

第5章 心磁図を用いた各病態の評価

第1節 虚血心疾患の評価

1) 背景と目的

虚血性心疾患は、冠動脈の動脈硬化性病変で発症する疾患であるが、その病態は多様で、慢性に経過して治療も長期間にわたり、患者の生活とともに進める外来での治療が主体のものから、急性に経過して集中的な高度医療を行わなければ救命し得ない重篤なものまで多彩である。しかも、人口の急速な高齢化とライフスタイルの欧米化により、動脈硬化性病変が進展して虚血性心疾患の発症率はますます増加し、しかも罹患年齢が若年層へ移ってきている。従って、虚血性心疾患の臨床的な位置付けが今後ますます重要になることが予測されているが、にもかかわらず、臨床に即した研究を推進させる体制の整備が一般的に遅れているというのが現状である。しかし、疾患の的確な診断と治療のアプローチが患者の予後ばかりでなく、罹患後の生活の質(QOL: quality of life)をも直接規定するため、その役割が重要であることはいうまでもない。

虚血性心疾患の診断は、病歴、理学所見、生理機能検査、画像、血液生化学的検査などを用いた多角的、総合的な検討をもとになされるべきである。これまでME機器の発達により、特に画像や生理学的検査はめざましい進歩をとげ、診断能力を向上させてきた。現在行われている診断法としては、①標準12誘導心電図、負荷心電図(運動、薬剤)、ホルター心電図などの電気生理学的検査、②心臓超音波検査、ドブタミンなどの負荷心エコー法、③冠動脈造影法、冠動脈血管内エコー、冠動脈血管内視鏡、④²⁰¹Tl-chloride

(タリウム)、 ^{99m}Tc -MIBI、 ^{99m}Tc -Pyrophosphate(ピロリン酸)、 ^{123}I -BMIPP などの放射線医薬品を利用した核医学検査などがある。これらの検査結果を総合的に判断することにより、虚血の部位や冠動脈の狭窄部位、壁運動の異常の診断や、最近では冠動脈内の病変の性状や血栓形成の有無、心筋の血流やエネルギー代謝の分布の異常などまで診断可能となってきた。しかし、以上のような検査法は、12誘導心電図と心臓超音波検査以外、侵襲的なものや手技が煩雑であったり時間を要したりして患者の負担が大きいものが殆どである。

一方、前章までで述べてきたように、心磁図は短時間のうちに計測可能で、完全に無侵襲な検査法である。近年増加傾向である虚血性心疾患の診断に心磁図の有用性があるとなれば、例えば検診などのスクリーニングにも応用できるポテンシャルをもつと思われる。この節では、心磁図による虚血性心疾患の評価を試み、その有用性を検討した。

2) 対象と方法

対象は、平成10年12月から平成11年9月に、筑波大学附属病院（入院、外来）で加療を受けた虚血性心疾患患者25例。うち外科症例は21例、内科症例（全てPTCA症例）は4例であった。男性19名、女性6例で、平均年齢は 63.2 ± 7.7 才、身長 $160.6 \pm 7.2\text{cm}$ 、体重 $62.2 \pm 8.7\text{kg}$ 、BMI $24.15 \pm 3.37\text{kg/m}^2$ であった。心電図上、異常Q波がみられた症例は13例、ST-T変化がみられた症例は17例、いずれも認められない症例は6例であった。心臓超音波検査では、壁運動の異常(asynergy)を認める症例が16例あった。冠動脈造影所見上、3枝病変11例、2枝病変11例と重症例が多かった。全ての症例で、左前下行枝または左主幹部に75%以上の有意狭窄が存在した。回旋枝の有意狭窄を有する症例は14例、右冠動脈の有意狭窄症例は18例であった。

以上の症例に対し、64チャンネル SQUID システムにより、心磁測定を行った。全ての患者には事前に書面と口頭で検査の目的、方法、安全性などにつき説明し、文書による同意を得た。実際の測定方法の詳細は、第3章に述べたものと同様である。30秒間の測定で得られた心磁波形を加算平均し、導出した接線成分から QRS、ST-T の時間帯のベクトルアローマップと等積分図 (\int QRS 図, \int ST-T 図) を作成した。また、最大積分値 (\int QRS) max、(\int ST-T) max を求め、比較した。

3) 結果

全例で心磁計測可能であり、QRS、ST-T の時間帯のベクトルアローマップおよび \int QRS 図, \int ST-T 図を作成することができた。

QRS の時間帯のベクトルアローマップでは、電流アローの変化の時間経過は、脚ブロックを伴っていない限り第3章に示した健常者のものとほぼ同様であった。また、QRS 図の形状は、左下方楕円で、これも第4章に示した健常者のものとほぼ同様であった。

これに対して、ST-T の時間帯のベクトルアローマップおよび \int ST-T 図では、以下のような特徴を示した。

①13例で ST-T の時間帯の全部、あるいは一部でアローの方向が右方に偏位していた。この変化は、 \int ST-T 図上では、右下方楕円を呈するという形で表現された。

②10例で ST-T の時間帯において、複数のダイポールを示した。この変化は、 \int ST-T 図上では、健常者と同様な左下方楕円以外の部位に、別のピークを示す図形の出現という形で表現された。

③ (\int QRS) max に対する (\int ST-T) max の値は、健常者と比べると低値を示す症例が多かった。25例の (\int QRS) max の平均は 10957.7 ± 5143.7 pTms/cm、(\int ST-T) max の平均は 11160.4

±6364. 1pTms/cm であった。また、その比 $(\int \text{ST-T})_{\text{max}}/(\int \text{QRS})_{\text{max}}$ の平均は 1.07 ± 0.39 であった。これらの数値を健常者の結果（第4章の症例）と比較すると、表5-1のように有意差が認められた。特に $(\int \text{ST-T})_{\text{max}}/(\int \text{QRS})_{\text{max}}$ は、健常者と比較すると有意に（ $p=0.0014$ ）低値を示し、健常者の平均-1SDである1.12に達しなかった症例は25例中15例であった。

以上の3つの特徴、すなわち

- ①再分極相における電流アローの右方偏位
- ②再分極相における複数ダイポールの出現
- ③再分極相における積分値の相対的減少

のいずれかが認められた症例は、25例中22例（88%）であった。心電図上異常Q波を示した症例で、心磁図上①～③のいずれも示さなかった例は1例もなかった。また、心電図が正常で、心磁図上①～③のいずれかを示した症例は、6例中3例（50%）であり、心磁図上①～③のいずれかを示さず、心電図上異常が認められた症例は、1例もなかった。（表5-2）一方、心臓超音波検査上 asynergy を認めなかった9例のうち7例が心磁図上①～③のいずれかを示した。心磁図上異常所見がなく、心臓超音波検査上 asynergy があった症例は1例のみであった。（表5-3）

“①再分極相における電流アローの右方偏位”を認めた一例のST-Tの時間帯のベクトルアローマップと等積分図を図5-1に示す。症例は、65才女性。診断は陳旧性心筋梗塞および労作性狭心症である。冠動脈バイパス手術後5年で再び胸痛を訴え、精査目的に入院した。冠動脈造影上、左主幹部75%狭窄に対して行われた左前下行枝に対するバイパスグラフトは完全閉塞、右冠動脈はAHA (American Heart Association) 分類の segment (以下#)2にて完全閉塞し、#3へのバイパスグラフトは、吻合部にて50%狭窄が認められた。心電図では、III、aVF誘導で異常Q波、V1～V6でST低下が認められた。心臓超音波検査では、asynergy は認めら

れなかった。ST-T の時間帯のベクトルアローマップでは、QRS の終末から右向きの電流アローが見られた。T 波の終末にかけて、次第にその向きを反時計方向に変化させ、磁気強度を減じていった。等積分図では、 \int ST-T 図の形状は、電流アローの右方偏位を反映して図 5-1 のような横軸の長い楕円形のような形になった。 \int ST-Tmax/ \int QRSmax=1.014 と低値を示した。

“②再分極相における複数ダイポールの出現”を認めた一例の ST-T の時間帯のベクトルアローマップと等積分図を図 5-2 に示す。症例は 51 才男性。診断は労作性狭心症。冠動脈造影では、右冠動脈#1 が 99%、#4 が 90%、左前下行枝#7 が 99%の狭窄、左回旋枝#13 が完全閉塞となっていた。心電図では、異常 Q 波はなく、III、aVF で T 波の平低化がみられ、V1, V2 で R 波の減弱が認められた。負荷心電図検査(トレッドミル多段階試験)では、II、III、aVF、V4~V6 で有意な ST 低下が見られた。心臓超音波検査、左室造影では、前壁中隔から心尖部にかけて severe hypokinesis が認められた。この症例に対して心磁図計測を行った結果、ST-T の時間帯のベクトルアローマップでは、左下方へ向かう電流アローのほかに、上方へ向かう電流アローが認められ、マルチダイポールパターンとなった。これを反映して、 \int ST-T 図では 2ヶ所にピークをもつパターンとなった。 $(\int$ ST-T)max/ $(\int$ QRS)max=1.164 と、健常者の平均 \pm 1SD の範囲に入る値であった。

“③再分極相における積分値の相対的減少”を示した一例の ST-T の時間帯のベクトルアローマップと等積分図を図 5-3 に示す。症例は 65 才女性。診断は不安定狭心症。冠動脈造影では、右冠動脈#2 が 90%、#6 が 50~75%の狭窄であった。心電図上左室肥大が認められたが、異常 Q 波や有意な ST-T 変化など虚血性変化は認められなかった。心臓超音波検査では、前壁中隔から心尖部にかけて slightly hypokinesis であったが、左室造影では asynergy は認めら

れなかった。この症例に対して、心磁図計測を行った結果、ST-T の時間帯のベクトルアローマップ、および \int QRS 図、 \int ST-T 図のパターンは、上述した①や②の変化はなく、健常者のそれと差はなかった。しかし、 $(\int \text{ST-T})_{\max}/(\int \text{QRS})_{\max}=0.909$ と、健常者の平均-1SD(1.12)よりも低値を示した。

4) 考察

本節では、64 チャンネル SQUID システムを用いて、虚血性心疾患症例の心磁計測を行い、作成したベクトルアローマップと等積分図を健常者のものと比較検討した。その結果、心筋虚血症例では、

- ①再分極相における電流アローの右方偏位
- ②再分極相における複数ダイポールの出現
- ③再分極相における積分値の相対的減少

という特徴を示す症例が多く、心磁図により心筋虚血の評価が可能であることが示唆された。

これまで、心磁図の波形を解析して、狭心症症例の非発作時心磁図で再分極異常を示す症例があるという報告がある[88]。この報告では、心電図が正常で心磁図のみが心筋虚血を示した症例は、27.6%であった。ここで述べられている再分極異常は、二次元的な等磁場線図にしてみると、①と同様な電流ダイポールの異常、すなわち右方への偏位であった。この右方偏位の成因は不明であるが、心室再分極過程における固有心筋の虚血による傷害の表現ではないかと考えられる。我々の研究においても、心電図が正常な狭心症症例では、1例が再分極相における電流アローの右方偏位を示した。

陳旧性心筋梗塞の症例では、心筋虚血部は興奮回復が遅延し、再分極過程の異常を引き起こす。心磁図を用いた陳旧性心筋梗塞症例の検討も、これまでいくつか報告されている[88][114]。ここでは、陳旧性下壁梗塞が対象となって

いるが、心磁の法線成分から作成した等磁場線図では、53.8%で複数二重極を示し、心電図で把握し難い心筋虚血を診断し得る可能性が示唆されている。本研究においては、②の再分極相における複数ダイポールの出現と本質的に同じ現象ではないかと考えられる。

③の再分極相における積分値の相対的減少は、心磁の等積分図自体が我々の発案であるため、過去に同様の報告はない。この現象は、第4章でシミュレーションを提示して述べたように、再分極相は個々の心筋が興奮からさめる過程であるので、虚血などにより傷害のある心筋が存在すれば、電流ダイポールの方向にばらつきが生じ、その結果発生する磁場強度が減弱して起こるものと考えられる。以上のように、心磁図で心筋虚血を評価し得ると考えられる①～③の項目を、25例の虚血性心疾患症例で検討した結果、22例(88%)がそのいずれかに相当した。特に、今回我々が初めて提示した接線成分の等積分図をみると、①～③の特徴がひと目で認識し得た。

今回検討対象となった症例は殆どが外科症例であり、25例中22例は2枝以上に病変がある、いわゆる多枝病変であった。現時点では、計測された心磁の表現方法は、ベクトルアローマップも等積分図も、あくまで二次元平面への投影図であり、三次元的情報は得られない。磁場の特徴から、心磁を感知するセンサに近い部位の情報を反映するとはいえ、例えば前胸部からみて左室前壁と後壁が重なった部分からの情報は、分離することが困難である。したがって、多枝病変の場合、厳密な虚血部位の判定は難しいため、今回の症例では、心磁により虚血の局在を示すことが可能か否かの検討は行わなかった。また、すでに心筋梗塞を合併している症例も多く、虚血症例の中には心筋が梗塞に陥っている部分とそうでない部分が混在している例も少なくない。したがって、今回の症例のみからは、虚血の程度の判定における心磁の有用性を明らかにすることはできなかった。

た。心磁図による虚血の部位判定、程度の判定を検討するには、今後外科症例に限らず、冠動脈造影上1枝病変の症例や、同じ冠動脈の病変でも、心筋梗塞症例とそうでない症例での比較検討が必要であると考えられた。また、心磁の三次元的計測、およびその解析法の開発も重要な課題である。

上述したように、現時点では心磁図による虚血心筋の正確な部位診断、虚血の程度の判定は困難である。しかし、心電図で異常がなくても心磁図上で虚血を示唆する症例が、6例中3例(50.0%)に、心臓超音波検査上 asynergy を認めない9例中7例(77.8%)に心磁図異常が認められたことから、検診などにおける虚血のスクリーニングや初期診断に、有用性が見出される可能性がある。人口の急速な高齢化とライフスタイルの欧米化により、動脈硬化性病変が進展して虚血性心疾患の発症率はますます増加し、しかも罹患年齢が若年層へ移ってきている。また、近年心筋虚血発作が生じながら胸痛を伴わない、無症候性心筋虚血(asymptomatic myocardial ischemia)または無痛性心筋虚血(silent myocardial ischemia)の存在が知られてきた。しかも、最近の多くの報告から、その予後は有痛性の狭心症例と比較して必ずしも良好ではない[115]。したがって、無症候性心筋虚血の把握は診療上きわめて重要であるが、自覚症状がないため、その検出には無症候性心筋虚血の存在を疑って検査を進める必要がある[116]。また、無症状の経過中に心筋梗塞、突然死など重篤な事態に移行することも少なくなく、社会的にも影響が大きい。したがって、健康とみなされる成人の中から無症候性心筋虚血患者を見出して治療することが必要となるが、その頻度は2~4%とされている。この母集団全員にスクリーニングを行うことは現時点では不可能であり、冠危険因子を有する例を中心にスクリーニングや予後の検討、検査法の検討などが行われているのが現状である[117]~[123]。

一方、心臓由来と考えられる狭心症様胸痛があるにもかかわらず、冠動脈造影上その胸痛の原因となる器質的狭窄病変あるいは冠攣縮が認められない症例、いわゆる syndrome X [124] の病態として、近年前細動脈の機能異常が心筋虚血を生じる可能性が示唆され [125] ~ [131]、冠動脈造影上冠動脈が正常であっても心筋虚血を生じる病態の存在が明らかになってきた。しかし、本症の診断は容易でない場合が多く、発作時の胸痛も非典型的である [132] [133] ため、確立された診断法はまだない。

以上のような現状を踏まえて、心筋虚血に関するスクリーニングまたは初期の診断法として、今後侵襲なく短時間に計測でき、しかも瞬時に正確な信頼度の高い方法が望まれるものと思われる。将に心磁図は、これに対応できる可能性をもつ診断法であると考えられる。

現在、我々が使用している SQUID システムは、超伝導体の性質のため液体ヘリウムによる絶対零度近くの環境が必要であり、また、特殊な材料でつくられた磁気シールドルームも必須である。したがってランニングコストも高額になる。今後心磁計測が一般的な検査に発展するためには、高温超伝導体を用いた SQUID やシールドルームを用いない測定技術の開発など、測定機器の技術的な進歩が待望される。

高温超伝導体は、1986 年 30K 級の La-Ba-Cu-O 系酸化物高温超伝導体が発見されたのが発端となり、新超伝導体の探索、超伝導機構の解明や酸化物高温超伝導体の応用研究が行われてきた [139] [140] [134]。La 系や Nd 系の酸化物に続いて、臨界温度が液体窒素温度 (77.3K) 以上の Y 系、Bi 系、Tl 系、Pb 系、Hg 系などで、多くの種類の酸化物高温超伝導体が発見されており、酸化物高温超伝導体の線材化技術や薄膜作成技術などで実用化に向けた研究 [141] [142] が活発になってきている。

第2節 心臓弁膜症の評価

1) 目的

心臓弁膜症は、障害のある弁の種類、障害の形式（狭窄か閉鎖不全か）やその程度により、さまざまな血行動態を引き起こし、心臓に負荷（圧負荷、容量負荷）をかける。この節では、弁膜症で筑波大学附属病院心臓血管外科に入院した症例に対して、心室、心房の負荷の状態を心磁図で評価することを試みた。

2) 対象と方法

対象は、平成10年12月から平成11年8月に、筑波大学附属病院外科に外科治療目的で入院した弁膜症患者8例。うち、大動脈弁疾患4例、僧帽弁疾患4例であった。大動脈弁疾患症例の内訳は、大動脈弁狭窄症(Aortic valve stenosis: ASと略す)3例、大動脈弁閉鎖不全症(Aortic valve regurgitation: ARと略す)1例であり、AS症例は全例軽度の大動脈閉鎖不全(Arと略す)を伴っていた。男性1名、女性3名、平均年齢は 67 ± 12.9 才、身長 149 ± 10.0 cm、体重 51.7 ± 12.1 kg、BMI 23.03 ± 4.89 kg/m²であった。心電図上、全例で左室肥大、3例で胸部誘導に陰性T波、3例で左房負荷（二相性P波）の所見がみられた。一方、僧帽弁疾患症例の内訳は、僧帽弁狭窄症(Mitral valve stenosis: MSと略す)1名、僧帽弁閉鎖不全症(Mitral valve regurgitation: MRと略す)3名、うち男性2名、女性2名で、平均年齢は 53.3 ± 17.4 才、身長 161.8 ± 9.6 cm、体重 56.8 ± 12.2 kg、BMI 21.60 ± 3.10 kg/m²であった。心電図上、2例が心房細動を示した。洞調律の2例（いずれもMR症例）では、左房負荷（二相性P波）の所見があり、うち1例の

みで左室肥大を呈していた。以上の症例（いずれも手術前）に対して、64チャンネルSQUIDシステムにより心磁測定を行った。全ての患者には事前に書面と口頭で検査の目的、方法、安全性などにつき説明し、文書で同意を得た。実際の測定方法の詳細は、第3章に述べたものと同様である。30秒間の測定で得られた心磁波形を加算平均し、導出した接線成分からP（洞調律症例のみ）、QRS、ST-Tの時間帯のベクトルアローマップと等積分図（ \int QRS 図, \int ST-T 図）を作成した。また、最大積分値（ \int QRS) $_{max}$ 、（ \int ST-T) $_{max}$ を求め、比較検討した。

3) 結果

全ての症例で心磁計測可能であり、QRS、ST-Tの時間帯のベクトルアローマップおよび \int QRS 図, \int ST-T 図を作成することができた。

1 大動脈弁疾患

ASの一症例の心磁図を図5-4に示す。

症例は70才女性。心電図上V1、V2に二相性P波、左室高電位、V4～V6に陰性T波を認めた。心臓超音波検査では、severe AS、Ar II°、Mr II°を認め、大動脈-左室圧較差(PG)は、maxPG 212mmHg、meanPG 121mmHgであった。心室中隔厚(IVST)は16mm、左室後壁厚(LVPWT)は16mm、左室駆出率(LVEF)は49%であった。心臓カテーテル検査では、左室へのカテーテル挿入は不可能であった。冠状動脈に有意狭窄はなかった。

P波の時間帯の前胸部ベクトルアローマップでは、P波の前半において胸骨右縁上部から左下方へ向かうアローと、P波後半で引き続き上胸部において左方に向かうベクトルが観察された。背部ベクトルアローマップでは、P波の頂点付近を中心に、上胸部において左下方へ向かうベクトルが見られた。図5-4-Aに示したASの例とARの1例で、P波後半

の左方へ向かうベクトルの持続時間が長い傾向にあったが、ベクトル強度は健常例と同様であった。

QRS の時間帯の前胸部ベクトルアローマップでは、図 5-4-B に見られるように、全例で左～左下方に向かうベクトルが優位で、ベクトル強度も高値であった (QRS の時間帯におけるベクトルアローマップの最大ベクトル強度は、健常者の平均が 574.35pT/cm であるが、図 5-4 の症例では 1057.2pT/cm であった)。

ST-T の時間帯の前胸部ベクトルアローマップ (図 5-4-C) では、全例で右方へ向かうベクトルが優位となっており、健常者と同様の左下方へ向かうベクトルが見られた症例はなかった。

等積分図に関しては、健常者で見られたような \int QRS 図と \int ST-T 図における左下方楕円といった類似性は見られなかった (図 5-4-D)。(\int QRS) $_{\max}$ の平均は 25060.1 ± 4477.5 pT/cm、(\int ST-T) $_{\max}$ の平均は 25167.9 ± 11056.7 pT/cm で健常者や虚血性心疾患症例よりも高値を示す傾向にあったが、その比 (\int ST-T) $_{\max}$ / (\int QRS) $_{\max} = 0.97 \pm 0.28$ と低値を示した (表 5-2)。

2 僧帽弁疾患

MR の一症例の心磁図を図 5-5 に示す (僧帽弁疾患症例に関しては、背部の測定は施行されていない)。

症例は、51 才男性。心電図上洞調律、左室高電位を認めた。心臓超音波検査では、IV° の MR を認め、左房径 60mm、左室拡張末期径 (LVDd) 60mm、左室収縮末期径 (LVDs) 35mm、IVST 10mm、PWT 9mm、LVEF 71%であった。心臓カテーテル検査では、MR IV°、冠状動脈に有意狭窄はなかった。

この症例の如く、洞調律の 2 例 (いずれも MR 症例) における P 波の時間帯の前胸部ベクトルアローマップでは、P 波の前半において胸骨右縁上部から左下方へ向かうアローと、P 波後半で引き続き上胸部において左方に向かうベクトルが観察された (図 5-5-A)。QRS、および ST-T の時間帯の

前胸部ベクトルアローマップ (図 5-5-B, C) では、アローの時間経過はほぼ健常者と同様であった。ただし、MS 症例では、右方に向かうベクトル強度がやや大きい傾向にあった。等積分図 (図 5-5-D) に関しては、健常者と同様に \int QRS 図、 \int ST-T 図とも左下方楕円を示した。 $(\int \text{QRS})_{\max}$ の平均は 11030.5 ± 3265.8 pT/cm、 $(\int \text{ST-T})_{\max}$ の平均は 12578.6 ± 2989.0 pT/cm といずれも大動脈弁疾患症例の半分以下の値であった。その比 $(\int \text{ST-T})_{\max} / (\int \text{QRS})_{\max} = 1.18 \pm 0.31$ であった (表 5-4)。

4) 考察

大動脈弁疾患および僧帽弁疾患症例の心磁図を測定し、ベクトルアローマップ、等積分図を作成してその結果を検討した。いずれも対象は 4 症例であり、罹患弁毎にまとめて検討したため、統計学的検討はできなかった。

大動脈弁疾患では、左房負荷がベクトルアローマップ、特に背部ベクトルアローマップ上、左房方向へ向かうアローの継続時間の延長という形で見られたが、ベクトル強度は健常者に比べて特に高値を示すことはなかった。心電図や心臓超音波検査などの他検査では、全例で左室肥大の所見が存在したが、これは心磁図では、①QRS の時間帯のベクトルアローマップ上、左室に向かうベクトルの優位、②ST-T の時間帯のベクトルアローマップ上アローの右方へのシフト、③等積分図では、①②を反映した形状と $(\int \text{QRS})_{\max}$ 、 $(\int \text{ST-T})_{\max}$ の両者の高値という特徴を示した。 $(\int \text{ST-T})_{\max} / (\int \text{QRS})_{\max}$ 比は低値を示したが、これは左室肥大のため $(\int \text{QRS})_{\max}$ の値が相対的に大きくなったためであると考えられた。

僧帽弁疾患では、4 例中 2 例が心房細動であったため、心房脱分極の心磁図の評価は 2 例のみとなった。いずれも MR 症例であったが、健常者とほぼ同様の結果となった。ただ

し、僧帽弁疾患では、前胸部のみの計測であったため、背部からの評価はされていない。QRS の時間帯のベクトルアローマップでは、MS 症例で右室に向かうベクトル強度がやや大きい傾向にあったが、MR 症例ではアローの時間経過はほぼ健常者と同様であった。ST-T の時間帯のベクトルアローマップでは、全例でアローの方向は健常者と同様に終始左下方であった。等積分図でも、その形状は健常者と同様であり、 $(\int \text{QRS})_{\text{max}}$ 、 $(\int \text{ST-T})_{\text{max}}$ 両者の値も大動脈弁疾患の約半分であった。

以上のように、大動脈弁疾患と僧帽弁疾患では、左室負荷の程度の違いが心磁図上もその特徴の違いとして表現されたと考えられる。特に、AS 症例と MR 症例では、左室の圧負荷と容量負荷の違いが心磁図上表現されたものと考えられた。表 5-5 に AS 症例と MR 症例の心臓超音波検査所見と心磁図最大積分値の比較を示した。左室に圧負荷があり、左室壁肥厚のある AS 症例では積分値も高値となるが、容量負荷で左室の拡張が見られる MR 症例では、積分値は健常者と同様の値であった。あくまで推測であるが、今後の更なる症例検討により圧負荷の程度と積分値の相関が認められ、心磁測定からある程度左室負荷の程度が推測できれば、病態の把握や手術適応の検討、術後のフォローアップなどに非常に有用であると考えられる。

これまでも、心磁図による心室負荷の評価は、主に法線成分の波形の解析により試みられてきた。そして、左室肥大に関しては心電図よりも感度が高いという報告もある [35][36]。また、第 3 章で述べたように、心肥大による相対的心筋虚血により再分極過程の異常が起こり、その不均一性から再分極ベクトルの方向が健常者と異なってくる（おもに右方にシフトしてくる）という考察がなされている [137][138]。今回検討した心磁図では、肥大による局所心筋の電流量の増加、再分極過程の不均一性によるアローの右方シフト、相対的虚血による $(\int \text{ST-T})_{\text{max}} / (\int \text{QRS})_{\text{max}}$

値の低下が、特に等積分図では瞬時に判断することができ、左室負荷の有用な評価方法である可能性が示唆された。今後外科症例に限らず症例を重ね、他の検査結果とも比較して、詳細な検討により重症度の判定や手術適応の判別、圧負荷と容量負荷の違いの判定への有効性を確かめていく必要があると考えられた。

第3節 小括

虚血性心疾患、弁膜症といった外科的疾患症例の心磁図を測定し、その解析結果より病態の評価を試みた。

虚血性心疾患症例では、①再分極相における電流アローの右方偏位、②再分極相における複数ダイポールの出現、③再分極相における積分値の相対的減少といった再分極相の異常を示した症例が多く、心磁図により心筋虚血の評価が可能であることが示唆された。

心臓弁膜症例では、左房負荷の評価にアローマップ、特に背部アローマップの有用性が示唆された。左室負荷（圧負荷）症例では、①QRSの時間帯のベクトルアローマップ上、左室に向かうベクトルの優位、②ST-Tの時間帯のベクトルアローマップ上アローの右方シフト、③等積分図において、①②を反映した形状と $\int \text{QRS}_{\text{max}}$ 、 $\int \text{ST-T}_{\text{max}}$ の両者の高値という特徴を示し、左室負荷の有用な評価法となる可能性が示唆された。

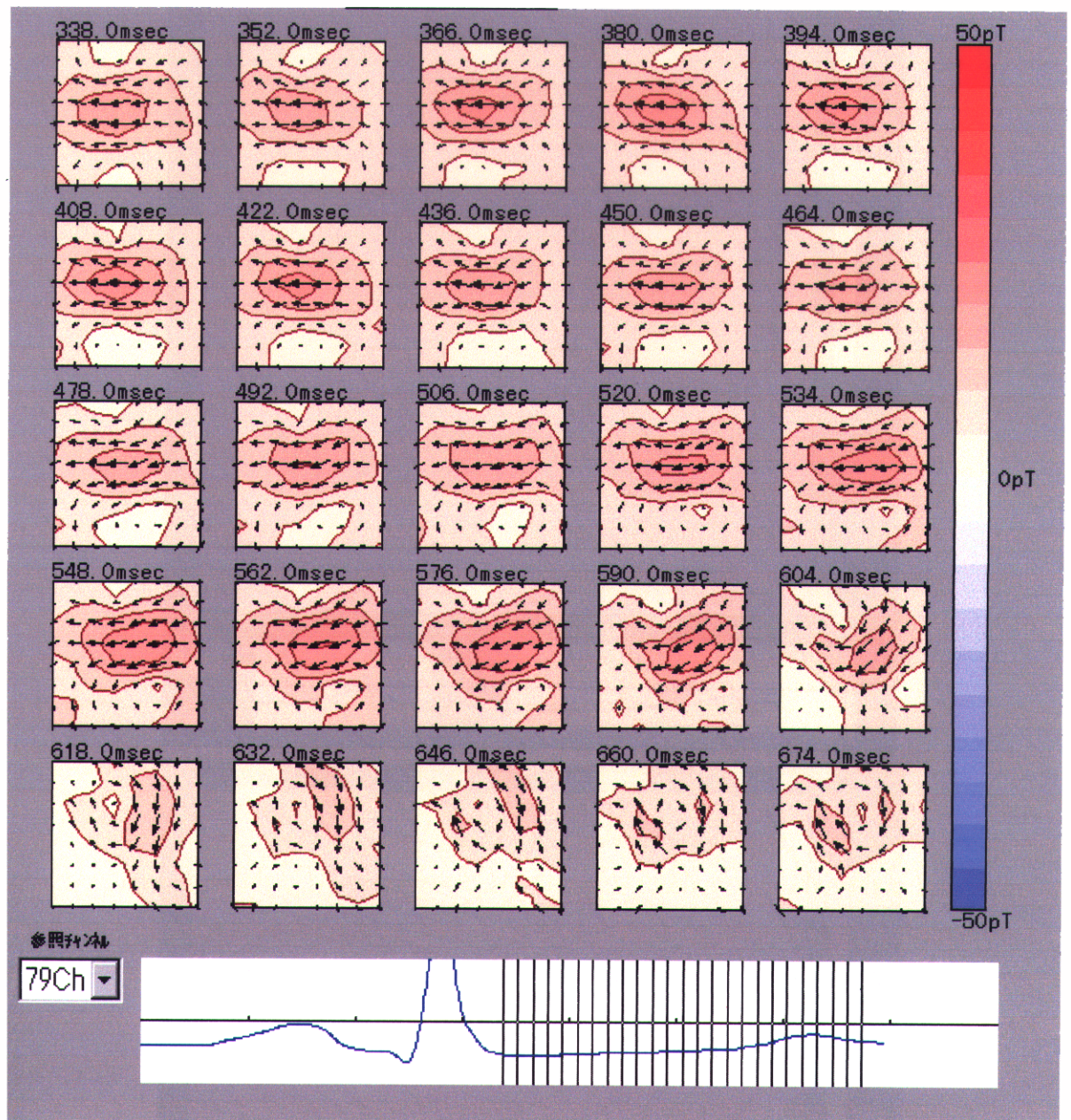


図5-1-A 再分極相における電流アローの右方偏位を認めた一例のST-Tの時間帯におけるベクトルアローマップ
 心電波形は、同時計測第Ⅱ誘導心電図のものである。
 ベクトルアローマップは、左上より順に14msec毎に表示した。

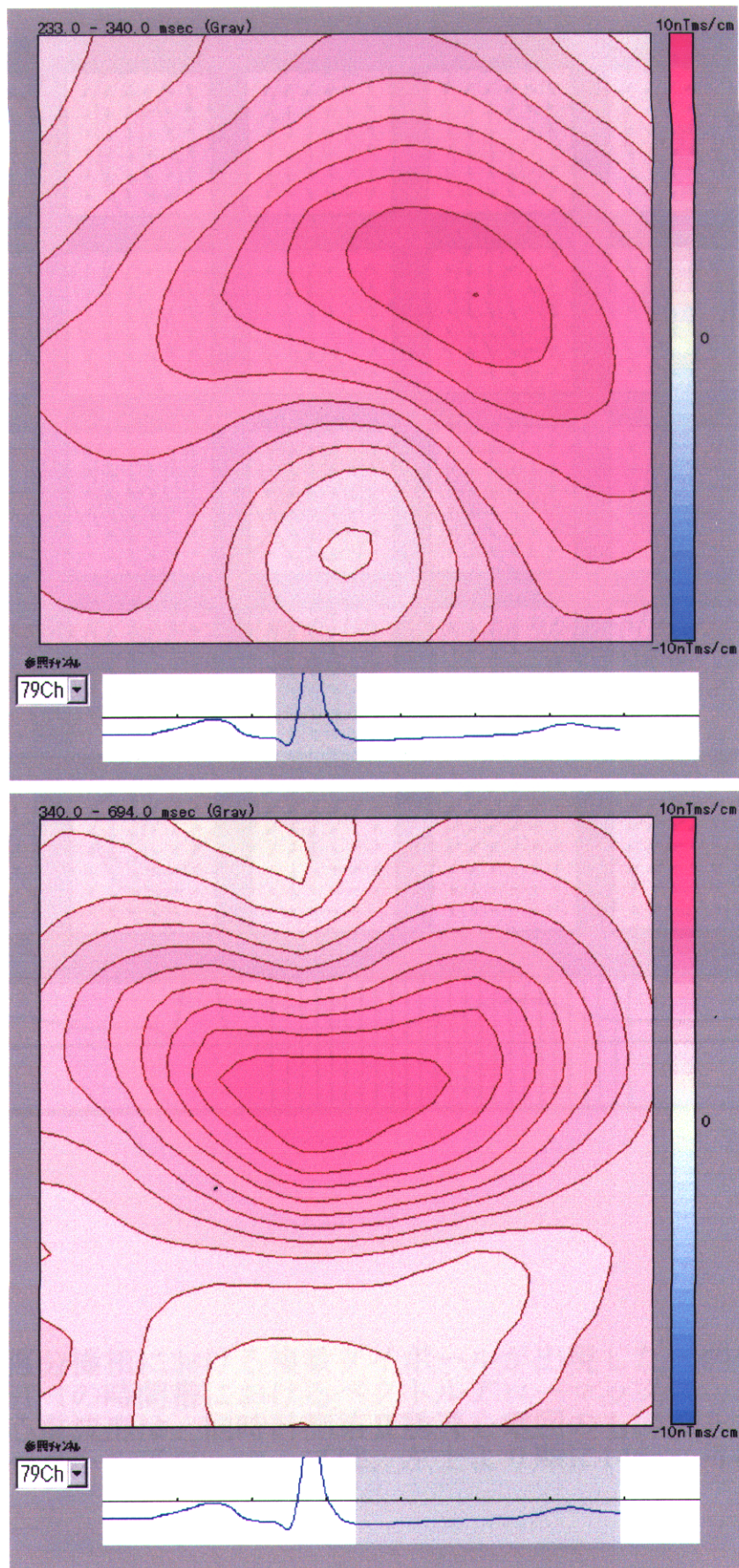


図5-1-B 再分極相における電流アローの右方偏位を認めた一例の等積分図
 上図： \int QRS図 下図： \int ST-T図

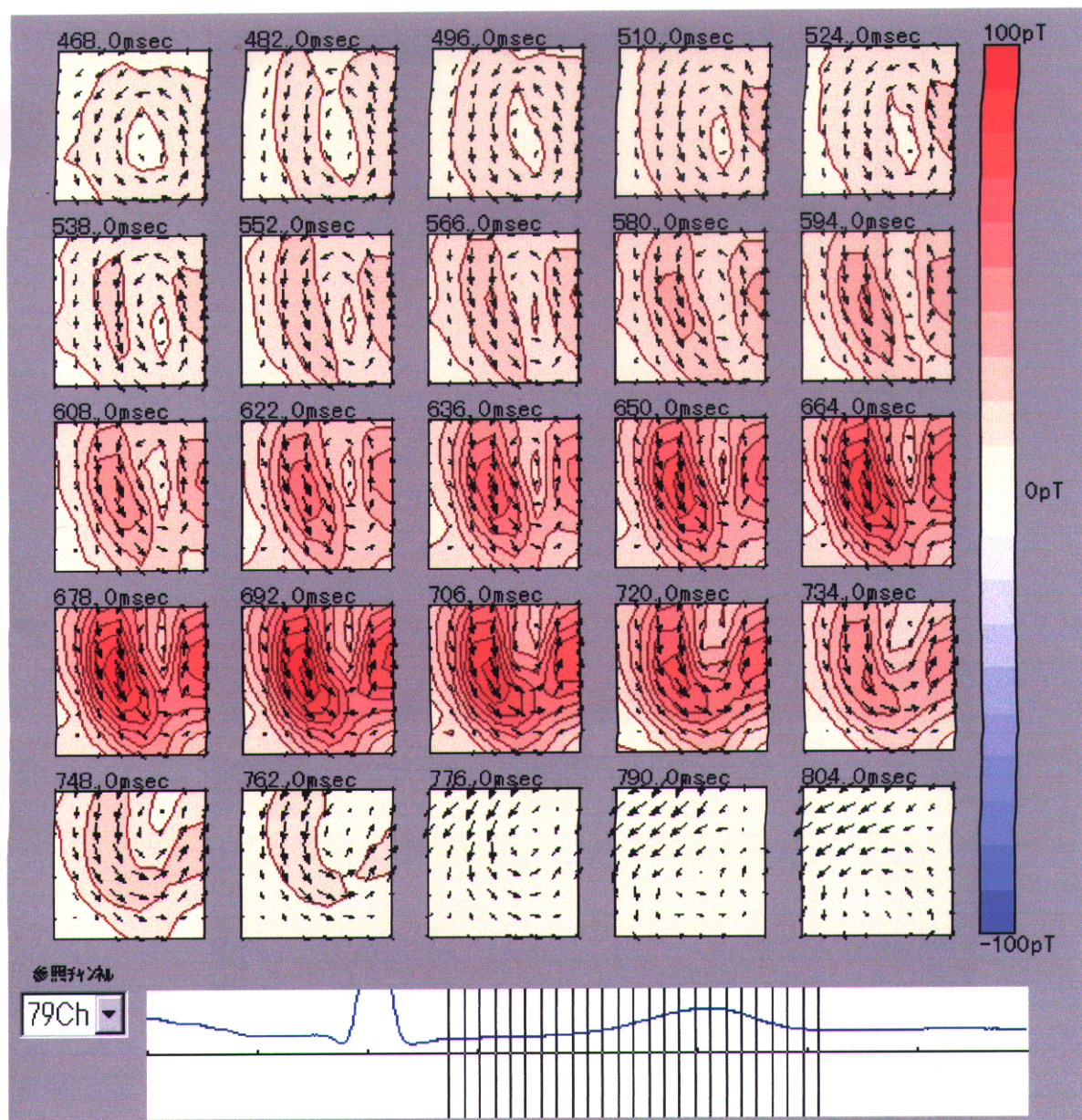


図5-2-A 再分極相における複数ダイポールが出現した一例のST-Tの時間帯におけるベクトルアローマップ
 心電波形は、同時計測第Ⅱ誘導心電図のものである。
 ベクトルアローマップは、左上より順に14msec毎に表示した。

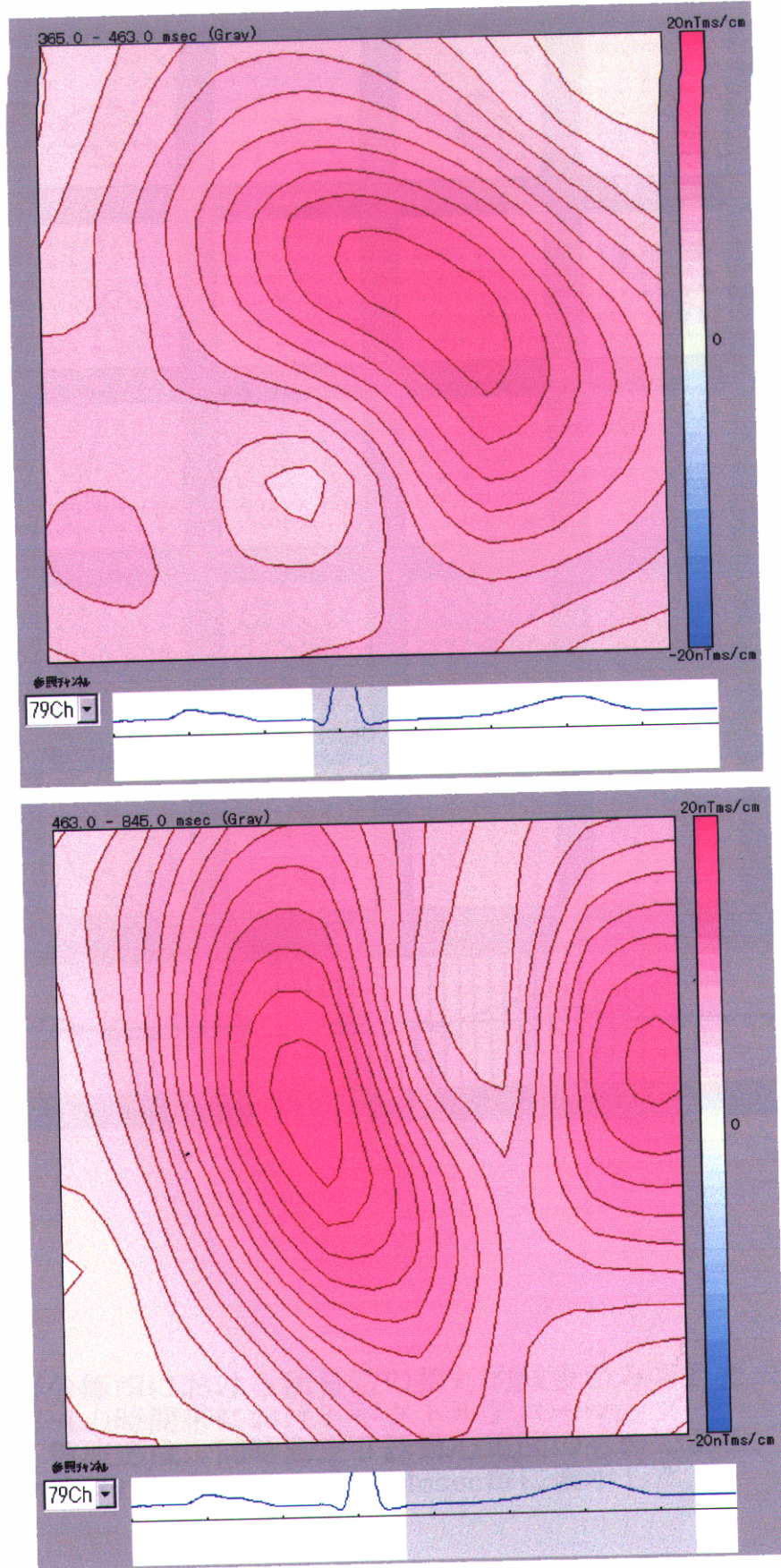


図5-2-B 再分極相における複数ダイポールが出現した一例の等積分図
 上図： \int QRS図 下図： \int ST-T図

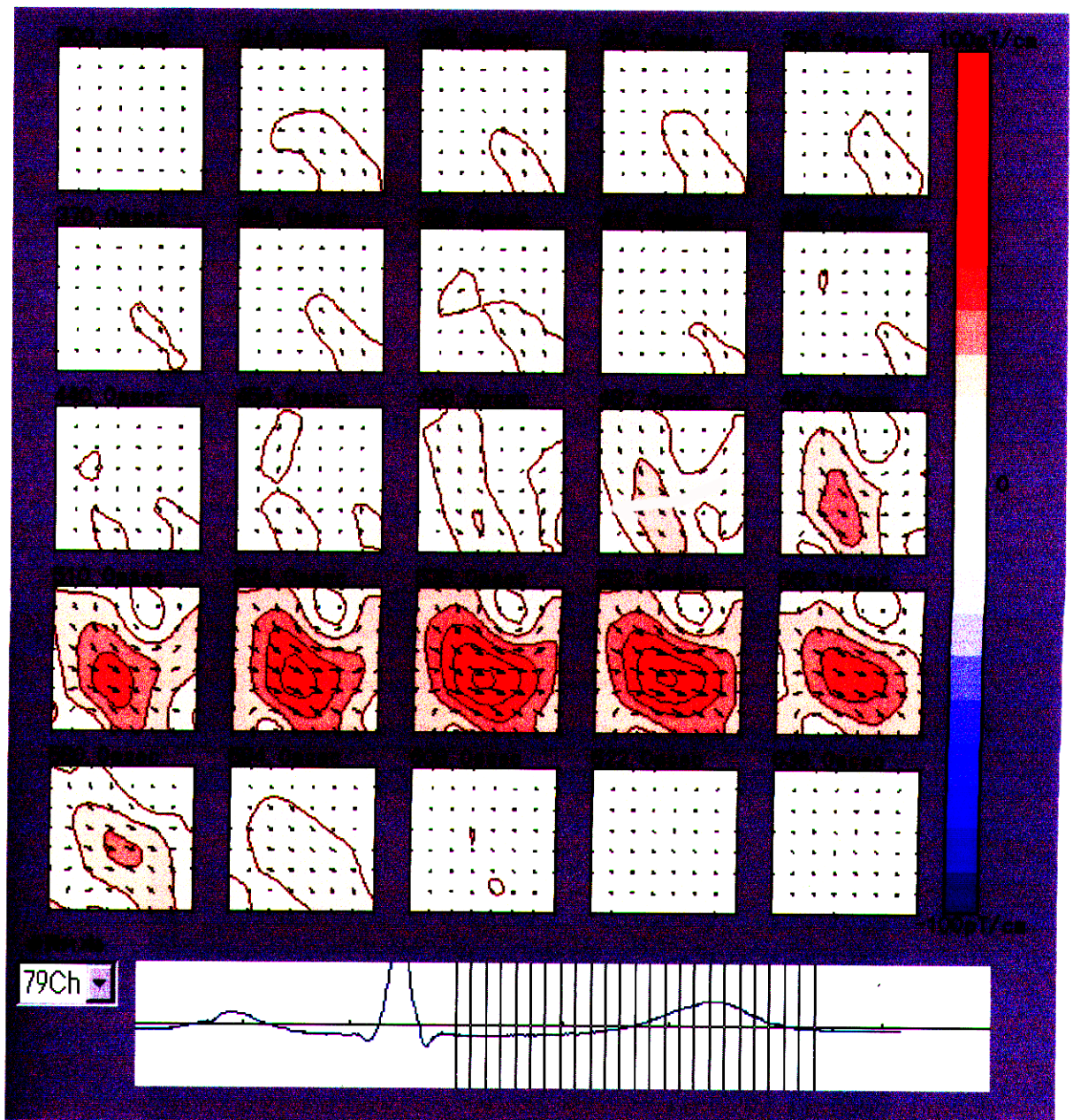


図5-3-A 再分極相における積分値の相対的減少がみられた一例のST-Tの時間帯におけるベクトルアローマップ
心電波形は、同時測定Ⅱ誘導心電図のものである。ベクトルアローマップは、左上より順に14msec毎に表示した。

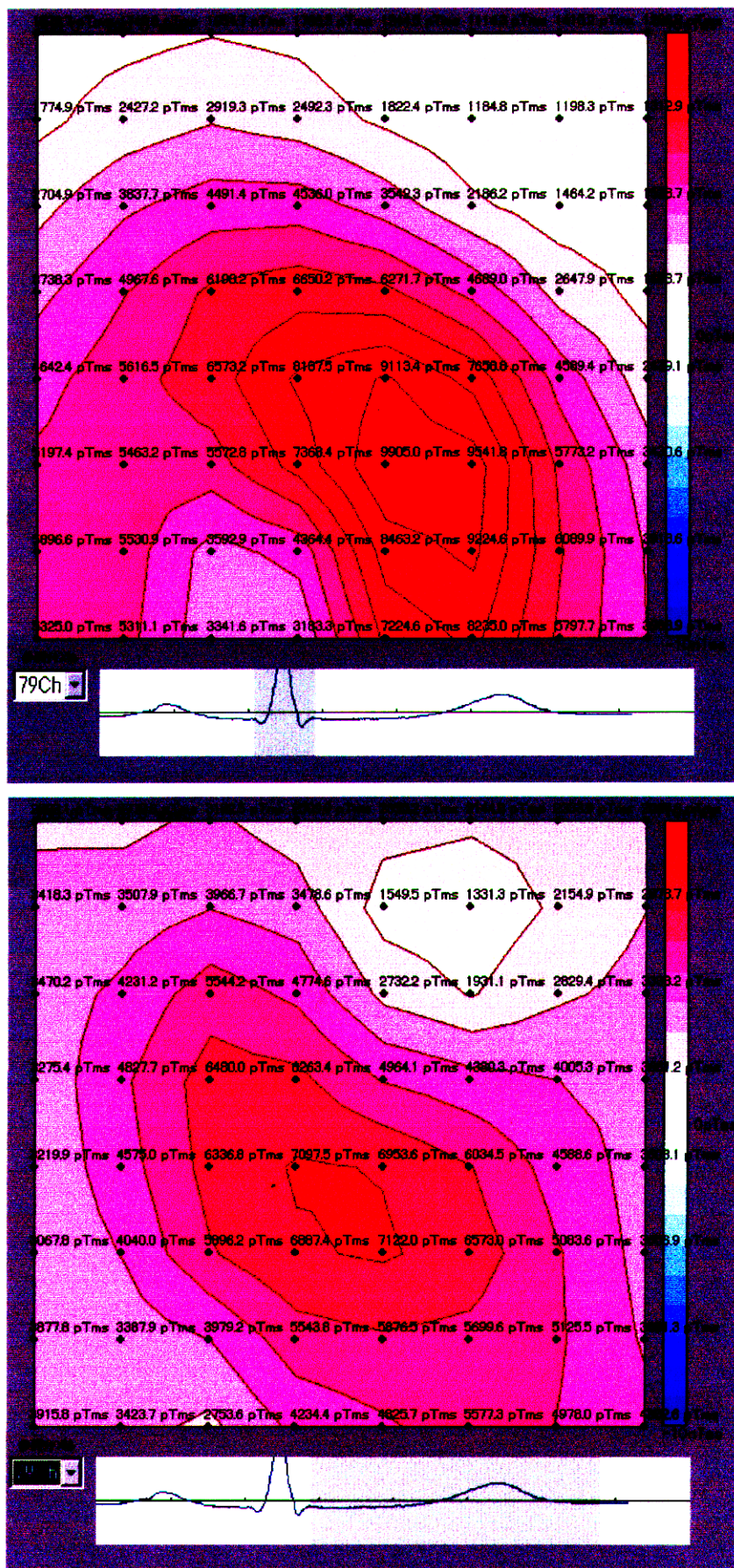


図5-3-B 再分極相における積分値の相対的減少がみられた一例の等積分図
 上図： \int QRS図 下図： \int ST-T図

表 5-1 健常者と虚血性心疾患症例の積分値の比較

	n	(∫QRS) _{max} (pTms)	(∫ST-T) _{max} (pTms)	(∫ST-T) _{max} / (∫QRS) _{max}
健常者	25	15963.9 ± 7763.2	22456.9 ± 9620.3	1.49 ± 0.37
虚血性心疾患症例	25	10957.7 ± 5143.7	11160.4 ± 6364.1	1.07 ± 0.39
p 値		0.0215	<0.0001	0.0014

表 5-2 虚血性心疾患症例における
心電図所見と心磁図所見の比較 (数字は症例数)

MCG	右方シフト	複数 ダイポール	積分値の 減少	異常所見 なし
ECG				
異常 Q 波	8	8	10	0
ST T 変化	4	2	3	0
虚血所見 なし	1	0	2	3

表 5-3 虚血性心疾患症例における
心臓超音波検査所見と心磁図所見の比較
(数字は症例数)

MCG	右方シフト	複数 ダイポール	積分値の 減少	異常所見 なし
UCG Asynergy あり (16 例)	10	8	9	1
Asynergy なし (9 例)	3	2	6	2

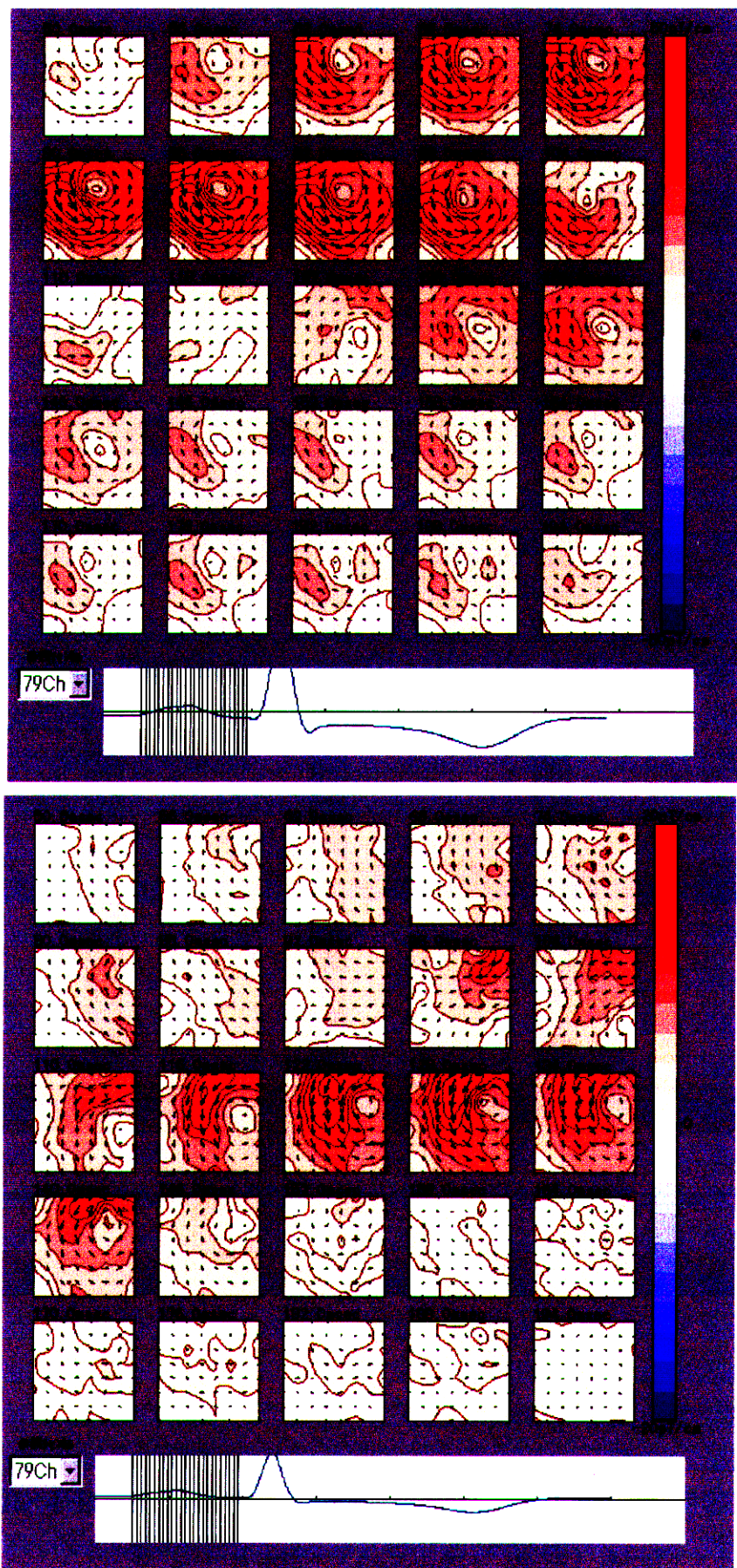


図5-4-A 大動脈弁狭窄症例におけるP波の時間帯のベクトルアローマップ
 (上図：前胸部、下図：背部)
 左上より順に、6msec毎に表示した。

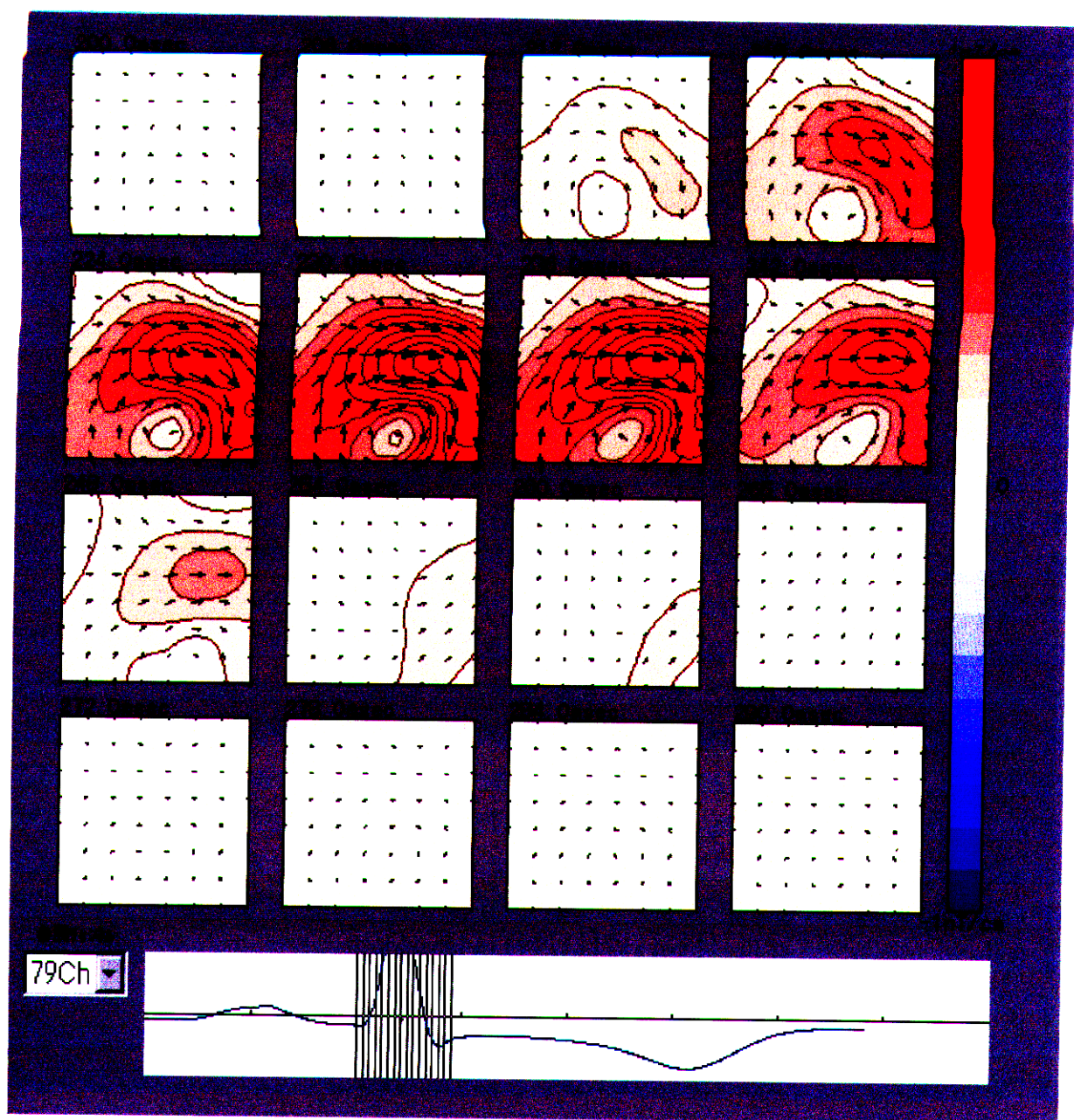


図5-4-B 大動脈弁狭窄症例におけるQRSの時間帯のベクトルアローマップ（前胸部）
左上より順に、6msec毎に表示した。

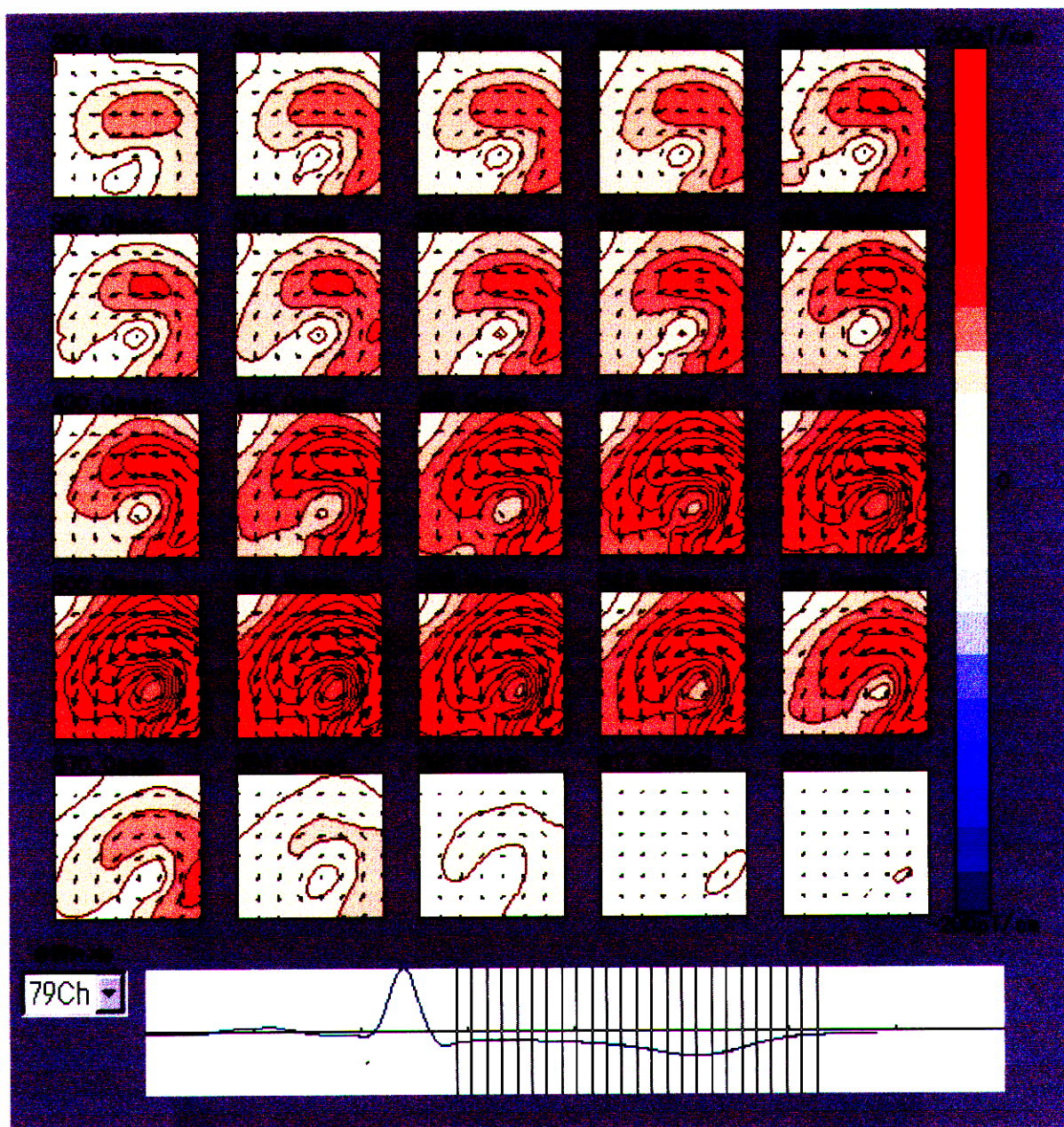


図5-4-C 大動脈弁狭窄症例におけるST-Tの時間帯のベクトルアローマップ（前胸部）
左上から順に、14msec毎に表示した。

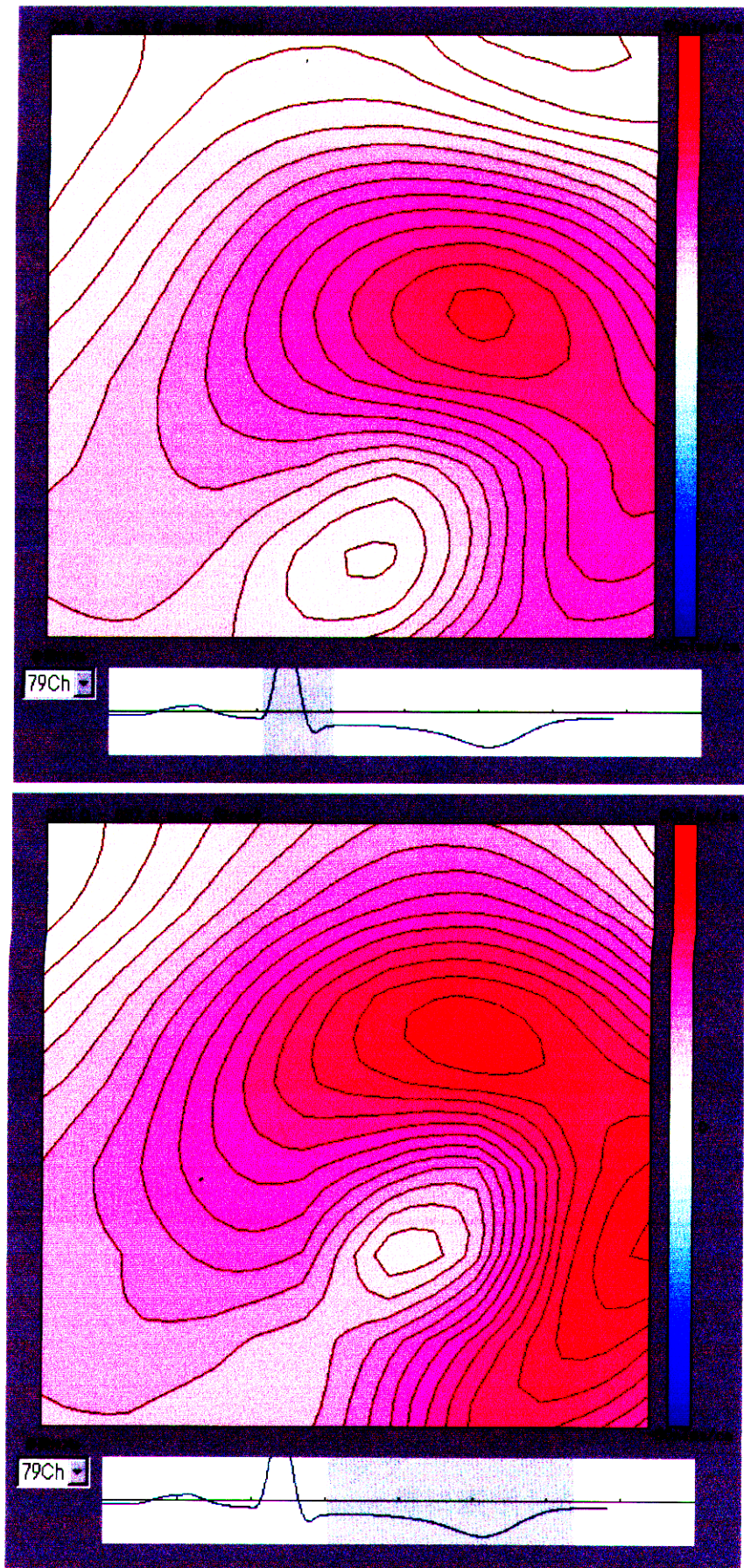


図5-4-D 大動脈弁狭窄症例の等積分図
 上図：∫ QRS図 下図：∫ ST-T図

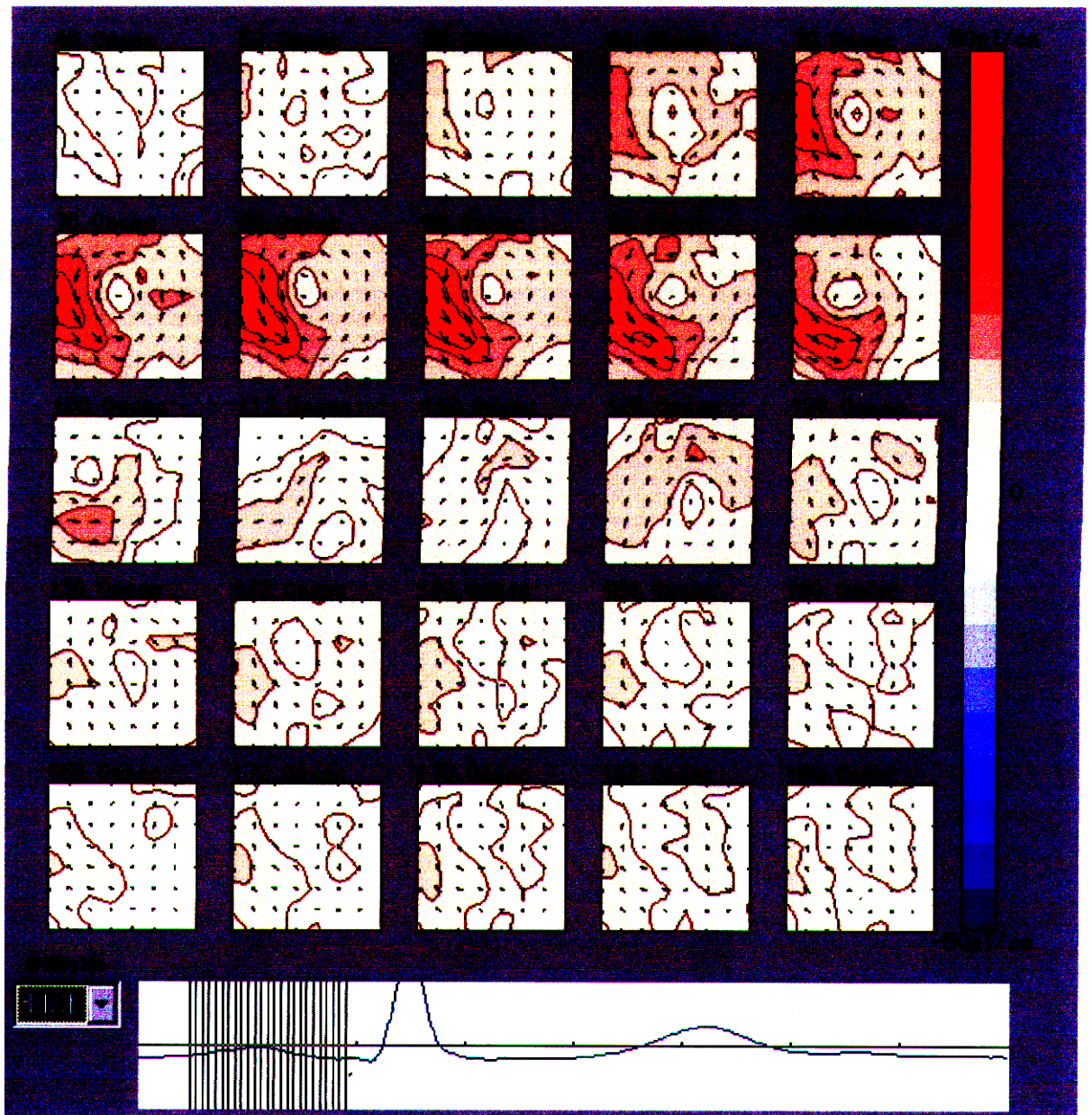


図5-5-A 僧帽弁閉鎖不全症例におけるP波の時間帯のベクトルアローマップ
 左上より順に、6msec毎に表示した。

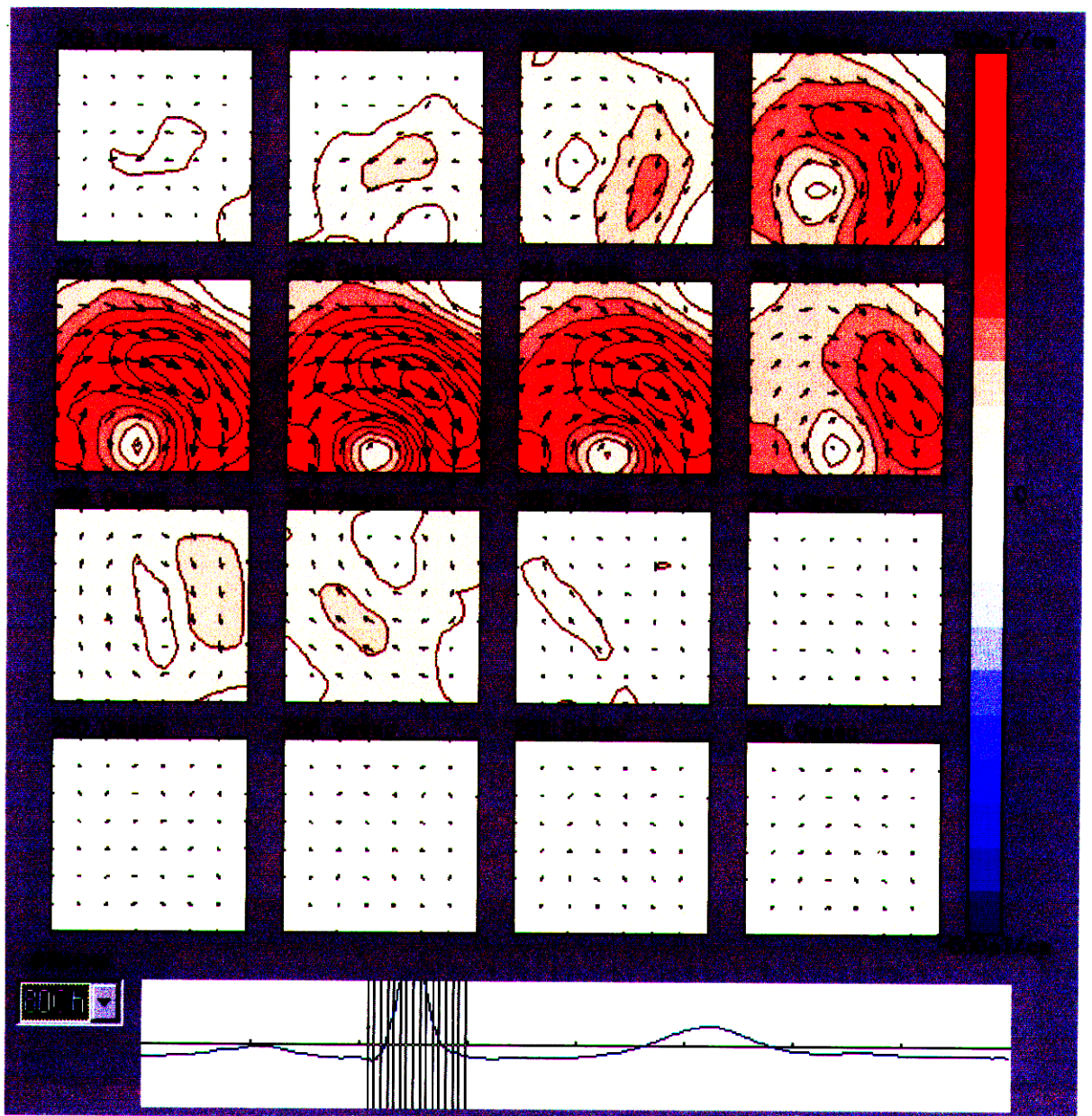


図5-5-B 僧帽弁閉鎖不全症例におけるQRSの時間帯のベクトルアローマップ
 左上より順に、6msec毎に表示した。

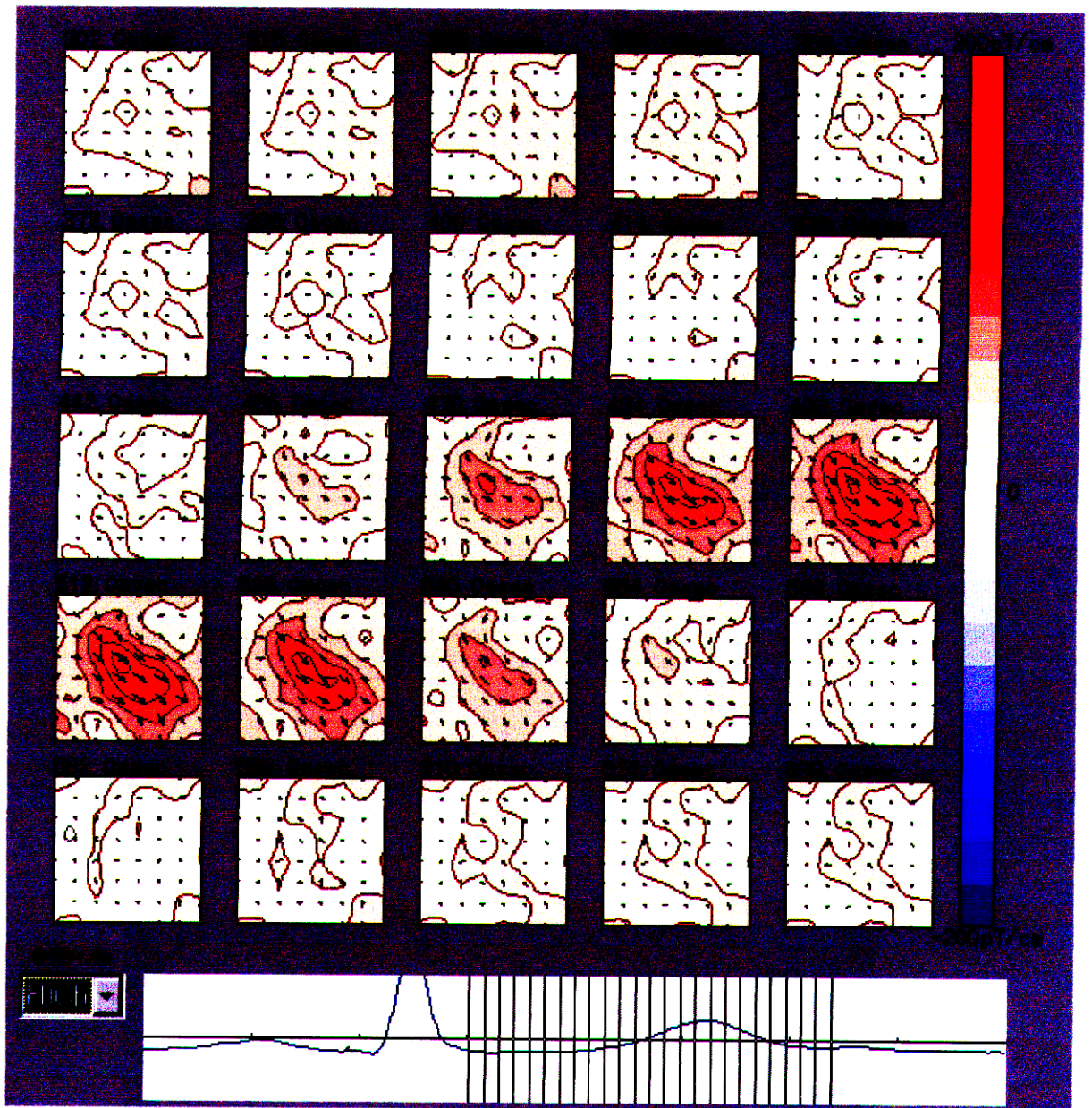


図5-5-C 僧帽弁閉鎖不全症例におけるST-Tの時間帯のベクトルアローマップ
 左上より順に、14msec毎に表示した。

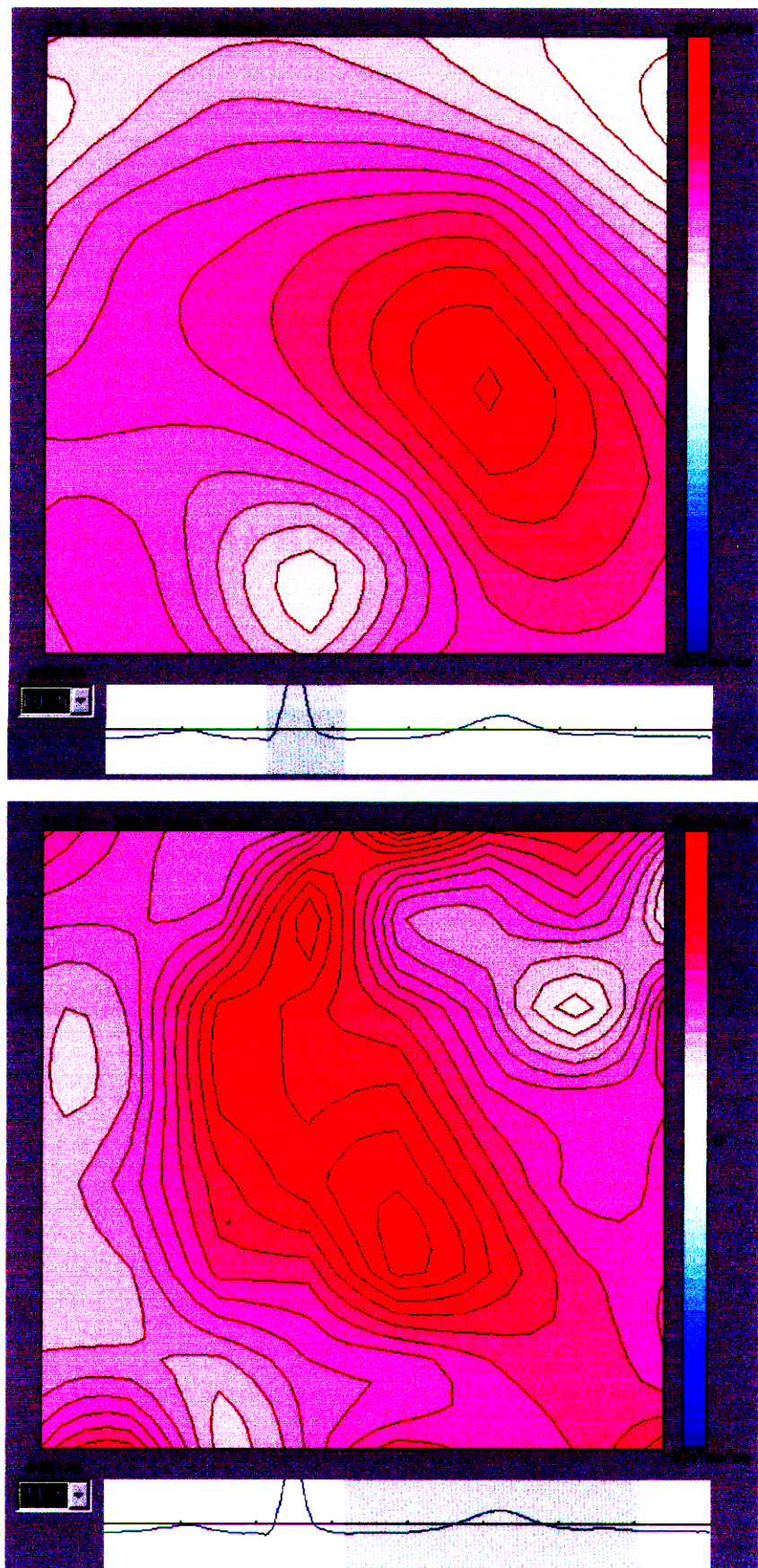


図5-5-D 僧帽弁閉鎖不全症例の等積分図
 上図： \int QRS図 下図： \int ST-T図

表 5-4 弁膜症疾患症例と健常者、虚血性心疾患症例の
積分値の比較

	n	(\int QRS) _{max} (pTms)	(\int ST-T) _{max} (pTms)	(\int ST-T) _{max} / (\int QRS) _{max}
健常者	25	15963.9 ± 7763.2	22456.9 ± 9620.3	1.49 ± 0.37
虚血性心疾患症例	25	10957.7 ± 5143.7	11160.4 ± 6364.1	1.07 ± 0.39
大動脈弁疾患症例	4	25060.1 ± 4477.5	25167.9 ± 11056.7	0.97 ± 0.28
僧房弁疾患症例	4	11030.5 ± 3265.8	12578.6 ± 2989.0	1.18 ± 0.31

表 5-5-1 AS 症例の最大積分値と心臓超音波検査所見

	MeanPG (mmHg)	IVST (mm)	PWT (mm)	(∫ QRS) _{max} (pTms)	(∫ ST-T) _{max} (pTms)
AS 症例 1	121	16	16	30361.5	38230.2
AS 症例 2	80	16	16	25060.1	25167.9
AS 症例 3	80	21	17	19506.3	13556.6

表 5-5-2 MR 症例の最大積分値と心臓超音波検査所見

	LVDd/LVDs	IVST (mm)	PWT (mm)	(∫ QRS) _{max} (pTms)	(∫ ST-T) _{max} (pTms)
MR 症例 1	54/42	10	7	8220.7	8591.8
MR 症例 2	60/35	10	9	15467.3	14992.4
MR 症例 3	71/53	10	9	8973.5	14751.6