（図7）。

本例のVAT mapでは、等時線は、背部から始まり、前・中期は縦方向に非常に密に配列して、左胸部と右背部方向へと移動した（図8左上）。80 msec以後は胸部全体において粗い等時線配列を示した。

V型（左室前側壁基部起源）のVPBでは、等時線は、左肩領域に始まり、胸部下方および背部下方に向かい、最終的には胸部中央上方と背部上方

にて終了した（図8左下）。

VI_a型（左脚後枝起源）のVPBの等時線は、背部中央に始まり、粗い配列で左側胸部から前胸部にかけて左下から右上方へと移動し、右胸部中央で終了した（図8右上）。

VI_b型（左脚前枝起源）のVPBの等時線は、背部上方から始まり、左背・左側胸部を下行し、右胸部を下から上へと移動した（図8右中）。

VIII型（左室心尖部起源）のVPBでは、等時線の開始は、左側胸部下方にみられ、ついで密集して左胸部上方および左背部上方に向かい、最後は、

図8. 左室の5箇所起源を有すると推定された心室性期外収縮の等時線図。IV型（左室後壁基部）の1例は図7と同一症例である。

図9. 心室中隔の4箇所起源を有すると推定された心室性期外収縮の等時線図。

図10. 心室中隔前下部起源と推定された心室性期外収縮の等電位線図. 116msecまではQRSであり, 312msecはT波のピーク時点を示す. 図9のIX_a型(心室中隔前下部)の一例と同一症例である.

右胸部および右背部において終了した(図8右下).

3) 中隔起源性期外収縮

VIII_a型(中隔前上部起源)のVPBでは, 等時線の開始が胸部および背部上方にみられ, 初期から中期には非常に密に配列し, やがて左側胸部を下行して, 右胸部と右背部へと分かれて進展した(図9左上).

VIII_b型(中隔後上部起源)のVPBの等時線は, 左背部やや上方に始まり, その後はほぼ垂直方向に配列して左側胸部および背部へと進展した(図9左下).

IX_a型(中隔前下方起源)のVPBの等電位線図(図10)では, 殆ど全ての興奮期に亘って, 胸部下方に極小があり, 正領域は52msec以降には胸背部の上方に位置した.

本例のVAT mapでは, 等時線は胸部下方に始まり, 水平方向に非常に密集して胸背部上方に移行した(図9右上).

IX_b型(中隔後下方起源)のVPBでは, 右側胸部および右背部下方に等時線の開始を認め, これは,

左胸部上方に向い, 最後は, 右肩領域において等時線が終了した(図9右下).

考 案

そもそも電位図の有用性が再認識されるようになったのは, 複数の極大が体表面上に認められ, 同時に複数の電気双極子成分が把握されることが分かり, 従来の心電図法では知り得ない, 心臓の興奮伝播過程に関する情報が提供されることが認められてからのことである¹²⁾. 電位図は, 多数の誘導点からの心臓電気情報を, 二次元的拡がりをもつて時間の関数で処理して提供する.

従来から用いられている等電位線図は, 電位情報の経時的变化を表わすのに対し, これから派生して求められるVAT mapは, 電位情報は不問として時間情報を表現するものである. すなわち, VAT mapは, 各誘導点の直下を興奮が通過した時点を表現していると考えられるVATをもとにして作られるので, 心室表面における興奮面の体表面への投影が把握されることになる.

従つて, VAT mapは, 1枚の図の等時線配列により, 比較的単純で, より直接的な表現をしているので, 興奮伝播過程の理解が容易である. また, 特定の誘導点のVATの値の比較による, 興奮伝播に関する定量的な表現も可能である.

健常人のVAT mapで, 興奮伝播のパターンが, A, B, C 3型に分類され, 心臓の解剖学的位置をも含めて, 正常の興奮伝播様式に差異のあることが示された.

一般に, 等時線の粗密は, 興奮伝播速度の遅速と深い関係があるが, 興奮面の進行が体表面に対して垂直方向か, 接線方向かにより, 体表面への等時線の投影の様子は異なってくる. 正常のVAT mapにおいて, 初期の等時線密集は, 心室中隔を左室側から右室側へ興奮が胸壁へやや垂直に近い方向で進展するための現象と考えられ, 左側胸部で等時線が粗となるのは, 左室自由壁の興奮の進展が, 胸壁に対して接線方向であるためであろう.

古くから, VATは12誘導心電図上で, 室肥大の診断の補助として用いられており, 正常値は $V_1 \cdot V_2$ で20~30msec, $V_5 \cdot V_6$ で40~50msecとされた.

今回の検討で、Typeにより多少差はあるが、従来の値と大差はなかった。

Type A・Cは、等時線の配列方向が右肩から心尖部に向っており、これから予測される主たる興奮前面の方向は、12誘導心電図の電気軸と類似した。

同様にType Bは等時線配列は、ほぼ水平方向であり、興奮前面の進展が垂直方向に近く、電気軸もそれに近かった。

右室内膜からの興奮が心外膜に到達すると、興奮のbreakthrough（貫通）が生じ、電位図上では、零線の正領域への小さな陥凹（niche）として表現される¹²⁾。従つて、興奮は、この時点にniche出現のみられた誘導点の直下に到達していることになるので、本来ならば、niche出現時間とこの誘導点のVATは同時になる筈である。

しかし、今回の検討では、niche出現時間の方が6~7msec遅れていた。この理由は、nicheとして認識される等電位線の凹みは、その部位の電極配列の密度が粗いと遅くなり¹³⁾、また、nicheを認識するタイミング、さらに、後述するVATの時間の採り方等の問題によると考えられる。

VPBの多くのものは、特殊伝導系を用いないで筋伝導が主体であるので、等時線はほぼ一方向性に緩徐な進行を示した。このような興奮伝播過程を追跡する場合は、VAT mapのような等時線表現は適していると考えられた。

シミュレーション手法を用いた心室興奮伝播過程とVAT等時線図の対応関係の検討で、興奮伝播が比較的単純な一方向性を示す心室性期外収縮等の場合は、両者の所見がよく一致することが確認されている^{14)~16)}。

しかし、WPW症候群のように、興奮面が同時に複数の方向に進行する場合や、心電図でRSR'パターンを示す右脚ブロックの如く、体表面の同一部位が再度、正領域で占められるようなことがあると、等時線が交錯して混乱してしまう¹⁷⁾。しかし、R'は局所の伝播遅延を表わす重要な所見であり、これを等閑視することはできず、これらの問題に対しては、VAT mapを興奮前期と後期の2

枚に分けて表示する等の工夫が必要であろう。

ついで、VPBを等電位線図所見により13型に分類し、各々の発生源を推定し、これらのVAT map所見を検討した。

VPBのうち、特殊伝導系付近に起源を有すると考えられた例、すなわち、II型（右脚）、VI_a型（左脚後枝）、VI_b型（左脚前枝）は、等時線の配列が特に興奮初期に粗で、心室興奮が急速に進展することがよく反映された。

逆に、その他のVPBは、筋伝導が主体であり、特に興奮初期に等時線の密集が著しいものが多かった。なお、VI_a、VI_b型に関しては、発生源の推定は興奮初期の等電位線分布よりはVAT mapによる方がより容易であつた。

VPBの発生源の推定は、心室ペースング中のVAT mapからも明らかなように、等時線の開始する部位とその進行方向、粗密等からなされた。VAT mapは等電位線図とも密接に関連を有しており、既報⁹⁾のように、後者の経時的变化からも、VPB発生源の推定はできたが、後者によるVPB発生源の推定の方が、一層直接的表現であるため容易であつた。

一般に等時線の推移は、等電位線図における胸部の零線の経時的推移と極めてよく類似していたが、前者の方が後者に比して時間的により早く進行した。

今回のVAT mapの作成に当り、興奮到達時間として、R波の頂点を採用したが、その他の方法として、基線と交叉する零電位を示す瞬時、または、minimum derivativeを示す瞬時が採られることもある。この場合、今回の方法の如き、R波の頂点の瞬時に基づく等時線図の方が、零電位の瞬時に基づく等時線より進行が先行する。

どの瞬時が興奮伝播をより忠実に表現するかの問題は、まだ電気生理学的裏付けが確立されておらず、今後の検討が必要である。しかし、前述したnicheの出現時間とその誘導点のVAT値とのずれは、VATとして零電位の瞬時をとれば少なくなるであろう。

VATは、元来、興奮が心内膜から心外膜へ伝播

するのに要する時間の表現と考えられるが、これは心表面上で直接、電極間距離が出来るだけ短い双極電極を用いて記録された時に正確な値として得られ、近接効果 (intrinsic deflection) と言われる。

しかし、心表面から直接記録した心電図と、その部の膜活動電位を対比しても、この intrinsic deflection が、必ずしも厳密な興奮到達を表現していないといわれる¹⁸⁾。

これを体表面上で、単極誘導を用いて求めると、心表面と体表面誘導点との距離が遠い場合は、効果の融合 (fusion) を生じ、その周囲の電位の影響を受け、また、平滑化 (smoothing) 効果による電位勾配の鈍化を生ずる。こうした理由で、VAT の信頼性に誘導点間に不均一性があることは、非侵襲的な検査法としての限界と思われる¹⁹⁾。

すなわち、右胸部と背部の等時線の配列の、詳細に過ぎる意味づけは避けるべきであろう。

その他の問題点としては、QS, RSR' および QRS が high frequency notches を示す場合等の時間の採り方がある。

本研究では、QS の場合、Q 波の開始点を採用したが、これは必ずしもその誘導点直下の興奮到達を示唆しないこともある。また、再分極過程を推定することが困難であることも VAT map の限界である。

VAT map には、こうしたいくつかの限界と制約があるので、心表面と体表面の順・逆方向問題は、Barr²⁰⁾ が述べている如く、等電位線図を用いて展開されるべきであろう。

一方、VAT map で、順、逆方向問題を扱う場合には、等電位線図の時に大きな問題となる伝達関数が、それ程問題とならないという利点はある。

以上のように、VAT map は、心臓の興奮伝播過程を知る上では、1 枚の図で、より直接的に表現できるので、極めて有用な方法と考えられる。

結 論

体表面 87 誘導点の心室興奮到達時間 (VAT) に基づく VAT 等時線図 (VAT isochrone map) を作成して、心室興奮伝播過程を体表面から推定す

る方法の有用性を検討した。

対象は、健常成人 50 人、心室性期外収縮 (VPB) を有する患者 150 人、種々の部位の心室ペースングを行なっている患者 25 人であつた。

正常の VAT map は、等時線配列により 3 型に分類された。心室ペースメーカーの VAT map では、電気刺激部位から進展する心室興奮伝播過程がよく表現された。

先に我々が等電位線図で推定した 13 個所の VPB の VAT map では、その発生源が明らかに表現された。

VAT map は二、三の制約があり、解決されねばならない問題点もあるが、心室興奮伝播過程を一枚の図で、より直接的に表現し得て、極めて有用と考えられた。

文 献

- 1) Taccardi B, et al: Chest maps of heart potentials in right bundle branch block. *J Electrocardiol* 2: 109, 1969.
- 2) Sugeno, et al: Body surface potential distribution following the production of right bundle branch block in dogs. Effects of breakthrough and right ventricular excitation on the body surface potentials. *Circulation* 55: 49, 1977.
- 3) Yamada K, et al: Body surface isopotential mapping in Wolff-Parkinson-White syndrome: Noninvasive method to determine the location of the accessory atrioventricular pathway. *Amer Heart J* 90: 721, 1975.
- 4) Boineau JP, et al: Relationship between ventricular depolarization and electrocardiogram in myocardial infarction. *J Electrocardiology* 1: 233, 1968.
- 5) Vincent GM, et al: Diagnosis of old inferior myocardial infarction by body surface isopotential mapping. *Amer J Cardiol* 39: 510, 1977.
- 6) Josephson ME, et al: Comparison of endocardial catheter mapping with intraoperative mapping of ventricular tachycardia. *Circulation* 61: 395, 1980.
- 7) 林 博史, 他: 体表面電位図による心室性頻拍の発生源の推定 心電図 (別冊), 第 2 回合同学術集会抄録集, 1984, p18.
- 8) 林 博史, 他: 基礎心疾患を伴わない心室性期外

- 収縮の体表面電位図による発生源の推定. 日内会誌 73: 807, 1984.
- 9) Hayashi H, et al: 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*, eds. Yamada K, et al The University of Nagoya Press Nagoya, 1983, p257.
 - 10) Uematsu H, et al: Ventricular activation sequence in patients with pacemaker implanted at different sites determined by body surface isopotential maps. *Proceedings of the VIth World Symposium on Cardiac Pacing*. Montreal, 1979, Chapter 2~3.
 - 11) Toyama J, et al: Newly developed body surface mapping system for clinical use. eds. In *Advances In Body Surface Potential Mapping* Yamada K. et al. , The University of Nagoya Press, Nagoya, 1982, p125.
 - 12) Taccardi B: Distribution of heart potentials on the thoracic surface of normal human subjects. *Circ Res* 12: 341, 1963.
 - 13) 田畑 修, 他: 電位図上での心室興奮breakthroughの認識と電極配置. *医用電子と生体工学* 19: 100, 1981.
 - 14) Okajima M, et al: On body surface VAT "isochrone" maps generated by computer using simulated excitation sequences in ventricular model. *Proceedings of Computers in Cardiology*, 1980, 10, Williamsburg, VA, p187.
 - 15) 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.
 - 16) 洞庭賢一, 他: 体表面心電図QRS群の興奮到達時間(VAT)に関する等時線図と心室興奮伝播過程の関係—心室模型興奮伝播シミュレーションによる研究—. *医用電子と生体工学* 18(特別号): 618, 1980.
 - 17) Ramsey R III, et al: Comparison of measured torso potential with those simulated from epicardial potentials for ventricular depolarization and repolarization in the intact dog. *Circ Res* 41: 660, 1977.
 - 18) Sano T, et al: Intrinsic deflections, local excitation and transmembrane action potentials. *Circ Res* 4: 449, 1956.
 - 19) 岡島光治: 体表面心臓電位図と心外膜興奮伝播. *循環器科* 5: 307, 1979.
 - 20) Barr RC, et al: Inverse solutions directly in terms of potentials. In "The theoretical basis of electrocardiology" ed. Nelson CV and Geselowitz DB, Oxford, Clarendon Press, 1976, p294.