

体表面電位図による各種心疾患の定量的病態診断の進歩

Quantitative evaluation of various cardiac diseases using body surface mapping

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

Tomihisa ISHIKAWA
Hiroshi HAYASHI*
Kyoichi MIYACHI
Kazuhide TAKAMI
Seitaro YABE
Shigeki OSUGI
Iwao SOTOBATA

Summary

Body surface mapping (map) was used to evaluate various cardiac diseases quantitatively.

1. For 30 cases with old anterior myocardial infarction (AMI), map parameters were compared with infarct size assessed by left ventriculography and ^{201}Tl myocardial scintigraphy (LV % asynergy and ^{201}Tl % defect, respectively).

Parameters used in the present study were n Subtraction 40 (Σ Subtr. 40), which were obtained by the summation of voltages less than the lower limit of normal range (mean-2SD) at 40 msec from the QRS onset and n Subtraction 10-60 (Σ Subtr. 10-60), which was obtained by the integral of voltages below the normal range, calculated each 10 msec to 60 msec, as well as the number of lead points with Q waves of 30, 40 msec duration (n Q30, n Q40), and the summation of R voltages over the entire body surface (Σ R).

2. In 19 cases with aortic regurgitation (AR), R and S voltages in each lead were compared with left ventricular diastolic dimension (LVDd) obtained by echocardiography.

3. In 43 healthy persons and two patients with RV pacing, the ventricular activation time was measured in each lead (VAT map).

In AMI, n Subtr. 40 correlated best with LV % asynergy ($r=0.70$, $p<0.001$). EF and ^{201}Tl % defect were related to n Subtr. 10-60 ($r=0.83$, $p<0.001$ and $r=-0.85$, $p<0.001$, respectively).

In AR, the R wave amplitudes in the right upper portion of the precordium correlated inversely with LVDd ($r=-0.76$, $p<0.001$ in the lead at the right parasternal border in the 2nd intercostal space) and those from the left lateral to the back were correlated ($r=0.72$, $p<0.001$ in the V_6 lead in the standard ECG). S wave amplitudes in the right lower portion of the precordium and in an area along a diagonal drawn from the left shoulder to the epigastrium correlated closely with LVDd ($r=0.75$, $p<0.001$ in the V_3 lead in the standard ECG).

名古屋大学医学部 第一内科
*同 中央検査部
名古屋市昭和区鶴舞町 65 (〒466)

The First Department of Internal Medicine, and
*Central Laboratory, Nagoya University School of
Medicine, Tsuruma-cho 65, Showa-ku, Nagoya 466

Received for publication December 1, 1984; accepted January 25, 1985 (Ref. No. 29-K14)

Normal subjects exhibited three different types of VAT map patterns. VAT in the conventional precordial leads, however, had approximately constant values and those in two cases with RV pacing were markedly prolonged.

The results of this study indicated that body surface mapping provides quantitative information about electrical events in the heart for clinical use.

Key words

Body surface mapping \pm Subtraction VAT Anterior myocardial infarction Aortic regurgitation

はじめに

体表面電位図は標準 12 誘導心電図に比し、はるかに多くの誘導点を有するので、得られる電気的情報量が多く、臨床的に種々の心疾患の定性的診断に利用されつつある。心筋梗塞症においては、電位図が従来の心電図誘導点以外の領域に異常 Q 波を見出すこと¹⁾、あるいは極小の位置に注目することにより、心筋梗塞症の診断率を高めること²⁾、Q 波の存在部位が左室壁の運動異常部位をよく反映することにより、心筋梗塞による壁運動異常の部位診断がより正確になったこと³⁾、などが報告されている。しかし、従来の多くは、主として定性的な利用に留っていた。

本研究では、電位図の各種心疾患に対する定量的診断能について検討する目的で、1) 心筋梗塞症例において、左室造影あるいは ²⁰¹Tl 心筋シンチグラフィで求められた左室壁運動異常、あるいは低灌流領域の範囲と、2) 左室容量負荷の代表である大動脈弁閉鎖不全症において、超音波検査で得られた左室拡張期径と電位図諸指標との関係について分析した。また 3) 伝導障害に対しては、正常および右室心尖部ペーシング例につき、ventricular activation time map (VAT map) を用いて、その定量的意味について検討した。

方法および対象

体表面電位図 (以下 map) の記録は、体表面上 87 誘導点から得た単極誘導心電図をもとに、中日電子製体表面電位図作成装置 HPM 5100 ある

いは 6500 を用いた⁴⁾。

対象および用いた指標は以下の如くであった。

1) 心筋梗塞の広がり: 急性期に典型的な臨床症状および所見から診断された陳旧性前壁中隔心筋梗塞症 30 例、全例男性で年齢は 38~68 (平均 56.8) 歳である。電位図指標としては、30 msec 以上と 40 msec 以上の幅を有する Q 波を認めた誘導点数を、それぞれ nQ_{30} , nQ_{40} とし、また Q_{30} の深さの総和を ΣQ (単位 mV) とした。R 波については、各誘導点の R 波高の総和を ΣR (単位 mV) とした。瞬時にける各誘導点毎の電位減少を捉えるために、差の電位図 (subtraction map) を以下の如く求めた。最初に、健常者 43 名につき、QRS 開始から 10msec 毎に各誘導点の電位の平均値 $\pm 2SD$ を求めた。各症例において、各瞬時ごとに、健常者の平均値 $-2SD$ 値より低くはずれた電位の差分を計算し、等電位線図として表現した (Fig. 1)。本研究では、QRS 開始後 40msec 時における差の総和を Σ Subtr. 40 (単位 mV) とし、10msec から 60msec まで 10msec 毎に求めた差の総和を Σ Subtr. 10-60 (単位 mV) とした。

左室造影は、梗塞発症後 2 カ月以上経過した時期に 17 例に施行し、第一斜位像から hypokinesis 以上の壁運動異常領域を判定し、その全周に対する割合 (LV% asynergy) と Dodge らの方法により EF を求めた。

²⁰¹Tl emission CT を 16 例に施行し、各断層像において、circumferential profile 解析を行い、撮取率が 70% 以下の領域を梗塞巣とした。この

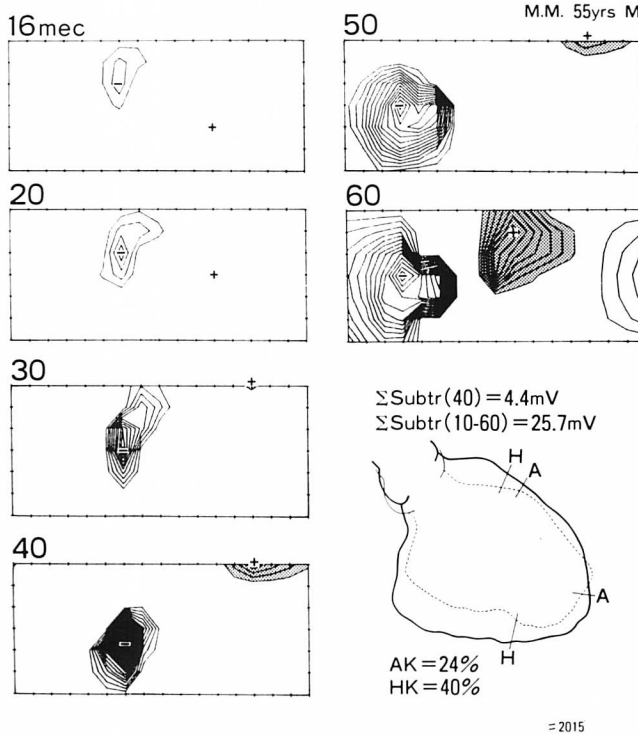


Fig. 1. An example of a subtraction map constructed by subtracting the potentials of the normal mean minus 2 standard deviations from those of an infarction map.

ようにして計算された梗塞の広がり と心臓の半径から、梗塞容積率 (^{201}Tl % defect) を算出した。

LV % asynergy と ^{201}Tl % defect と、電位図諸指標との対比検討を行なった。

2) 左室負荷: 対象として、大動脈弁閉鎖不全症 (AR) 患者 19 例、男 15 例、女 4 例、年齢 17-61 (平均 35.1) 歳を用いた。電位図から、各誘導点ごとの R あるいは S 波高を測定した。これらと超音波検査法で求めた左室拡張末期径 (LVDd) との相関を計算した。

3) 興奮伝播過程: 対象は健常者 43 名、右室心内膜心尖部ペースング 1 例、右室心外膜心尖部ペースング 1 例で、各誘導ごとに QRS 開始時点から R 波の頂点までの時間 (ventricular activation time, VAT) を求め、等時線図を描いた。

結 果

1. 心筋梗塞の広がり

LV % asynergy と map 諸指標との相関は Σ Subtr. 40 が最も良く、($r=0.70$, $p<0.005$, Fig. 2), そのあとは Σ Subtr. 10-60 ($r=0.66$, $p<0.001$), nQ_{30} ($r=0.66$, $p<0.01$), ΣR ($r=-0.62$, $p<0.05$), nQ_{40} ($r=0.56$, $p<0.05$) および ΣQ ($r=0.56$, $p<0.05$) の順であった。

^{201}Tl % defect と map 諸指標との相関は、 Σ subtr. 10-60 が最も良く ($r=0.83$, $p<0.001$, Fig. 3), それに Σ Subtr. 40 ($r=0.81$, $p<0.001$), ΣQ ($r=0.70$, $p<0.01$), nQ_{40} ($r=0.57$, $p<0.01$) が続いた。 ΣR および nQ_{30} とは有意の相関を示さなかった。

EF とは Σ Subtr. 10-60 が最も相関が良く、

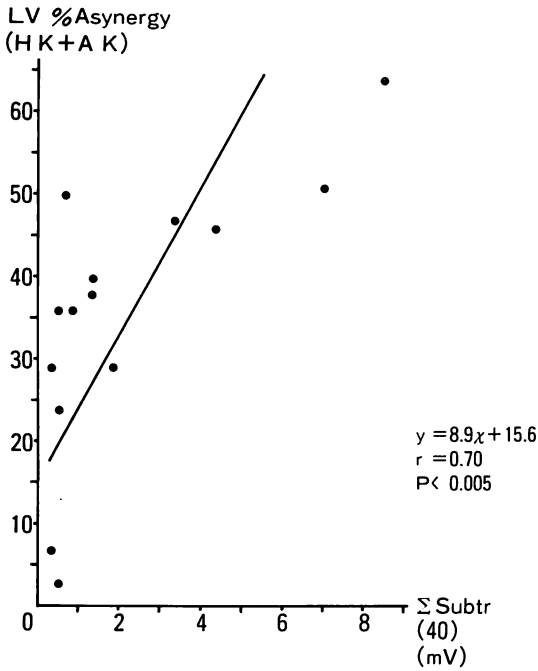


Fig. 2. Correlation of Σ Subtr. 40 with LV % asynergy.

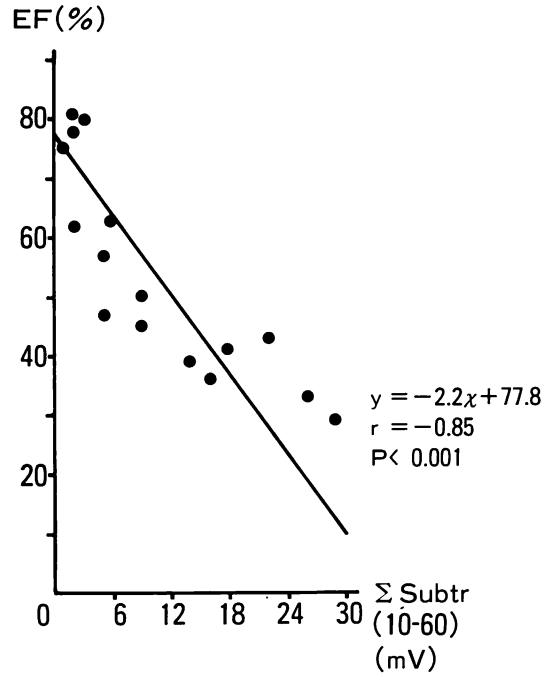


Fig. 4. Correlation of Σ Subtr. 10-60 with ejection fraction (EF).

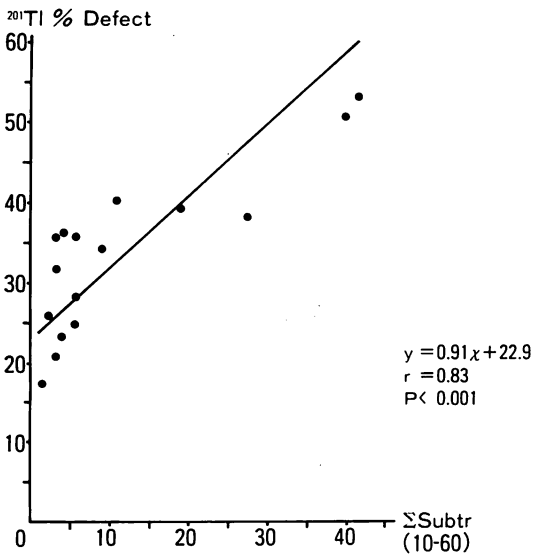


Fig. 3. Correlation of Σ Subtr. 10-60 with ^{201}Tl % defect.

($r = -0.85$, $p < 0.001$, Fig. 4), ついで ΣQ ($r = -0.70$, $p < 0.005$), Σ Subtr. 40 ($r = -0.64$, $p < 0.005$), nQ_{40} ($r = -0.68$, $p > 0.005$), および nQ_{30} ($r = -0.59$, $p < 0.05$) であった。 ΣR とは有意の相関は見られなかった。

2. 左室負荷

R 波高と LVDd との関係 (Fig. 5) は、左前腋窩線から背部左側に存在する誘導点で有意の正相関 ($p < 0.05$) が見られた。この中で左中腋窩線上第 5 肋間の誘導点 (V_6 の位置に相当、図中 A で示す) の R 波高と LVDd 間には、 $r = 0.72$ ($p < 0.001$) の最も高い相関が示された。

胸部右側から正中にかけての V_1 , V_2 誘導より上方の領域では、R 波高と LVDd 間には有意の逆相関 ($p < 0.05$) を示した。右傍胸骨縁第 3 肋間に位置する誘導点 (図中 B で示す) では、 $r = -0.76$ ($p < 0.001$) と最も高い逆相関を示した。

S 波高と LVDd 間関係 (Fig. 6) は、右胸部

Correlation of R Amplitude to LVDd by UCG in AR

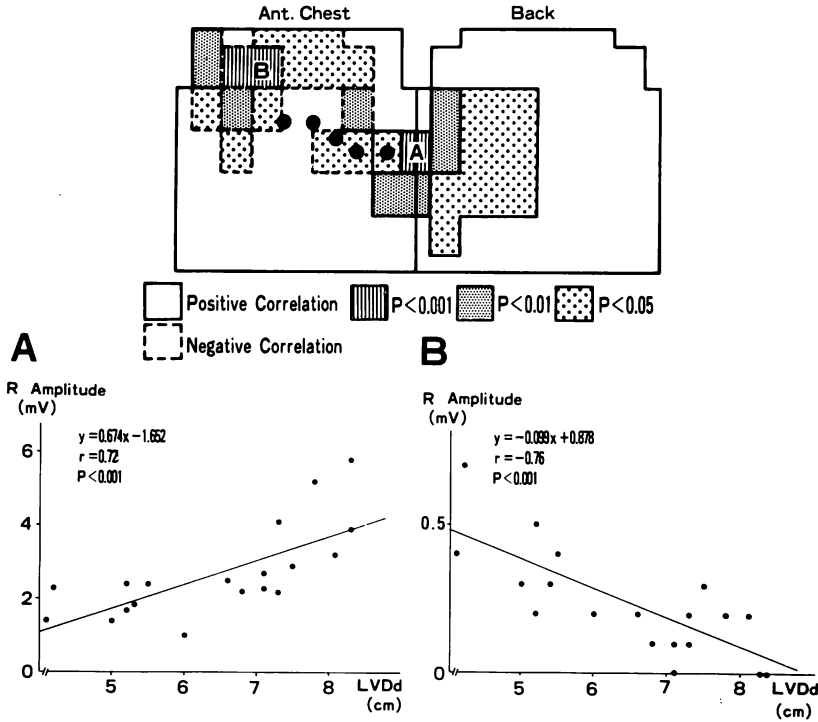


Fig. 5. Correlation of R amplitude in each lead with left ventricular end-diastolic dimension (LVDd).

から傍胸骨正中線における第3肋間より下方の領域および左前胸部において左肩と心窩部を結んだ帯状の領域に含まれる誘導点のS波高とLVDd間の有意の正相関 ($p < 0.05$) を示した。この中で V_3 の位置 (図中 A で示す) の誘導点のS波高とLVDd間に $r = 0.75$ ($p < 0.001$) の相関が見られた。

3. 興奮伝播

健常者のVAT mapは、等時線配列のパターンから3型に分類された (Fig. 7)。Type Aの等時線は右胸部から始まり左胸部に向かって32 msecまでは比較的密に斜めに描かれた。このタイプは43例中21例 (55%)であった。Type B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胸部下方に向かったが、44 msecでは左側胸部下方の広範な領域に広がり、60 msecに背部中央で終了した。このタイプは8例 (16%)であった。Type Cは、第時線の開始が右肩と、左肩領域の2箇所認められ、Type A, Bの両者の混合型の如くであった。このタイプは14例 (28%)であった。

VAT mapにおいて、等時線が標準12誘導心電図の V_1 から V_6 の誘導点を通り過ぎる時間は、A, B, Cの型別には大差なく、 V_1 から V_3 が23.1 msecから30.8 msecの間に、 V_4 から V_6 が41.1 msecから43.6 msecの間に分布した。

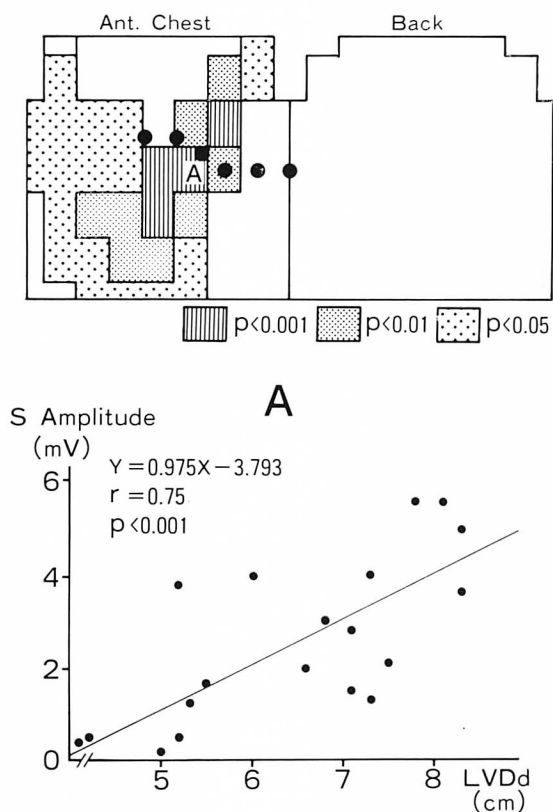


Fig. 6. Correlation of S amplitude in each lead with LVDD.

右室心尖部心外膜ペースングの VAT map (Fig. 8 上段) では, 等時線が 8 msec に胸部下方に出現し, 24 msec 以後は, 左側胸部において縦方向に密集して等時線が配列し, 左側胸部が最も遅れた. V_5, V_6 の VAT は両者とも 88 msec と遅延した.

右室心尖部心内膜ペースングの VAT map では (Fig. 8 下段), 等時線配列は密集して左領域に進展した. V_5, V_6 の VAT は, それぞれ, 72 msec および 80 msec と遅延した.

考 察

体表電位図は, 従来の標準 12 誘導心電図に比して種々の心疾患の定性的診断においても, よ

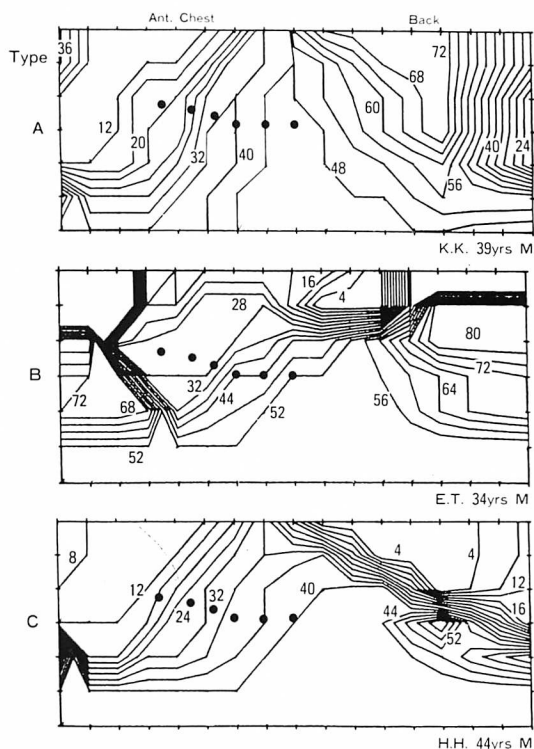


Fig. 7. Normal ventricular activation time (VAT) maps were classified in three types.

り有用であることは一般に認められつつある. 本研究では, 電位図の定量的診断能ということに主眼を置いた.

梗塞サイズを電位図的に判定する指標としては, Q 波の数 (nQ_{30}, nQ_{40}), 深さの総和 (ΣQ), R 波高の総和 (ΣR) に比し, 正常からの電位の偏位度を示す Δ Subtraction が最も優れていた. 心筋梗塞では, 電気生理学的には心起電力消失ないしは減弱が生じるが, 心電図的には R 波の減高の程度で留まり, 異常 Q 波を呈しない場合もある. したがって, 心起電力の減少の程度を正常範囲からの偏位度で把える subtraction という指標が, Q 波より優れていることは当然といえよう. Horan ら⁵⁾は, departure map を用い, 同様の結果を得ている. 換言すれば, Q 波を用いた場合には, 梗塞量をより小さく推定する可能性が高

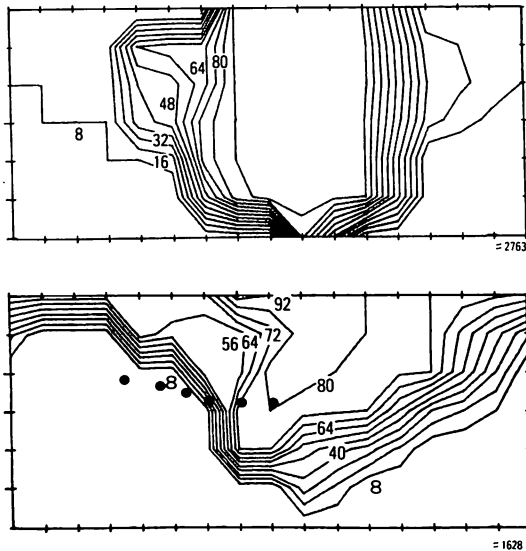


Fig. 8. VAT maps during epicardial (upper panel) and endocardial (lower panel) pacing of the right ventricular apex.

い。今回、正常の興奮伝播過程をふまえて⁶⁾、興奮前面が主に左室前壁に存在している QRS 開始後 40 msec 時と、心室中隔から左室側壁に至るまでの興奮持続を考慮した 10 msec から 60 msec までの Σ Subtraction が、Q 波より良い相関を示したことは、興奮伝播過程を考慮に入れた電位図の指標の重要性を意味する。

左室容量負荷の代表である大動脈弁閉鎖不全症において、左室径の拡張の程度を推定することは、この疾患の重症度を推定する上で重要である。我々は従来の心電図の胸部誘導以外の誘導点の R 波および S 波高が左室径とよく相関することを認めた⁷⁾。したがって従来の心電図に、右前胸部上方の R 波高あるいは V_1 - V_3 より下方の S 波高を加えることにより、左室径ひいては容量負荷の程度の診断の精度が増すと考えられた。今回、肥大の程度との関係については考慮しなかったが、これは体表面上の電位に大きく影響を与える因子であり、現在検討中である。

右房ペースング患者で、ペースングにより心拍

数を増加させると、左室径が小さくなり、これに伴い、胸部の R 波高が低下する⁸⁾。

このように、電位図でみられる電位変化は、左室容量の変化をよく反映することが確認されている。

興奮伝播過程の推定は、心疾患の病態の理解に極めて重要であるが、電位図は正常⁹⁾および右脚ブロック¹⁰⁾の伝播過程、あるいは心室性期外収縮^{11,12)}、心室性頻拍¹³⁾の発生部位の判定に利用されている。しかし、この多くは等電位線図 (isopotential map) に基づいており、また多数の瞬時の電位図を観察する必要があるなど、その判定は必ずしも容易でない。これに対し、各誘導点の直下を興奮が通過した時点を表示していると考えられる心室興奮到達時間 (VAT) を各誘導点ごとに求めて作成された VAT map 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大きいと考えられた。

正常者の VAT map は、3つの pattern に分かれた。しかし、心電図胸部誘導点の VAT は、症例ごとに大差なく、これらへの興奮到達時間が正常ではおおよそ一定なことが示唆された。右室心尖部心外膜、心内膜ペースング例で示されたように、従来の心電図の胸部誘導点での VAT 時間の延長の程度を見ることは、局所の伝導障害の診断に役立ち、かつその程度を定量的に推定することにも利用されるだろう。等電位線図により、種々の部位に発生源を推定された心室性期外収縮について VAT map を検討した結果、その発生源の推定に極めて有用であることを認めている^{9,13)}。

VAT map においては、等時線の粗密が存在するが、興奮伝播速度等の生理的な意義づけが解明されれば、これの有用性は一層向上するであろう。

結 論

体表面電位図を用い、心筋梗塞の広がり、左室容量負荷の程度および興奮伝播過程についての定量的評価をした。

1. 陳旧性前壁梗塞症において電位図の諸指標は、左室造影あるいは²⁰¹Tl心筋シンチグラフィで求められた心筋梗塞の広がり、およびEFと良い相関を示した。中でも Σ Subtractionが最も優れており、 nQ_{30-40} 、 ΣQ あるいは ΣR などがこれに次いだ。

2. 大動脈弁閉鎖不全症において、標準12誘導心電図の胸部誘導点以外、特に右胸部上方のR波、 V_1-V_3 の下方の誘導のS波は、超音波検査法で得られた左室拡張末期径(LVDd)とよい相関を示した。

3. VAT mapは、正常の興奮伝播過程の理解および伝導障害の推定に有用であった。

要 約

各種心疾患に対し、体表面電位図の定量的診断意義について検討した。

陳旧性前壁中隔梗塞症30例において、左室造影あるいは²⁰¹Tl心筋シンチグラフィで求められた梗塞による壁運動異常領域(LV % asynergy)、EFあるいは梗塞領域(²⁰¹Tl % defect)と、電位図諸指標とを対比検討した。LV % asynergyとは Σ Subtraction 40 (Σ Subtr. 40) ($r=0.70$, $p<0.001$)が最も相関が良く、次いで Σ Subtr. 10-60 $>$ nQ_{30} $>$ ΣR $>$ nQ_{40} $>$ ΣQ の順で、EFとは、 Σ Subtr. 10-60 ($r=-0.85$, $p<0.001$)が最も良く、次いで ΣQ $>$ Σ Subtr. 40 $>$ nQ_{40} $>$ nQ_{30} の順であった。²⁰¹Tl % defectとは、 Σ Subtr. 10-60が最も良く、($r=0.83$, $p<0.001$)、 Σ Subtr. 40 $>$ ΣQ $>$ nQ_{40} の順であった。

左室容量負荷では、大動脈弁閉鎖不全症19例を用い、各誘導点のR波、S波高と超音波検査法で得られた左室拡張末期径(LVDd)との対比検討した。R波高とは、左前腋窩線から背部左側に存在する誘導点で有意の正相関が見られた。この中、左中腋窩線上第5肋間の誘導点で $r=0.72$ ($p<0.001$)と最も高い相関を得た。前胸部右側から正中にかけて第4肋間より上方の領域では、有意の逆相関を示した。右傍胸骨縁第3肋間に位置

する誘導点では、 $r=-0.76$ ($p<0.001$)と最も高い逆相関を示した。S波高では、右胸部から傍胸骨正中線における第3肋間より下方の領域および左前胸部において左肩と心窩部を結んで帯状の領域に含まれる誘導点では有意の正相関を示し、中でも、心電図 V_3 のS波高が $r=0.75$ と最も相関が良かった。

健常者の興奮伝播過程を検討するのにVAT mapを43例において検討した。VAT mapは、Type A (55%)、B (16%)およびC (28%)に分かれた。しかし、心電図 V_1 から V_3 が23.1~30.8 msec、 V_4 から V_6 が41.1~43.6 msecとほぼ一定の値を示した。右室心尖部心内膜あるいは心外膜ペースング時では、 $V_{5,6}$ のVATが延長した。

これらの結果より、電位図は、陳旧性心筋梗塞において壁運動異常あるいは梗塞サイズを、左室容量負荷においては左室径をよく反映し、定量的診断に有用と考えられた。VAT mapは、興奮伝播過程を1枚の図で把握ことができ、優れた表現法である。

文 献

- 1) Hayashi H, Watanabe Y, Ishikawa T, Wada M, Uematsu H, Inagaki H: Diagnostic value of body surface map in myocardial infarction. Assessment of location, size and ejection fraction as compared with coronary cineangiography and ²⁰¹Tl myocardial scintigraphy. Jpn Circ J 44: 197, 1980
- 2) Vincent GM, Abildskov JA, Burgess MJ, Millar K, Wyatt R, Lux RL: Diagnosis of old inferior myocardial infarction by body surface isopotential mapping. Am J Cardiol 39: 510, 1977
- 3) Kojima H, Hayashi H, Takami K, Uematsu H, Ishikawa T, Sotobata I: Distribution of abnormal Q waves on body surface in relation to left ventricular wall motion abnormalities in myocardial infarction. Texas Heart Institute J 10: 23, 1983
- 4) Yamada K: Body surface isopotential map—Past, present and future. Jpn Circ J 45: 1, 1981
- 5) Flowers NC, Horan LG, Johnson JC: Anterior infarctional changes occurring during mid and late ventricular activation detectable by surface

- mapping techniques. *Circulation* **54**: 906, 1976
- 6) Durrer D, Van Dam RT, Freud GE, Janes MJ, Meijler FL, Arzbaeher RC: Total excitation of the isolated human heart. *Circulation* **41**: 899, 1970
 - 7) 石川富久, 林 博史, 上松治儀, 小島春紀, 高見和秀, 外畑 巖: 大動脈弁閉鎖不全症における体表面上 R 波および S 波の診断的意義. *呼吸と循環* **30**: 925, 1982
 - 8) 大杉茂樹, 林 博史, 石川富久, 矢部誠太郎, 小島春紀, 高見和秀, 村松博文, 加藤林也, 外畑 巖: 心拍数変化による体表面心臓電位分布の変化. *J Cardiography* **14**: 1-12, 1984
 - 9) Tacaardi B: Distribution of heart potentials on the thoracic surface of normal human subjects. *Circulat Res* **12**: 341, 1963
 - 10) Sugenoja J, Sugiyama S, Wada M, Niimi N, Oguri H, Toyama J, Yamada K: Body surface potential distribution following the production of right bundle branch block in dogs: Effect of breakthrough and right ventricular excitation on the body surface potentials. *Circulation* **55**: 49, 1977
 - 11) 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
 - 12) 林 博史, 石川富久, 高見和秀, 上松治儀, 小島春紀, 矢部誠太郎, 大杉茂樹, 宮地恭一, 外畑 巖: 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. *日内誌* **73**: 83, 1984
 - 13) 林 博史, 石川富久: 体表面電位図による心室性頻拍の発生源の推定. 別冊心電図 (第 2 回合同学術集会抄録集). 1984, p 18