

# Mモードカラー組織ドプラ法を用いた早期興奮モデルおよびWolff-Parkinson-White症候群における心室最早期収縮部位の検出に関する検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/9402">http://hdl.handle.net/2297/9402</a>

# Mモードカラー組織ドプラ法を用いた早期興奮モデルおよび Wolff-Parkinson-White 症候群における 心室最早期収縮部位の検出に関する検討

金沢大学医学部医学科内科学第一講座 (主任: 小林健一教授)

長 井 英 夫

近年, Wolff-Parkinson-White (WPW) 症候群に対して高周波カテーテルを用いたカテーテル・アブレーション (ablation), すなわち心筋焼灼術が積極的にに行われるようになり, 術前に非侵襲的な方法で副伝導路の部位を正確に診断することが重要となっている. 本研究では最近臨床応用されたMモード組織ドプラ法 (tissue Doppler imaging, TDI) を用いて, 人工的に作成した早期興奮モデルにおける最早期収縮部位の検出を試み, さらにWPW症候群例においてカテーテル・アブレーションにより副伝導路の離断に成功した部位を副伝導路局在部位とみなし, MモードTDIにより同定した最早期収縮部位と比較検討した. 12例の右房・左室僧帽弁輪部連続刺激による早期興奮モデルおよび13例のWPW症候群 (左室自由壁例9例, 右室および中隔例4例) において僧帽弁輪部および三尖弁輪部のMモードTDIを記録した. 早期興奮モデルにおいて心電図上の僧帽弁輪部刺激スパイク波を基準に収縮開始までの時間を計測したところ, 全例で弁輪部刺激部位でスパイク波から収縮開始までの時間が最短であり, 最早期収縮部位が明瞭に同定された. WPW症候群においては, 心電図上のδ波ないしR波を基準に収縮開始までの時間を計測し最早期収縮部位を同定した. 左室自由壁に副伝導路を有する9例では6例でTDIで同定した最早期収縮部位とアブレーション部位が一致し, 3例では最早期収縮部位とみなされた部位はアブレーション部位の隣接区域であった. 右室・中隔例4例では完全一致例はなく, 3例が隣接区域, 1例が不一致であった. 左室自由壁例に比し, 右室・中隔例では一致率が低い傾向にあった ( $p=0.05$ ). 12誘導心電図, 体表面心電図を用いた部位診断との比較では, TDIによる部位診断はこれらの方法と同等の検出力であった. 以上より, WPW症候群における副伝導路の部位診断としてMモードTDIは右室・中隔例に対しては限界があるものの, 左室自由壁例に対しては有用である可能性が示唆された.

**Key words** accessory pathway, catheter ablation, echocardiography, tissue Doppler imaging, Wolff-Parkinson-White syndrome

Wolff-Parkinson-White (WPW) 症候群は, 発作性頻拍を伴い, 心電図上PQ短縮, 機能的脚ブロックを認めた若年健常例として1930年Wolffら<sup>1)</sup>によって初めて報告された. 本症候群は心房心室間に正常房室伝導路以外に副伝導路が存在することによるもので, 副伝導路を介したリエントリー性の頻拍をしばしば合併する<sup>2)</sup>. 副伝導路の順行性不応期が短い症例に心房細動・粗動を合併した場合には致死的な心室細動に移行する可能性がある. このような症例に対しては外科的に副伝導路を切断する方法が行われていたが<sup>3) 4)</sup>, 近年, カテーテル・アブレーション (ablation), すなわち心筋焼灼術が行われるようになった. 特に高周波通電を用いたカテーテル・アブレーションは安全かつ高い成功率のため, 致死性ではないが日常生活を損なうような発作性頻拍を伴うWPW症候群に対しても積極的に施行されるようになってきている<sup>5) 6)</sup>. カテーテル・アブレーションを成功させるためには副伝導路の正確な部位診断が重要であり, 非侵襲的な方法として12誘導心電図<sup>7) 17)</sup>, ベクトル心電図<sup>18) 21)</sup>,

体表面心電図<sup>22) 24)</sup>を用いる方法が報告されている. また画像診断による方法として, 心プールシンチグラフィ<sup>25) 28)</sup>や心エコー図法<sup>29) 30)</sup>により副伝導路部位を推定する方法が知られている. 心エコー図による方法としては, Mモード法<sup>29) 33)</sup>, デジタル断層心エコー図法 (digital 2-dimensional imaging)<sup>34)</sup>, 経食道断層心エコーを用いた位相解析法 (transesophageal 2-dimensional phase analysis)<sup>35) 36)</sup>が報告されているが, いずれも臨床応用する上で問題点を残している.

近年, 新しい心エコー図による左室壁運動の評価方法としてカラー組織ドプラ法 (tissue Doppler imaging, TDI) が注目されている<sup>37) 38)</sup>. この方法は心腔内の血流の表示方法として利用されていたカラードプラ法を応用したものである. 一般に心腔内の血流は信号強度は弱い, 速度が速い信号として捉えられる. 一方, 左室壁運動は信号強度は強い, 速度の遅い信号として捉えられる. TDIでは血流に由来する弱い信号を除去することで左室壁運動のみをカラー表示することが可能である<sup>38)</sup>. この

平成10年12月7日受付, 平成11年1月22日受理

Abbreviations: F, french; TDI, tissue Doppler imaging; TI/QRS, time interval/QRS width ratio; WPW, Wolff-Parkinson-White

表示方法により左室後壁の収縮運動は探触子に近づく赤、拡張運動は探触子から遠ざかる青に表示され、逆に心室中隔の収縮運動は青、拡張運動は赤に表示される。したがって、TDIでは左室後壁の収縮運動の開始を拡張運動の青ないしはTDIで検出される速度以下の遅い運動を意味する無色から収縮運動の赤に変わる時点として認識することができる。この原理を用い、最も早期に収縮運動を開始する部位を検出することでWPW症候群の副伝導路の部位を推定することができる可能性がある。

そこで今回、WPW症候群の早期収縮部位の検出方法として、時間分解能に優れたMモードTDIが有用であるか否かを明らかにするために以下の検討を行った。まず第1に健常者を対象にMモードTDIの時間計測の再現性について検討し、第2に右心房・左室僧帽弁輪部を連続刺激し、融合波を作成することでWPW症候群に類似した早期興奮モデルを作成、このモデルでの左室収縮パターンを解析した。さらに第3に実際にカテーテル・アブレーションにより副伝導路の離断に成功したWPW症候群例において、TDIにより同定した最早期収縮部位、12誘導心電図および体表心電図による副伝導路の部位診断とアブレーション施行部位を比較検討した。

### 対象および方法

#### I. MモードTDIによる時間計測の再現性の評価

良好な心エコー像が記録される若年健常男性10例(年齢24～30歳、平均26歳)を対象とした。全例、病歴および身体所見上心疾患、高血圧はみられなかった。MモードTDIは後述の方法に従って傍胸骨アプローチで前壁中隔、左室後壁、側壁、後中隔で記録した。再現性の評価は検者1、検者2が独立して記録し、検者1、2の計測値を比較して観察者間変動を、検者1が同一の対象を2回にわたり記録し、1回目と2回目の計測値を比較して観察者内変動を評価した。

#### II. 早期興奮モデルにおける検討

##### 1. 対象

診断あるいは治療目的に右房、左室に電極カテーテルを挿入した不整脈患者15例で早期興奮モデルの作成が可能であった。このうち3例では良好な心エコー像が記録できなかったため除外し、男性9例、女性3例の12例(年齢18～72歳、平均45歳)を対象とした。3例は症候性の心室期外収縮があり、心室頻拍の除外目的に、6例は発作性頻拍を伴うWPW症候群、2例は房室結節リエントリー性頻拍、1例は房室回帰性頻拍のために電気生理学的検査を施行した。WPW症候群および房室結節リエントリー性頻拍、房室回帰性頻拍の症例は高周波カテーテル・アブレーションに成功し、頻拍が誘発されなくなった後に融合波作成を行った。いずれの症例も融合波作成前の心エコー図検査で左室壁運動異常はみられず、電気生理学的検査で正常房室伝導を示した。なお、房室伝導や左室壁運動に影響すると考えられる抗不整脈薬、カルシウム拮抗薬(ベラパミル、ジルチアゼム)、β遮断薬は少なくとも電気生理学的検査の3日前から中止した。全症例において検査施行前に文書により電気生理学的検査に対する同意を得た。

##### 2. 早期興奮モデルの作成

右房・左室僧帽弁輪部を連続刺激することで融合波を作成し、WPW症候群に類似した早期興奮モデルを作成した。まず、大腿静脈から挿入した2フレンチ(french, F)ないし6Fの電極

カテーテルを高位右房に、大腿動脈から逆行性に左室内に挿入した6Fないし8Fの方向可変型電極カテーテルを反転させて僧帽弁輪に留置した。左室内に挿入した電極カテーテルは、X線透視下(右前斜位30度、左前斜位60度)で確認しながら電気生理学的検査に熟練した同一の術者により、僧帽弁輪に沿って左室側壁、後壁、後中隔に順不同に固定した。融合波は高位右房を洞調律よりも速い80～100回/分で刺激し、80ミリ秒の房室間隔を置いて僧帽弁輪部を連続的に刺激することで作成した。融合波作成中は心電図(II, V1誘導)を連続的にモニターし、血圧は自動血圧計BP-8800S(日本コーリン、東京)を用い5分間隔で測定した。

##### 3. MモードTDIの記録方法

MモードTDIは超音波装置Toshiba SSA 380A(東芝メディカル、東京)を使用し、中心周波数帯3.75MHzの探触子を用いて記録した。記録中の繰り返し周波数は4.5KHzと一定にした。被検者を仰臥位または30～40度の左側臥位とし、胸骨左縁第3ないし第4肋間で心基部レベルの左室短軸像を描出した。Mモードカーソルを図1に示すように前壁中隔・後壁(0時・6時の位置)、側壁(4時の位置)、後中隔(8時の位置)に置いてそれぞれの部位のMモードTDIを心電図(II誘導)と同時記録した。記録中は呼吸による心臓全体の動きを小さくするために可能な限り呼吸を保持させた。左室側壁、後中隔の記録が不良な場合には心尖部からの記録を追加した。すなわち心尖部2腔像から後中隔、4腔像から側壁の弁輪部のMモード像を記録した。以上の記録は全症例を通じて同一検者が行った。記録したMモード像は超音波装置の画面上に固定させ、洞調律時には心電図上のQRS波の立ち上がりから左室収縮運動の開始までの時間を、融合波作成時には僧帽弁輪部刺激のスパイク波から左室収縮運動の開始までの時間を計測した。この際左室収縮運動の開始は、左室後壁では拡張運動の青ないし速度の遅い無色から収縮運動の赤に反転する時点(initial color shift)とした。なお、本装置に内蔵される計測システムでは最小2ミリ秒の計測が可能である。時間計測は3心拍以上で計測し、その平均値を解析に用いた。また症例ごとのQRS幅の違いを補正するため、取

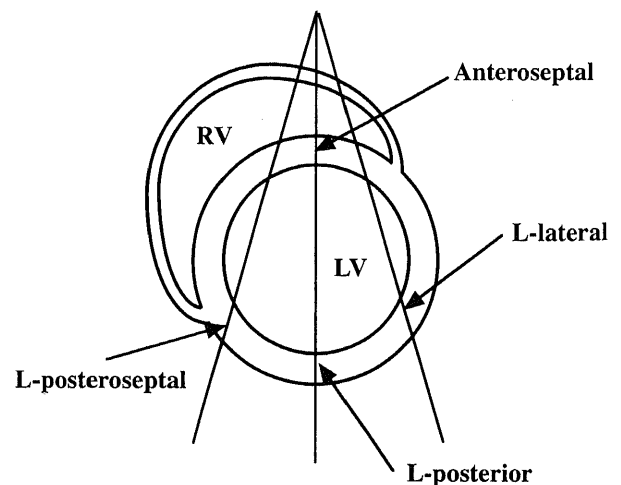


Fig. 1. TDI recording sites in preexcitation models. Schematic drawing of a parasternal short-axis 2-dimensional image demonstrates 4 recording sites of the M-mode TDI. L, left; LV, left ventricle; RV, right ventricle.

縮運動開始までの時間をQRS幅で除した値 (time interval/QRS width ratio, TI/QRS) を算出した。

### Ⅲ. WPW症候群での検討

#### 1. 対象

12誘導心電図で $\delta$ 波がみられる顕性WPW症候群で発作性頻拍を伴い高周波カテーテル・アブレーションにより副伝導路の離断に成功した連続13症例 (男性9例, 女性4例; 年齢15~68歳, 平均37歳) を対象とした。いずれの症例も心エコー図検査で左室壁運動異常はみられず, 冠動脈疾患, 心筋疾患, エプスタイン奇形などの合併はみられなかった。全例で術前に文書により電気生理学的検査およびカテーテル・アブレーションに対する同意を得た。またカテーテル・アブレーションに伴う合併症はいずれの症例でもみられなかった。

#### 2. 高周波カテーテル・アブレーション

カテーテル・アブレーションは抗不整脈薬, カルシウム拮抗薬 (ベラパミル, ジルチアゼム),  $\beta$ 遮断薬を少なくとも3日前から中止した後に行った。まず, 大腿静脈から局所麻酔下に3本の2Fないし6Fの4極電極カテーテルを挿入し, 高位右房, ヒス束領域, 右室心尖部に留置した。次いで右内頸静脈ないし左鎖骨下静脈から6Fの4極または10極電極カテーテルを冠状静脈洞に挿入し, プログラム電気刺激を行った。洞調律または心房刺激時には冠状静脈洞内多極カテーテルで記録した心房電位と心室電位が最短となる電極の位置, 心室刺激時または副伝導路を逆行する房室回帰性頻拍時には心室電位と心房電位が最短となる電極の位置を同定した。次に冠状静脈洞で最短間隔の電位の記録された位置を指標に, 先端に温度センサーを有する8FのBlazer Ablation Catheter (EP Technologies Inc, Sunnyvale, USA) を左室自由壁例では大腿動脈から逆行性に左室内に挿入し, 弁下アプローチで僧帽弁輪部に固定した。右室自由壁例, 心室中隔例では大腿静脈から順行性に右房内にカテーテルを挿入し, 弁上アプローチで三尖弁輪部に固定した。アブレーション用カテーテルの位置をX線透視下で確認しながら, カテーテル・アブレーションに熟練した同一の術者により僧帽弁輪, 三尖弁輪に沿ってカテーテル先端の電位を記録した。至適電位は先端電位の記録において洞調律または心房刺激時に心房電位と心室電位の最短となる部位, 心室刺激時または副伝導路を逆行する房室回帰性頻拍時に心室電位と心房電位の最短となる部位, 心房電位と心室電位の間にスパイク状のセント東電位の記録される部位のいずれかの条件を満たす部位とした。高周波通電はEPT-1000 Cardiac Ablation Controller (EP Technologies Inc) を使用し, アブレーション用カテーテルの先端温度が60℃となるように設定して行った。副伝導路の焼灼に成功した部位で右前斜位像 (30度), 左前斜位像 (60度) を撮影し, 2名以上の心臓カテーテル検査に熟練した医師によりカテーテル位置を左室5区域 (前側壁, 側壁, 後側壁, 後壁, 後中隔), 心室中隔2区域 (前中隔, 中部中隔), 右室4区域 (前壁, 側壁, 後壁, 後中隔) の計11区域に分類した。

#### 3. MモードTDIの記録方法

MモードTDIの記録はカテーテル・アブレーション施行前1週間の間に行った。前述の装置を使用し, 中心周波数帯2.5ないし3.75MHzの探触子を用いて記録し, 記録中の繰り返し周波数は4.5KHzと一定にした。被検者を30~90度の左側臥位とし, まず傍胸骨アプローチから図2に示すように心基部レベルの前

壁中隔, 左室後壁, 左室側壁, 左室後中隔, 右室後中隔でカラーMモード像を記録した。次に心尖部アプローチから3つの断面での断層図を描出し, 長軸像から長軸像中部中隔, 左室後側壁, 2腔像から左室前側壁, 左室後中隔, 4腔像から左室側壁, 4腔像中部中隔, 右室側壁の弁輪部レベルのカラーMモード像を記録した (図2)。記録したMモード像は前述のように超音波装置の画面上に固定させ, 心電図上の $\delta$ 波の立ち上がりから収縮開始までの時間を計測し, 最も早期に収縮の開始する部位を同定した。 $\delta$ 波の立ち上がりが不鮮明な場合は, R波から収縮開始までの時間を計測し, 最も早期に収縮の開始する部位を同定した。カテーテル・アブレーションによる副伝導路の離断に成功した部位を副伝導路局在部位とみなし, TDIで検出した再早期収縮部位と比較した。

#### 4. 12誘導心電図, 体表面心電図による部位診断

アブレーション施行前1週間以内に全例で12誘導心電図, 体表面心電図を記録した。12誘導心電図による部位診断としては副伝導路部位を8区域以上に細かく分類してあるGallagherら<sup>2)</sup>, Iwaら<sup>4)</sup>, Chiangら<sup>17)</sup>の方法に従い判定した。体表面心電図はHPM-7100 (フクダ電子, 東京) またはVCM-3000 (フクダ電子) を用いて体表面の87誘導点から記録し, QRS等電位図を作成した<sup>39)</sup>。副伝導路の部位診断はIwaら<sup>23)</sup>の時間法とKamakuraら<sup>24)</sup>の電位法を併用して行った<sup>40)</sup>。すなわち極小電位が $-0.15\text{mV}$ 以上となる時点がQRSの立ち上がりから40ミリ秒未満の場合は, 極小電位が $-0.15\text{mV}$ となる時点の極小位置 (電位法), 極小電位が $-0.15\text{mV}$ 以上となる時点が40ミリ秒以降の場合は40ミリ秒での極小位置 (時間法) とした。これらの12誘導心電図, 体表面心電図により判定した副伝導路部位は, 前述した11区域に対応させ, 部位診断とアブレーション施行部位とを比較した。

### Ⅳ. 統計学的検討

結果は記述のない限り平均±標準誤差で示した。早期興奮モデルにおける検討では, 洞調律時と融合波作成時のQRS幅の

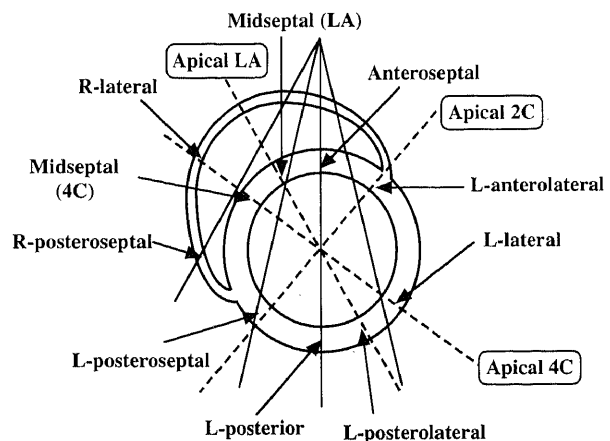


Fig. 2. TDI recording sites in WPW syndrome. Schematic drawing of a parasternal short-axis 2-dimensional image demonstrates 10 recording sites of the M-mode TDI. Solid lines denote M-mode cursor positions in the parasternal short-axis view, and dashed lines indicate imaging planes in the apical long-axis, 2-chamber and 4-chamber views. 2C, 2-chamber view; 4C, 4-chamber view; LA, long-axis view; L, left; R, right.

比較は一元配置分散分析を用いて、また左室壁4か所のTDI記録部位での収縮開始までの時間、TI/QRSの比較はFriedman検定を用いて検定した。WPW症候群における検討では、TDIによる左室例と右室・中隔例の部位診断の比較、各種診断方法による部位診断の比較は $\chi^2$ 検定またはFisherの直接確率計算法を用いて検定した。いずれも $p < 0.05$ を統計学的に有意差ありと

した。

### 成 績

#### I. MモードTDIによる時間計測の再現性

検者1と検者2による計測値は $r=0.96$ と良好な相関関係を示した(図3)。検者1, 2の計測値の差は $1.3 \pm 4.2$ ミリ秒( $\bar{X} \pm$

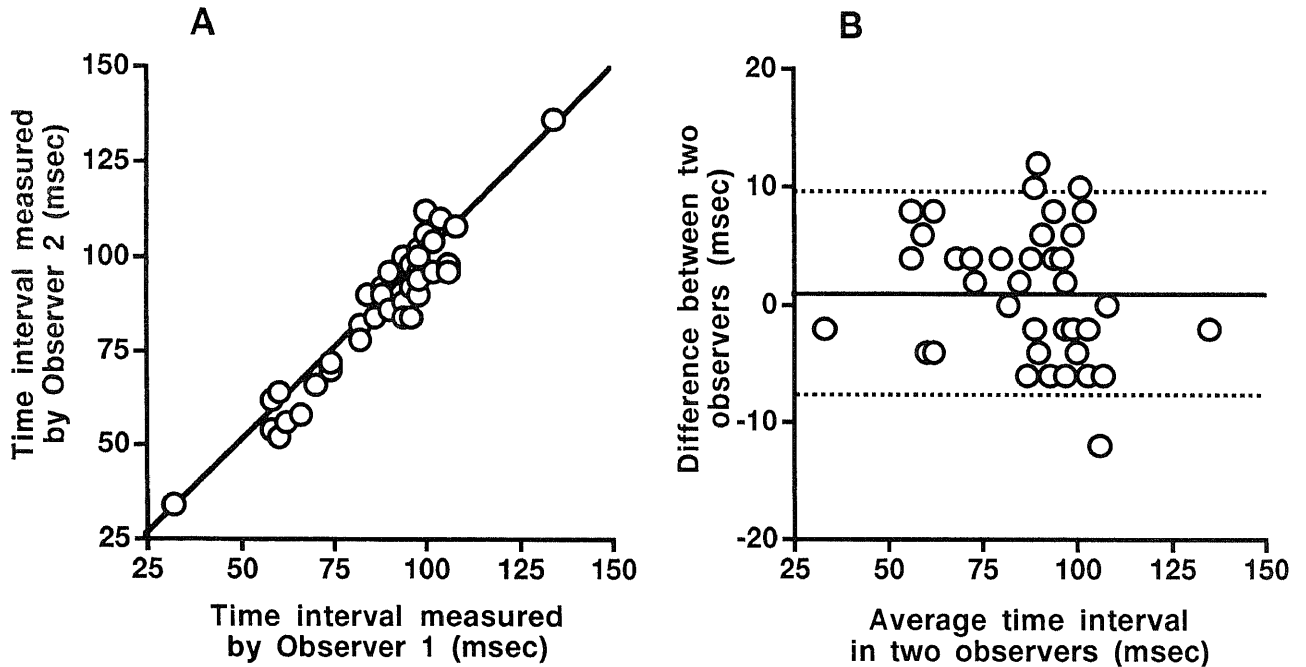


Fig. 3. Interobserver variability of time measurements in M-mode TDI. (A) The correlation between the time intervals measured by Observer 1 and Observer 2 is excellent ( $y=1.02x-2.73$ ,  $r=0.96$ ,  $n=40$ ,  $p<0.0001$ ). (B) Difference between the time intervals measured by Observer 1 and Observer 2 plotted against the average time interval measured in two observers. Solid line denotes mean value of the difference between two observers, and dashed lines indicate mean value  $\pm 2SD$  of the difference.

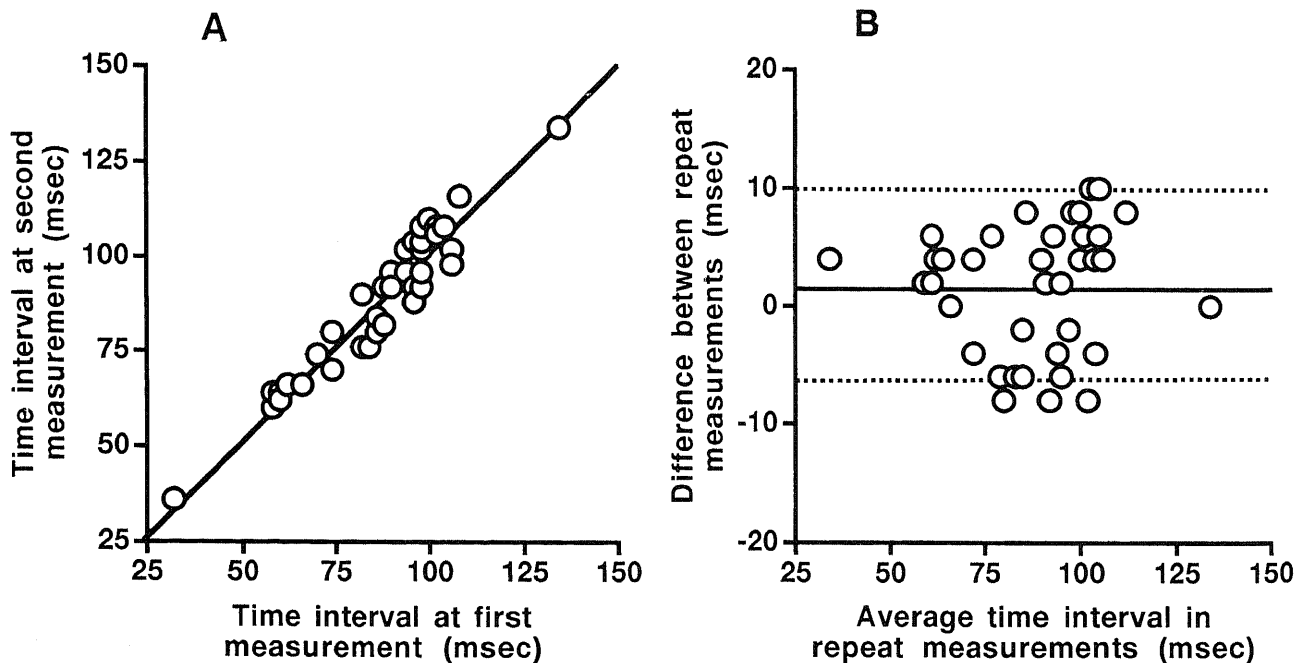


Fig. 4. Intraobserver variability of time measurements in M-mode TDI. (A) The correlation between time intervals at first and second measurements by the same observer is excellent ( $y=0.98x+3.33$ ,  $r=0.96$ ,  $n=40$ ,  $p<0.0001$ ). (B) Difference between the time interval at the first and second measurements plotted against the average time interval at the first and second measurements. Solid line denotes mean value of the difference between repeat measurements, and dashed lines indicate mean value  $\pm 2SD$  of the difference.

SD) であり、観察者間変動は8%以下であった。検者1による1回目と2回目の計測値も  $r=0.96$  と良好な相関関係にあった(図4)。検者1の1回目と2回目の計測値の差は  $1.2 \pm 3.9$  ミリ秒 ( $\bar{x} \pm SD$ ) であり、観察者内変動は8%以下であった。

II. 早期興奮モデルでの検討

1. 早期興奮モデルの作成

全例で高位右房と僧帽弁輪部側壁、後壁、後中隔の3か所で連続刺激を行い、それぞれ左室側壁、後壁、後中隔に単一の副伝導路を有するWPW症候群に類似した早期興奮モデルが作成された。図5に代表的な記録例を示す。図5Aでは左室内のカテーターは左室僧帽弁輪部側壁に固定されている。この部位で連続刺激を行うと図5Bのように左室側壁に副伝導路を有するWPW症候群に類似した融合波が得られた。洞調律時のQRS幅

は  $75.0 \pm 5.3$  ミリ秒であり、僧帽弁輪部側壁刺激時には  $135.5 \pm 7.9$  ミリ秒、後壁刺激時には  $145.0 \pm 6.4$  ミリ秒、後中隔刺激時には  $137.4 \pm 6.7$  ミリ秒へといずれも有意に延長した(それぞれ  $p < 0.0001$ )。

2. MモードTDIによる最早期収縮部位の同定

洞調律時および融合波作成時のMモードTDIの記録例を図6, 7に示す。図6に示した洞調律時には前壁中隔がQRSの立ち上がりから52~56ミリ秒の時点で収縮運動に移行しており、この部位が他の部位に比して早期に収縮に転じている(図6)。一方、右房・左室僧帽弁輪部側壁で連続刺激を行った場合には、側壁がスパイク波から92~96ミリ秒で最も早期に収縮に移行していることが識別される(図7)。洞調律時(平均心拍数  $76 \pm 6$  /分)のQRSの立ち上がりから収縮開始までの時間は前壁中隔  $21.6 \pm 4.6$  ミリ秒、後壁  $78.5 \pm 8.8$  ミリ秒、後中隔  $59.8 \pm 11.1$  ミ

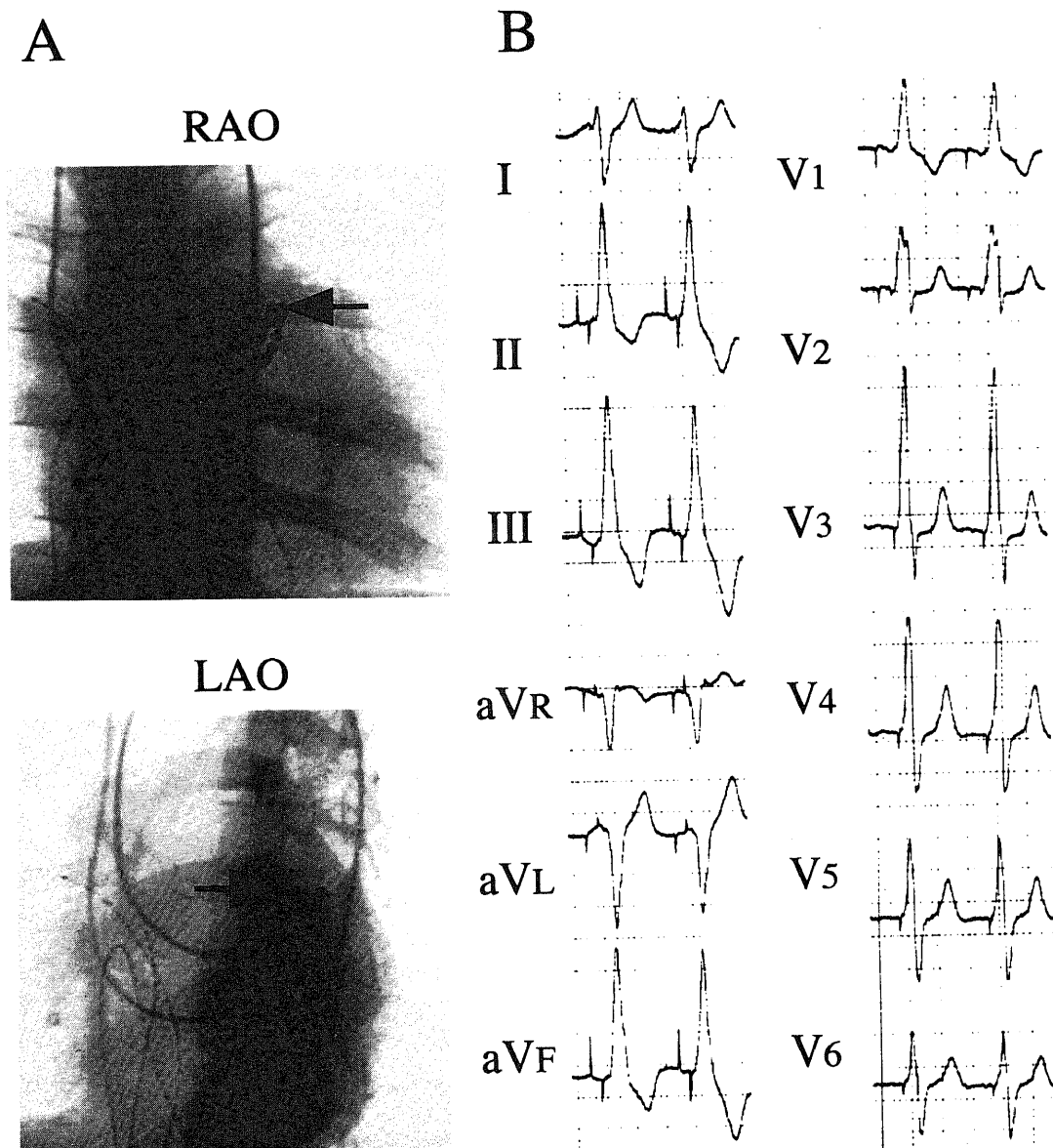


Fig. 5. Representative fluoroscopic images and electrocardiogram during fusion beats by right atrio-mitral annular lateral pacing. (A) The left ventricular pacing catheter (arrow) is positioned at a lateral site along the mitral annulus. (B) The electrocardiogram resembles WPW syndrome associated with a lateral single accessory pathway. LAO, left anterior oblique projection; RAO, right anterior oblique projection.

り秒, 側壁 $72.6 \pm 6.4$ ミリ秒であり, 前壁中隔が他の部位より有意に早く収縮に移行していた ( $p < 0.001$ , 表1). 左室側壁刺激ではスパイク波から収縮開始までの時間は前壁中隔 $117.8 \pm 11.7$ ミリ秒, 後壁 $89.7 \pm 4.4$ ミリ秒, 後中隔 $111.0 \pm 11.4$ ミリ秒, 側壁 $69.3 \pm 5.6$ ミリ秒であり, 側壁が最も早期に収縮に移行していた ( $p < 0.0001$ ). 同様に後壁刺激時には後壁が $76.6 \pm 2.6$ ミリ秒で, 後中隔刺激時には後中隔が $77.7 \pm 4.2$ ミリ秒でそれぞれ最も早期に収縮に移行していた (それぞれ $p < 0.001$ , 表1). 表2にそれぞれの条件で求めたTI/QRSを示す. QRS幅で補正した場合でも, 再早期収縮部位は洞調律時には前壁中隔, 左室側壁刺激時には側壁, 後壁刺激時には後壁, 後中隔刺激時には後中隔であった.

### Ⅲ. WPW症候群での検討

#### 1. MモードTDIによる最早期収縮部位の同定

WPW症候群の実例を示す. 図8は左室後壁での高周波通電により副伝導路の離断に成功した症例の傍胸骨アプローチによ

るMモード像である. 図8Aは従来のMモード像であるが,  $\delta$ 波に一致して左室後壁に収縮早期切痕 (early systolic notch) の形成がみられ, 左室後壁に最早期収縮部位が存在することが示唆される. 図8BはMモードTDIであるが,  $\delta$ 波の立ち上がり一致した切痕の部分は収縮運動の赤に表示され, 容易に識別可能であった. 心室中隔はこれより108ミリ秒遅れて収縮運動の青に表示されている. 図9には左室後側壁で副伝導路の離断に成功した症例のTDIを示す. 左室後側壁は $\delta$ 波の立ち上がりから44~48ミリ秒で収縮運動に移行するが, 側壁は52ミリ秒, 後壁は72ミリ秒でそれぞれ収縮運動に移行しており, 左室後側壁が最も早く収縮に移行している. 全症例のMモードTDIによる部位診断の結果を表3に示す. 13例中11例でMモードTDIによる計測から単一の最早期収縮部位を同定した. 2例では中部中隔と左室後中隔が同じ時相で収縮運動に移行していたため, 隣接するこの2区域を最早期収縮部位と判定した.

2. TDIによる部位診断とアブレーション施行部位との比較  
TDIによる部位診断をアブレーション施行部位と比較すると13

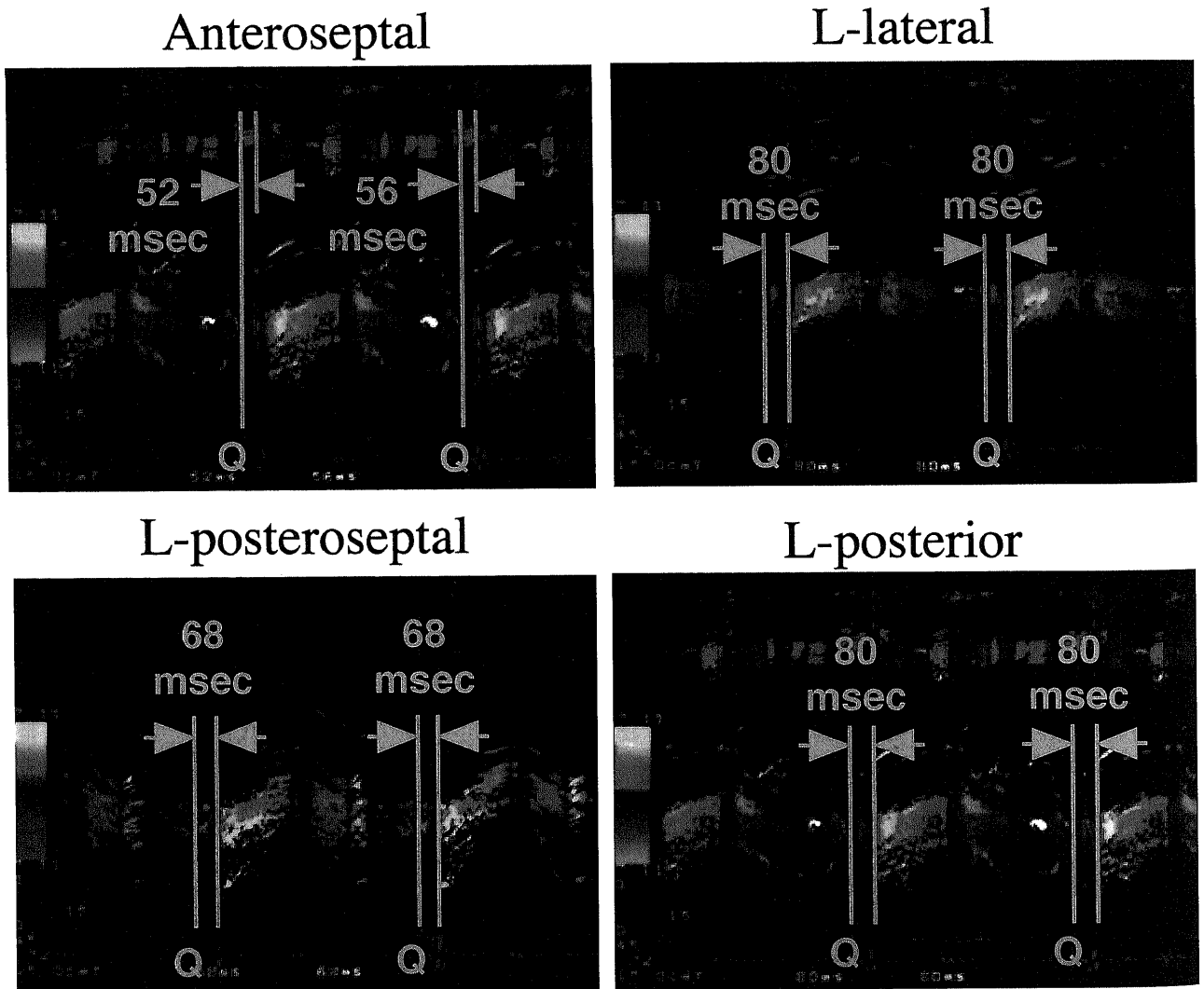


Fig. 6. Representative M-mode images during sinus rhythm. The time interval from the onset of the QRS complex to the beginning of the left ventricular systolic motion (initial color shift) is measured. The time interval at the anteroseptal wall is shortest. L, left; Q, the onset of the QRS complex.

例中6例で完全に一致し、6例で隣接区域と判定されたが、1例は2区域以上離れた部位で不一致と判定された。左室自由壁例9例では6例で一致し、3例が隣接区域と判定された。一方、右室・中隔例では完全一致はなく、隣接区域3例、不一致1例で

あった(表3)。以上よりTDI診断の一致率は、全例では完全一致は46%、隣接区域を含めた一致は92%、左室自由壁例に限ると完全一致は67%、隣接区域を含めた一致は100%であった。右室・中隔例での一致率は左室自由壁例に比し、低い傾向にあ

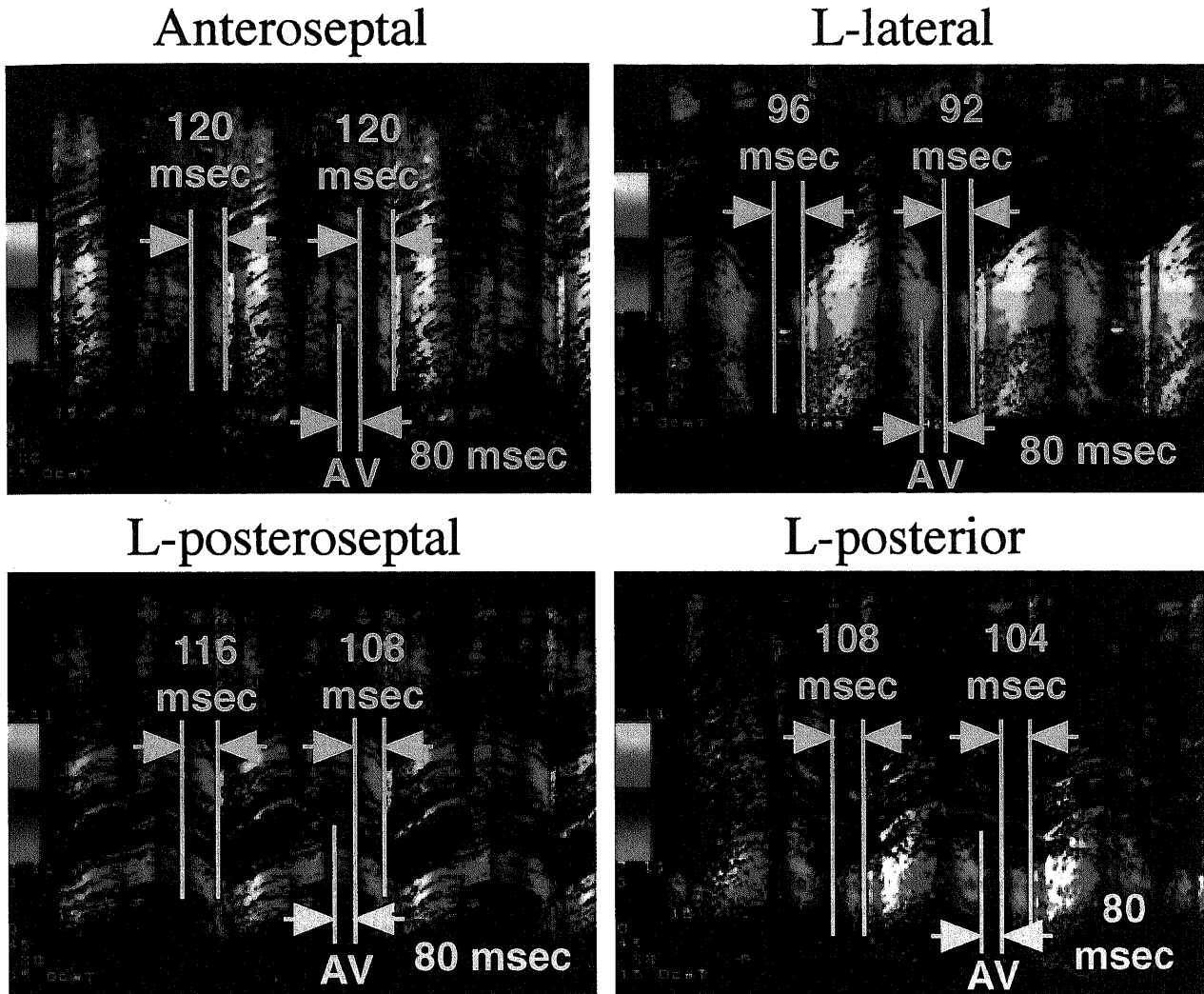


Fig. 7. Representative M-mode images during fusion beats by right atrio-mitral annular lateral pacing. The time interval from the mitral annular pacing spike to the beginning of the left ventricular systolic motion is measured. During this condition, the earliest contraction site is the left ventricular lateral site. A, right atrial pacing spike; L, left; V, left ventricular mitral annular pacing spike.

Table 1. Time interval measured with M-mode TDI

Pacing condition	M-mode TDI recording sites				P value*
	Anteroseptal	Posterior	Posteroseptal	Lateral	
Sinus rhythm	21.6 ± 4.6†	78.5 ± 8.8	59.8 ± 11.1	72.6 ± 6.4	<0.0001
Fusion beats					
Lateral	117.8 ± 11.7	89.7 ± 4.4	111.0 ± 11.4	69.3 ± 5.6†	<0.0001
Posterior	131.8 ± 11.0	76.6 ± 2.6†	102.6 ± 9.8	97.5 ± 8.7	<0.001
Posteroseptal	105.9 ± 12.1	93.8 ± 10.1	77.7 ± 4.2†	106.7 ± 10.5	<0.001

Values are expressed as  $\bar{x} \pm \text{SEM}$  (in msec). Time intervals during sinus rhythm were measured from the onset of the QRS complex to the beginning of the left ventricular systolic motion. Time intervals during fusion beats were measured from the mitral annular pacing spike to the beginning of the left ventricular systolic motion. \*Comparisons among 4 recording sites with the Friedman's test; †, earliest contraction site.



Table 2. Time interval to systolic motion to QRS width ratio

Pacing condition	M-mode TDI recording sites				P value*
	Anteroseptal	Posterior	Posteroseptal	Lateral	
Sinus rhythm	0.31 ± 0.06†	1.09 ± 0.14	0.83 ± 0.18	1.02 ± 0.12	<0.0001
Fusion beats					
Lateral	0.87 ± 0.11	0.68 ± 0.05	0.86 ± 0.11	0.51 ± 0.05†	<0.0001
Posterior	0.92 ± 0.06	0.54 ± 0.03†	0.72 ± 0.07	0.68 ± 0.06	<0.001
Posteroseptal	0.80 ± 0.09	0.69 ± 0.07	0.58 ± 0.04†	0.79 ± 0.08	<0.001

Values are expressed as  $\bar{x} \pm \text{SEM}$ . \*Comparisons among 4 recording sites with the Friedman's test; †, earliest contraction site.

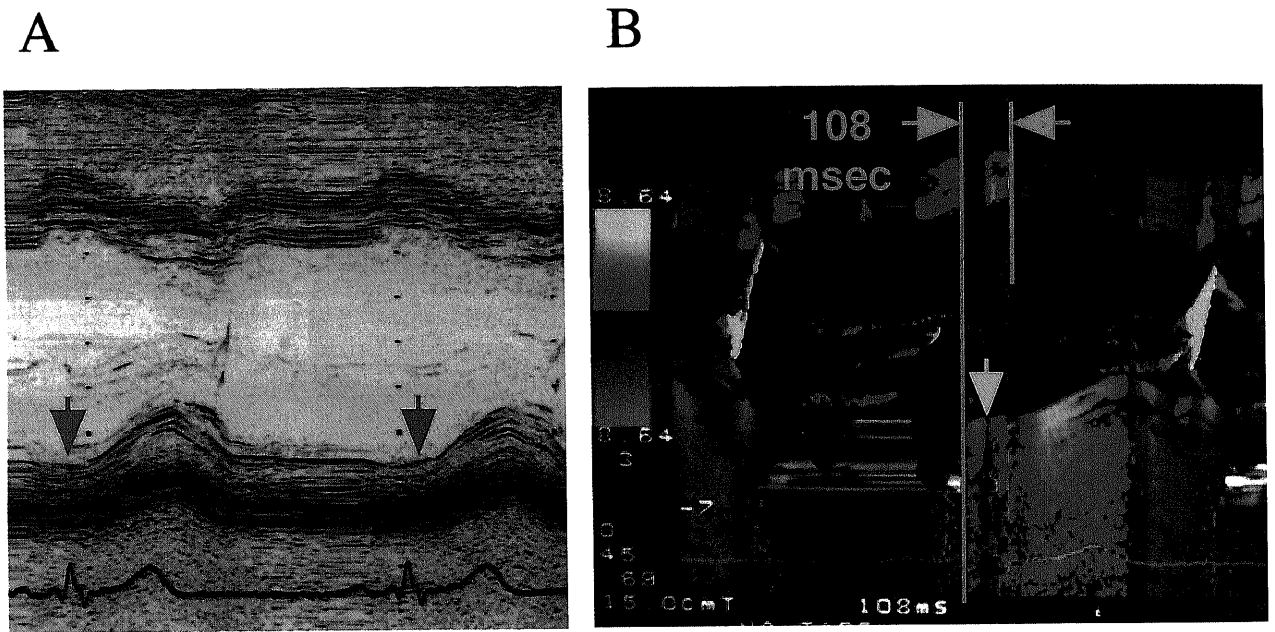


Fig. 8. M-mode images in a WPW patients with a left posterior pathway. (A) Conventional M-mode image shows a fine early systolic notch (red arrows) in the left ventricular posterior wall at time just after the  $\delta$  wave. (B) Using M-mode TDI, this fine notch can be easily recognized as a red forward motion (yellow arrow). Time interval from the onset of the  $\delta$  wave to the beginning of systolic motion is 0 msec at the posterior wall, whereas that is 108 msec at the anteroseptal wall.

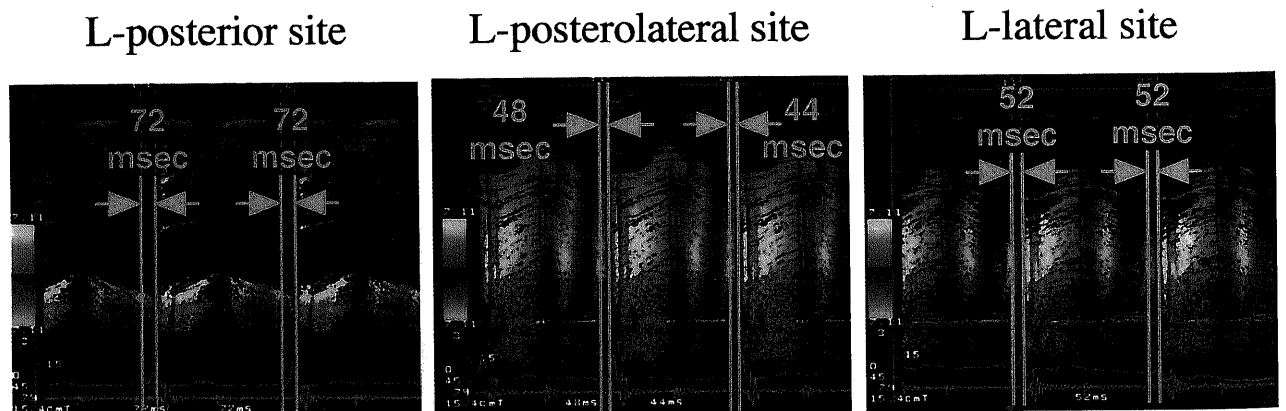


Fig. 9. M-mode TDI from a WPW patient with a left posterolateral pathway. Time interval from the onset of the  $\delta$  wave to the beginning of systolic motion is 72 msec at the left posterior wall, 44 to 48 msec at the left posterolateral wall, and 52 msec at the left lateral wall. Earliest contraction site is the posterolateral site suggesting that the accessory pathway presents in this area. L, left.

Table 3. Accessory pathway localization in patients with WPW syndrome

Case No	Age (year) Gender	Catheter ablation site	ECG criteria*						Body surface mapping	M-mode TDI		
			Gallagher		Iwa		Chiang					
1	15F	L-L	L-L	○	L-L	○	L-AL/L-L	○	L-L	○	L-L	○
2	68M	L-L	L-L	○	L-L	○	L-AL/L-L	○	L-L	○	L-L	○
3	28M	L-PL	L-L	△	L-L	△	L-AL/L-L	△	L-L	△	L-PL	○
4	35M	L-PL	L-L	△	L-L	△	L-AL/L-L	△	L-L	△	L-PL	○
5	31M	L-PL	L-AL	×	L-L	△	L-AL/L-L	△	L-PL	○	L-L	△
6	35M	L-PL	L-PS	×	L-P	△	R-L	×	L-P	△	L-P	△
7	47F	L-PL	L-PS	×	L-P	△	L-PL/L-P	△	L-PL	○	L-L	△
8	50M	L-P	L-PS	△	L-P	○	L-PL/L-P	○	L-P	○	L-P	○
9	37M	L-P	L-P	○	L-P	○	R-AL	×	L-P	○	L-P	○
10	21F	R-PS	L-PS	△	L-P	×	L-PS	△	L-PS	△	MS/L-PS	△
11	46F	R-PS	R-P	△	R-L	×	R-PS	○	L-PS	△	MS	△
12	35M	R-PS	R-P	△	R-PS	○	R-PS	○	R-PS	○	MS/L-PS	△
13	23M	R-L	R-PS	×	R-L	△	R-L	○	R-P	△	R-PS	×

○, correct localization; △, judged as an adjacent region; ×, incorrect localization; ECG, electrocardiogram; F, female; M, male; L-AL, left anterolateral; L-L, left lateral; L-PL, left posterolateral; L-P, left posterior; L-PS, left posteroseptal; MS, midseptal; R-AL, right anterolateral; R-L, right lateral; R-P, right posterior; R-PS, right posteroseptal. \*ECG criteria of Gallagher, Iwa and Chiang are from references 2, 4 and 17, respectively.

った ( $p=0.05$ ).

### 3. 他の部位診断方法との比較 (表3)

副伝導路局在部位を8区域以上に細かく分類した3つの12誘導心電図による部位診断とアブレーション施行部位を比較すると完全一致、隣接区域を含めた一致はそれぞれGallagherらの方法では23%, 77%, Iwaらの方法では46%, 85%, Chiangらの方法では46%, 85%であった。体表面心電図では左室自由壁例9例では6例が完全一致、3例が隣接区域、右室・中隔例では1例が完全一致、3例が隣接区域であり、完全一致は54%、隣接区域を含めた一致は100%であった。これらの部位診断とTDIによる部位診断の一致率は同等であった。

## 考 察

本研究により、MモードTDI上での時間計測は再現性に優れていること、MモードTDIは人工的に作成した早期興奮モデルの左室収縮パターンの違いを明瞭に識別できること、WPW症候群の副伝導路の部位診断方法として12誘導心電図、体表面心電図による部位診断と同等の検出能を有するが、右室・中隔副伝導路の検出には限界があることが明らかとなった。

心エコー図法によるWPW症候群の副伝導路の部位診断方法としては、Mモード法<sup>29-33)</sup>、デジタル断層心エコー図法<sup>34)</sup>、経食道断層心エコーを用いた位相解析法<sup>35)36)</sup>が報告されている。従来のMモード法はサンプリングレートが速く時間分解能に優れており、心腔内構造物の速い動きを捉えることが可能である。しかし、記録された画像はMモードカーソル上の運動しか評価できないため、副伝導路が左右心室のいずれにあるかを識別するのみであり、治療に結びつくような詳細な部位診断は困難であった<sup>29)~33)</sup>。2次元像を併用してMモード像を記録した場合、Mモード像単独に比して多くの部位の壁運動を記録することが可能であるが、収縮早期の微細な壁運動を検出するためには心内膜エコーの欠落していない質の高い記録が要求される。Windleら<sup>34)</sup>は、イヌの早期興奮モデルおよびWPW症

候群の臨床例においてデジタル断層心エコー図法を用いて最早期興奮部位の検出を試みている。この方法は17ミリ秒ごとに記録した左室短軸像の心内膜面を手動的にトレースし、デジタル情報に変換し最も早期に心腔内へ内方運動を示す部位を捉えようとするものである。この方法では収集された情報が17ミリ秒ごとであり、 $\delta$ 波の開始から20~60ミリ秒でみられる微細な収縮運動を検出するには時間分解能の点で劣っている。また、フレームごとのオフライン解析であり時間を要すること、最早期興奮部位の同定が主観的、視覚的に評価されることも欠点と思われる。Kuechererら<sup>35)36)</sup>は、経食道断層心エコーを用いた位相解析法により副伝導路の部位診断を試みている。この方法は経食道心エコーで得られた2次元像から壁運動の情報をデジタル変換し、心筋の局所が心電図のR波を基準として心周期のどの時相で動いたかをカラー表示するものである。Windleら<sup>34)</sup>の方法に比較して、R波の直前に収縮を開始する部位を位相の違いから客観的に判定できること、画像取り込みから解析まで数分以内に行えることが利点とされている。しかし、良好な画像を得るために経食道アプローチが必要なこと、記録される2次元像のフレームレートが30~60Hzと制限されることが問題である。

本研究ではTDI法を用い早期興奮モデルおよびWPW症候群の最早期収縮部位の検出を試みたが、本法は従来の心エコー図法に比較して以下のような利点が考えられる。第1に、従来のMモード法では早期収縮運動の検出のために心内膜の欠落のない良好な記録が必要であったが、本法では心内膜が明瞭に記録されないような部位でも色調の反転する時相を収縮運動の開始として捉えることが可能である。第2に、サンプリングレートが4.5~6.0KHzと速く時間分解能に優れており、WPW症候群における微細な早期収縮運動の検出には適している。第3に、左室壁運動の速度、方向を装置上で速やかに解析できることであり、収縮運動の開始までの時間を計測し、最早期収縮部位を客観的に判定することが可能である。第4に、装置は市販の超音波装置であり、特別な解析装置を必要とせず、また装置は移

動可能であり、心臓カテーテル検査室においても解析が可能であることも利点である。最近、Nakayamaら<sup>41)</sup>は本研究で使用したものと同一規格の装置で、主に2次元像のTDIを用いて実際のWPW症候群で最早期収縮部位の検出が可能であることを報告している。しかし、2次元像では画像を構成するための時間を要し、フレームレートが20~30Hzと制限されているため、時間分解能の点では十分とは言えず、WPW症候群における早期収縮部位のような微細な壁運動の解析には時間分解能に優れたMモード法を併用するべきと考えられる。

本研究では、傍胸骨アプローチおよび心尖部アプローチからMモードTDIを記録し、色調の反転する時相を比較することで最も早期に収縮運動に転じる部位の検出を試みた。TDIで表示される速度は心筋の収縮と拡張による運動、心臓全体の上下運動(translation)と回旋運動(rotation)の総和として表される。通常心室中隔、後壁の回旋運動は5°を越えることはほとんどないとされており<sup>42)</sup>、TDIの速度表示に及ぼす回旋運動の影響は少ないものと考えられる。したがって、傍胸骨アプローチの場合、TDIの速度表示は主に心筋の動きと心臓全体の上下運動で規定される。左室後壁の場合、収縮期には両者とも探触子方向に向かう赤に表示される。心筋の収縮運動速度は心内膜側が心外膜側に比して大であり、TDI表示では心内膜側がより速い前方運動を表す明るい色調の赤で表示される。一方、心臓全体の上下運動では心筋全体が均一な速度で動くため、心内膜側、心外膜側とも同一の色調の赤で表示される。MモードTDIでは心内膜側の速度が心外膜側の速度より大であるか否かは容易に識別され<sup>38)</sup>、心臓全体の前方運動と心筋の収縮に伴う内方運動の鑑別は可能と思われる。前壁中隔の場合、TDI表示は探触子から遠ざかる心筋の収縮運動と心臓全体の前方運動の差として表示される。正常心では前者が大であるため、前壁中隔の収縮運動は青として表示される。したがってTDIで評価される収縮速度は前壁中隔では過小評価されるが、収縮開始点に関しては赤ないし無色から青へ色調の変化する時相として認識が可能である。傍胸骨アプローチで左室後中隔、側壁のMモードTDIを記録した場合、速度表示はドプラ角に影響される。本検討ではMモードカーソルは後中隔では8時の方向、側壁では4時の方向にあり、いずれもドプラ角は30°以内であった。これらの部位の収縮速度の大きさは過小に表示されるが、主たる運動方向成分は探触子に向かう運動である。したがって、ドプラ角が30°以内に保たれた状態であれば収縮運動の開始は青ないし無色から赤に反転する時相として捉えられる。

一方、心尖部アプローチでは左室僧帽弁輪部の収縮運動は心尖部に向かう運動として赤に表示される。左室のすべての部位は左室腔内の力学的中心に向かって収縮するとされる<sup>43)</sup>。この中心は心尖部と心基部を結んだ左室長軸上の心基部から69%、約3分の2の距離の位置にあるとされる。したがって、すべての心尖部からの左室僧帽弁輪部の収縮運動の記録では、収縮開始点を赤に反転する時相として捉えることが可能である。以上より、傍胸骨アプローチおよび心尖部アプローチ左室僧帽弁輪部の収縮運動の開始を検出することは妥当であると考えられる。

傍胸骨アプローチからのMモードカラーTDIでは心電図上のP波に続いて後壁では青から赤の、前壁中隔では赤から青の2相性の運動が記録される<sup>44)45)</sup>。この動きはパルスドプラ法を用いたTDIでも記録されており<sup>46)47)</sup>、心房収縮により左房から

左室に血液が流入することによって左室が受動的に拡張するために生じると考えられる。WPW症候群において最早期収縮部位を検出する場合、P波の直後の弁輪部(心基部)の壁運動を解析することが必要となるが、心基部では心房収縮の影響をより受けやすいと思われる。心房収縮に伴う左室の運動は受動的な伸展であり、TDIで記録される壁運動は心内膜側と心外膜側に速度差のみられない均一な運動として認識される。したがって、心内膜側と心外膜側に速度差のみられる左室の収縮運動とは鑑別可能と思われる。

本研究では、早期興奮モデル、WPW症候群の最早期収縮部位の同定にMモードTDIが有用であったが、いくつかの考慮すべき問題が残されている。まず右室および心室中隔例においてTDIによる部位診断が十分正確に行えなかったことである。手術所見を基準に12誘導心電図による部位診断を比較した検討<sup>15)</sup>や体表面心電図<sup>23)24)</sup>、心プールシンチグラフィ<sup>23)25)</sup>による診断においても、右室および心室中隔の副伝導路の検出は左室自由壁例に比し劣ることが報告されている。Sealyら<sup>48)</sup>は後中隔領域の副伝導路の同定が困難な理由として、右房後部が左室、筋性心室中隔に渡って騎乗していること、心房中隔が心室中隔に比して左に位置していること、三尖弁輪部が僧帽弁輪部より低位であること、冠状静脈洞の血管壁に左右心房と連続する心筋線維が含まれていること、副伝導路起始部として左右心房、心房中隔、ヒス束近位部および冠状静脈洞、付着部位として心室中隔、左室自由壁および左室後上突起があることなどの解剖学的な複雑性を挙げている。TDIを含めた画像診断による副伝導路の部位診断は電気的最早期興奮部位と最早期収縮部位が同一であることが前提となっているが、上述したような解剖学的に複雑な領域においてはこの前提が当てはまらないことが少なくないと思われる。また本研究では右室側のMモード記録部位がわずか2か所と限られていたこと、右後中隔として記録した部位は実際には三尖弁輪から離れていたことが問題であり、経胸壁心エコーでは三尖弁輪の動きが多方向から記録できない方法的な限界がある。右室側副伝導路に対しては経食道心エコー法の併用や、時間分解能に限界があるが任意の断面の構築が可能な3次元心エコーの併用を考慮すべきと思われる。また、カテーテル・アブレーションの手技としては左室側副伝導路に対しては左室内に逆行性にカテーテルを挿入し、弁下アプローチにより至適通電部位を同定するが、この場合副伝導路の心室端が同定される。一方、右室および中隔副伝導路に対しては右室内に順行性にカテーテルを挿入し、弁上アプローチで通電部位を決定する場合と右室内に挿入したカテーテルを反転させて弁下アプローチにより通電部位を決定する場合があり、副伝導路の心房端が同定される場合と心室端が同定される場合がある。副伝導路の心房端でカテーテル・アブレーションを行った場合、副伝導路が弁輪部に対して垂直に走行していない場合には実際の通電部位とTDIで検出した心室の最早期収縮部位に相違がみられることになる。以上のような理由から、右室・中隔副伝導路の部位診断が左室例に比し完全一致例が少なくなったものと考えられる。

左室側副伝導路の部位診断において、9例中3例ではアブレーション部位の隣接領域と判定された。一方、本研究で人工的に作成した早期興奮モデルは平均QRS幅が130ミリ秒以上であり、いわゆる最大早期興奮(maximal preexcitation)を呈していたが、この場合は全例で最早期収縮部位の同定が可能であった。

Kuechererら<sup>30)</sup>は経食道心エコーを用いた解析でアデノシンを投与することで最大早期興奮を得た場合、部位診断の正診率が上昇することを報告している。経胸壁心エコーによるTDIにおいても薬物負荷により正診率が向上する可能性があり、今後検討する必要がある。

WPW症候群の副伝導路の部位診断のもう1つの問題として複数副伝導路の診断が挙げられる。12誘導心電図や体表面心電図では、2本の副伝導路が存在した場合、これらの副伝導路を伝わる電氣的ベクトルの総和として電位が記録されるため、実際の2本の副伝導路の中間にあたかも副伝導路が存在するような形で判定される。このため電氣的現象の記録から複数副伝導路の部位診断は不可能であり、実際には外科手術やカテーテル・アブレーションにより1本の副伝導路を離断した後に初めて判明する。Nakayamaら<sup>4)</sup>は2次元像のTDIを用いた検討で比較的広い範囲が早期収縮部位として認識されるような症例が存在することを記載しており、そのひとつの理由として複数副伝導路が存在する可能性を挙げている。時間分解能、空間分解能から考えると、2次元像で広い範囲に識別される早期収縮部位内を詳細にMモード法を用いてスキヤニングすることで複数副伝導路を分離して同定することが理論的には可能であると思われる。今回の研究では複数の副伝導路を有する症例は含まれおらず、今後の検討課題である。

## 結 論

MモードTDIを用いたWPW症候群における副伝導路部位診断の有用性を明らかにするために、健常例でのMモードTDIでの時間計測の再現性の評価、人工的に作成した早期興奮モデルでの左室収縮パターンの解析、およびWPW症候群における最早期収縮部位の検出を行い、これと実際のアブレーション施行部位の比較、12誘導心電図、体表面心電図による部位診断との比較を行い以下の結果を得た。

1. MモードTDIでの時間計測において観察者間変動、観察者内変動は許容される範囲にあり、再現性は良好であった。
  2. 右房・左室僧帽弁輪部連続刺激により作成した平均QRS幅 $139.3 \pm 4.0$ ミリ秒の早期興奮モデルでは、MモードTDIにより全例で最早期収縮部位の同定が可能であった。
  3. WPW症候群においてMモードTDI上で時間計測を行うことにより、全例で最早期収縮部位の同定が可能であった。
  4. カテーテル・アブレーションにより副伝導路の離断に成功した部位を副伝導路の局在部位とした場合、MモードTDIにより同定した最早期収縮部位の一致率は、左室自由壁例では完全一致は67%、隣接区域を含めた一致は100%であった。一方、右室および中隔例では完全一致はなく、隣接区域を含めた一致は75%であった。
  5. MモードTDIによる副伝導路の部位診断は12誘導心電図、体表面心電図と同等であった。
- 以上より、WPW症候群における副伝導路の部位診断としてMモードTDIは右室・中隔例に対しては限界があるものの、左室自由壁例に対しては有用である可能性が示唆された。

## 謝 辞

稿を終えるに臨み、御指導と御検閲を賜りました恩師金沢大学医学部内科学第一講座小林健一教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究の遂行にあたり直接御指導と御助言を賜りました金沢大学医学部保健学科高田重男教授に深謝の意を表します。さらに本研究に終始御協力を頂

きました金沢大学第一内科循環器班の諸先生方に深謝致します。

なお、本論文の要旨は第61回日本循環器学会学術集会(1997, 東京)において発表した。

## 文 献

- 1) Wolff L, Parkinson J, White PD. Bundle-branch block with short P-R interval in healthy young people prone to paroxysmal tachycardia. *Am Heart J* 5: 685-704, 1930
- 2) Gallagher JJ, Pritchett ELC, Sealy WC, Kasell J, Wallace AG. The preexcitation syndromes. *Prog Cardiovasc Dis* 20: 285-327, 1978
- 3) Sealy WC, Gallagher JJ, Pritchett ELC. The surgical anatomy of Kent bundles based on electrophysiological mapping and surgical exploration. *J Thorac Cardiovasc Surg* 76: 804-815, 1978
- 4) Iwa T, Kawasuji M, Misaki T, Iwase T, Magara T. Localization and interruption of accessory conduction pathway in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 80: 271-279, 1980
- 5) Jackman WM, Wang X, Friday KJ, Roman CA, Moulton KP, Beckman KJ, McClelland JH, Twidale N, Hazlitt HA, Prior MI, Margolis PD, Calame JD, Overholt ED, Lazzara R. Catheter ablation of accessory atrioventricular pathways (Wolff-Parkinson-White syndrome) by radiofrequency current. *N Engl J Med* 324: 1605-1611, 1991
- 6) Calkins H, Langberg J, Sousa J, El-Atassi R, Leon A, Kou W, Kalbfleisch S, Morady F. Radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular connections in 250 patients: Abbreviated therapeutic approach to Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 85: 1337-1346, 1992
- 7) Cox JL, Gallagher JJ, Cain ME. Experiences with 118 consecutive patients undergoing operation for the Wolff-Parkinson-White syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 90: 490-501, 1985
- 8) Willems JL, De Medina EOR, Bernard R, Coumel P, Fisch C, Krikler D, Mazur NA, Meijler FL, Mogensen L, Moret P, Pisa Z, Rautaharju PM, Surawicz B, Watanabe Y, Wellens HJJ. Criteria for intraventricular conduction disturbances and pre-excitation. *J Am Coll Cardiol* 5: 1261-1275, 1985
- 9) Guiraudon GM, Klein GJ, Sharma AD, Milstein S, MacLellan DG. Closed-heart technique for Wolff-Parkinson-White syndrome: Further experience and potential limitations. *Ann Thorac Surg* 42: 651-657, 1986
- 10) Lindsay BD, Crossen KJ, Cain ME. Concordance of distinguishing electrocardiographic features during sinus rhythm with the location of accessory pathways in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am J Cardiol* 59: 1093-1102, 1987
- 11) Milstein S, Sharma AD, Guiraudon GM, Klein GJ. An algorithm for the electrocardiographic localization of accessory pathways in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Pacing Clin Electrophysiol* 10: 555-563, 1987
- 12) Reddy GV, Schamroth L. The localization of bypass tracts in the Wolff-Parkinson-White syndrome from the surface electrocardiogram. *Am Heart J* 113: 984-993, 1987

- 13) Lemery R, Hammill SC, Wood DL, Danielson GK, Mankin HT, Osborn MJ, Gersh BJ, Holmes DR Jr. Value of the resting 12 lead electrocardiogram and vectorcardiogram for locating the accessory pathway in patients with the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Br Heart J* 58: 324-332, 1987
- 14) Fananapazir L, German LD, Gallagher JJ, Lowe JE, Prystowsky, EN. Importance of preexcited QRS morphology during induced atrial fibrillation to the diagnosis and localization of multiple accessory pathways. *Circulation* 81: 578-585, 1990
- 15) Yuan S, Iwa T, Tsubota M, Bando H. Comparative study of eight sets of ECG criteria for the localization of the accessory pathway in Wolff-Parkinson-White syndrome. *J Electrocardiol* 25: 203-214, 1992
- 16) Fitzpatrick AP, Gonzales RP, Lesh MD, Modin GW, Lee RJ, Scheinman MM. New algorithm for the localization of accessory atrioventricular connections using a baseline electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol* 23: 107-116, 1994
- 17) Chiang CE, Chen SA, Teo WS, Tsai DS, Wu TJ, Cheng CC, Chiou CW, Tai CT, Lee SH, Chen CY, Wang SP, Chiang BN, Tan A, Chang MS. An accurate stepwise electrocardiographic algorithm for localization of accessory pathways in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome from a comprehensive analysis of delta waves and R/S ratio during sinus rhythm. *Am J Cardiol* 76: 40-46, 1995
- 18) Lowe KG, Emslie-Smith D, Ward C, Waston H. Classification of ventricular pre-excitation: Vectorcardiographic study. *Br Heart J* 37: 9-19, 1975
- 19) Tonkin AM, Wagner GS, Gallagher JJ, Cope GD, Kasell J, Wallace AG. Initial forces of ventricular depolarization in the Wolff-Parkinson-White syndrome: Analysis based upon localization of the accessory pathway by epicardial mapping. *Circulation* 52: 1030-1036, 1975
- 20) Talwar KK, Blomström P, Edvardsson N, William-Olsson G, Olsson SB. Spatial vectorcardiography in the Wolff-Parkinson-White syndrome: Correlation with epicardial mapping findings. *Pacing Clin Electrophysiol* 7: 979-984, 1984
- 21) Numa T, Ikeda T, Kitaura T, Hattori N, Misaki T, Iwa T. Locations of accessory pathways and vectorcardiograms. *Ann Sci Kanazawa Univ* 23: 37-40, 1986
- 22) De Ambroggi L, Taccardi B, Macchi E. Body-surface maps of heart potentials: Tentative localization of pre-excited areas in forty-two Wolff-Parkinson-White patients. *Circulation* 54: 251-263, 1976
- 23) Iwa T, Magara T. Correlation between localization of accessory conduction pathway and body surface maps in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Jpn Circ J* 45: 1192-1198, 1981
- 24) Kamakura S, Shimomura K, Ohe T, Matsuhisa M, Toyoshima H. The role of initial minimum potentials on body surface maps in predicting the site of accessory pathways in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 74: 89-96, 1986
- 25) Botvinick E, Dunn R, Fraiss M, O'Connell W, Shosa D, Herfkens R, Scheinman M. The phase image: Its relationship to patterns of contraction and conduction. *Circulation* 65: 551-560, 1982
- 26) Botvinick E, Fraiss M, O'Connell W, Faulkner D, Scheinman M, Morady F, Sung R, Shosa D, Dae M. Phase image evaluation of patients with ventricular pre-excitation syndromes. *J Am Coll Cardiol* 3: 799-814, 1984
- 27) Nakajima K, Bunko H, Tada A, Tonami N, Hisada K, Misaki T, Iwa T. Nuclear tomographic phase analysis: Localization of accessory conduction pathway in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am Heart J* 109: 809-815, 1985
- 28) Johnson LL, Seldin DW, Yeh HL, Spotnitz HM, Peiffel JA. Phase analysis of gated blood pool scintigraphic images to localize bypass tracts in Wolff-Parkinson-White syndrome. *J Am Coll Cardiol* 8: 67-75, 1986
- 29) DeMaria AN, Vera Z, Neumann A, Mason DT. Alterations in ventricular contraction pattern in the Wolff-Parkinson-White syndrome: Detection by echocardiography. *Circulation* 53: 249-257, 1976
- 30) Chandra MS, Kerber RE, Brown DD, Funk DC. Echocardiography in Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 53: 943-946, 1976
- 31) Francis GS, Theroux P, O'Rourke RA, Hagan AD, Johnson AD. An echocardiographic study of interventricular septal motion in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 54: 174-178, 1976
- 32) Hishida H, Sotobata I, Koike Y, Okumura M, Mizuno Y. Echocardiographic patterns of ventricular contraction in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 54: 567-570, 1976
- 33) Ticzon AR, Damato AN, Caracta AR, Russo G, Foster JR, Lau SH. Interventricular septal motion during preexcitation and normal conduction in Wolff-Parkinson-White syndrome: Echocardiographic and electrophysiologic correlation. *Am J Cardiol* 37: 840-847, 1976
- 34) Windle JR, Armstrong WF, Feigenbaum H, Miles WM, Prystowsky EN. Determination of the earliest site of ventricular activation in Wolff-Parkinson-White syndrome: Application of digital continuous loop two-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 7: 1286-1294, 1986
- 35) Kuecherer HF, Abbott JA, Botvinick EH, Scheinman ED, O'Connell JW, Scheinman MM, Foster E, Schiller NB. Two-dimensional echocardiographic phase analysis: Its potential for noninvasive localization of accessory pathways in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 85: 130-142, 1992
- 36) Kuecherer HF, Kleber G-S, Melicherik J, Schützendübel R, Beyer T, Brachmann J, Kübler W. Transesophageal echo phase imaging for localizing accessory pathways during adenosine-induced preexcitation in patients with the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am J Cardiol* 77: 64-71, 1996
- 37) McDicken WN, Sutherland GR, Moran CM, Gordon LN. Colour Doppler velocity imaging of the myocardium. *Ultrasound Med Biol* 18: 651-654, 1992
- 38) Miyatake K, Yamagishi M, Tanaka N, Uematsu M, Yamazaki N, Mine Y, Sano A, Hiramasa M. New method for evaluating left ventricular wall motion by color-coded tissue Doppler imaging: In vitro and in vivo studies. *J Am Coll Cardiol*

25: 717-724, 1995

39) 外山淳治, 日比野萌. 体表面心臓電位図の作成装置と誘導法. 体表面心臓電位図の臨床 (安井昭二編), 第1版, 19-36頁, スズケンセンター出版部, 名古屋, 1991

40) 仁禮 隆. 体表面電位図によるWPW症候群における副伝導路の推定. 日本臨床53: 113-118, 1995

41) Nakayama K, Miyatake K, Uematsu M, Tanaka N, Kamakura S, Nakatani S, Yamazaki N, Yamagishi M. Application of tissue Doppler imaging technique in evaluating early ventricular contraction associated with accessory atrioventricular pathways in Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am Heart J* 135: 99-106, 1998

42) Drozd J. Movement of the total heart. *In* R Erbel, HJ Nesser, J Drozd (eds), *Atlas of Tissue Doppler Echocardiography*, 1st ed, p45-51, Steinkopff, Darmstadt, 1995

43) Ingels N, Daughters G, Stinson E, Alderman E. Evaluation of methods for quantification of left ventricular segmental wall motion in man using myocardial markers as a standard. *Circulation* 61: 966-972, 1980

44) Drozd J, Erbel R, Wallbridge D. Normal pattern of

myocardial velocity. *In* R Erbel, HJ Nesser, J Drozd (eds), *Atlas of Tissue Doppler Echocardiography*, 1st ed, p23-44, Steinkopff, Darmstadt, 1995

45) Gorcsan J III, Gulati VK, Mandarino WA, Katz WE. Color-coded measures of myocardial velocity throughout the cardiac cycle by tissue Doppler imaging to quantify regional left ventricular function. *Am Heart J* 131: 1203-1213, 1996

46) Isaaq K, Thompson A, Ethevenot G, Cloez JL, Bremilla B, Pernot C. Doppler echocardiographic measurement of low velocity motion of the left ventricular posterior wall. *Am J Cardiol* 64: 66-75, 1989

47) Garcia MJ, Rodriguez L, Ares M, Griffin BP, Klein AL, Stewart WJ, Thomas JD. Myocardial wall velocity assessment by pulsed Doppler tissue imaging: Characteristic findings in normal subjects. *Am Heart J* 132: 648-656, 1996

48) Sealy WC, Mikat EM. Anatomical problems with identification and interruption of posterior septal Kent bundles. *Ann Thorac Surg* 36: 584-595, 1983

**Detection of Earliest Ventricular Contraction Sites in Preexcitation Models and Wolff-Parkinson-White Syndrome Using M-mode Color Tissue Doppler Imaging** Hideo Nagai, Department of Internal Medicine (I), School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920-8640 — *J. Juzen Med Soc.*, **108**, 103 — 115 (1999)

**Key words** accessory pathway, catheter ablation, echocardiography, tissue Doppler imaging, Wolff-Parkinson-White syndrome

#### Abstract

Radiofrequency catheter ablation is well established as a radical therapeutic approach in the treatment of patients with the Wolff-Parkinson-White (WPW) syndrome associated with tachyarrhythmias. Clinically, it is important to determine the atrioventricular accessory pathway location with non-invasive methods before performing the ablation procedure. The purpose of this study was to analyze the ventricular contraction patterns in preexcitation models using M-mode tissue Doppler imaging (TDI), and to examine the feasibility of TDI for localizing the accessory pathways in WPW syndrome. Two-dimensional guided M-mode TDI was performed at the mitral and tricuspid annular level in artificial preexcitation models (n=12) produced by right atrio-mitral annular sequential pacing and in WPW patients (n=13). Earliest ventricular contraction sites were determined as the sites demonstrating shortest time interval. In preexcitation models, in which the mean QRS width was 139.3±4.0 ms, the time interval from the annular pacing spike to the beginning of systolic motion was measured. The time intervals at the mitral annular pacing sites were shortest. TDI could clearly and easily detect the earliest contraction site in these models. In patients with WPW syndrome, the time interval from the  $\delta$  wave or R wave to the beginning of systolic motion were measured. The earliest ventricular contraction sites detected by TDI were compared with the successful ablation sites. In 6 of 9 WPW patients with a left-sided pathway, TDI localization was identical to the ablation site. In 3 with a left-sided pathway and 3 of 4 with a right-sided pathway, TDI localization was judged as a region adjacent to the ablation site. In the last patient with a right lateral pathway, the accessory pathway location was misdiagnosed by TDI. The TDI diagnosis for left-sided pathways correlated fairly well with the ablation site, but for right-sided pathways the correlation was rather low (p=0.05). Compared with the results from the accessory pathway localization by 12-lead electrocardiogram or body surface mapping, the sensitivity of TDI localization was equivalent to those of the electrocardiographic methods. The present study suggests that M-mode TDI can clearly detect the earliest contraction site in preexcitation models and while possibly limited for right-sided pathways this method seems helpful in localizing left-sided pathways in patients with WPW syndrome.