

## 心臓磁界測定による WPW 症候群の副伝導路存在部位の推定

## Magnetocardiographic localization of an accessory pathway in patients with WPW syndrome

野村 昌弘  
渡部 克介  
片山まり子  
竹内 明美  
石原 茂樹  
清重 浩一  
藤本 卓  
藤野 和也  
中屋 豊  
森 博愛

Masahiro NOMURA  
Katsusuke WATANABE  
Mariko KATAYAMA  
Akemi TAKEUCHI  
Shigeki ISHIHARA  
Koich KIYOSHIGE  
Takashi FUJIMOTO  
Kazuya FUJINO  
Yutaka NAKAYA  
Hiroyoshi MORI

### Summary

The usefulness of magnetocardiography (MCG) in determining the location of an accessory pathway (Kent bundle) was examined by the isomagnetic map at the time of a delta wave, and by gated magnetic resonance imaging (MRI).

MCG was performed at 36 points on the anterior chest wall in eight cases with Wolff-Parkinson-White (WPW) syndrome using a SQUID (superconducting quantum interference device) system with the second derivative gradiometer. Based on these records, isomagnetic maps during the QRS and T waves were constructed, and the depth of the accessory pathway from the coil was calculated mathematically. The locations of the accessory pathways were estimated using these data and the MRI findings. The locations of the accessory pathways thus determined were compared with findings obtained by body surface maps.

A dipole directed towards the left was deduced, because the maximum was located more superiorly than the minimum in an isomagnetic map 10~40 msec after onset of the delta wave in cases with WPW syndrome, indicating an accessory pathway to be located in the right ventricle. A dipole directed towards the right was deduced, because the maximum was located more superiorly than the minimum in an isomagnetic map 10~40 msec after onset of the delta wave of cases with WPW syndrome indicating an accessory pathway to be located in the left ventricle.

Assuming the electric current source is a single dipole, the location of a current dipole might be determined by positions of the maximum and the minimum in the isomagnetic maps. In the present

---

徳島大学医学部 第二内科  
徳島区蔵本町 2-50 (〒770)

The Second Department of Internal Medicine, University of Tokushima, Kuramoto-cho 2-50, Tokushima 770

Received for publication January 30, 1989; accepted June 3, 1989 (Ref. No. 36-64)

study, the locations as determined by analysis of the isomagnetic map 40 msec after onset of the delta wave and the gated MRI were concordant with the findings obtained by body surface isopotential maps.

Furthermore, some cases showed two opposing dipoles on the isomagnetic map at the peak of the T wave in lead II of the standard ECG leads; one directed to the left expressing normal repolarization; the other directed to the right presumably expressing repolarization of the myocardium which was excited by an impulse via the accessory pathway. The location of the current dipole as determined by analysis of the isomagnetic map at the peak of the T wave in lead II was nearly the same as the position of the current dipole as determined by analysis of the isomagnetic map 40 msec after onset of the delta wave. Thus, the locations of an accessory pathway may also be predicted by analyzing the isomagnetic map at the peak of the T wave in lead II.

These results suggest that the MCG may be useful for determining the location of an accessory pathway supplementary to body surface mapping and other methods.

#### Key words

Magnetocardiogram      Wolff-Parkinson-White syndrome      Isomagnetic map      Magnetic resonance imaging  
Accessory pathway

### はじめに

心筋の興奮に伴う生体内の電気現象は、電位信号(心電図)と同時に微小な磁気信号を発生させる<sup>1)</sup>。近年, SQUID (superconducting quantum interference device) の発達と普及に伴い, 心臓から生じる微小電気信号(心磁図)の測定が可能となり, 臨床に応用されつつある<sup>2,3)</sup>。電位信号を捉える心電図法では, 一元性に電流源の解を求めることはできないとされている。しかし, 磁気信号を捉える心磁図は, 従来の電位計測とは異なり, 生体内に電流 dipole があれば, その分布電流により生じる磁界はかなりの程度に打ち消され, 電流 dipole そのものにより作られる磁界を測定できると考えられるため<sup>4)</sup>, 信号源の推定に有利であり, 諸種病態において心磁図の有用性が検討されている<sup>5-10)</sup>。

今回, 我々は WPW 症候群における副伝導路(Kent 束)存在部位の推定が, 心臓から生じる微小磁気信号を計測することにより計算可能か否かを検討した。

### 対象および方法

#### 1. 対象

WPW 症候群 8 例(男性 3 例, 女性 5 例, 平均

年齢  $36.5 \pm 8.6$  歳)について検討した。Ebstein 奇形の 1 例を除き, 明らかな心疾患の合併を認めた例はなかった。以上の例は, 電気生理学的検査により単数副伝導路と診断されている。

#### 2. 心磁図記録方法

心磁図記録装置としては, BTI 製の二次微分型 gradiometer を有する biomagnetic measuring system (model BMP) を用いた。SQUID 磁束計出力をフクダ電子製ポリグラフ MCM-8000 の心電増幅器 UA-220 の外部入力端子に入力し, 日本光電製インクジェット式記録器 RIJ-2108 を用いて記録した。

#### 3. 心磁図記録部位

Fig. 1 に示すように 2.5 cm 間隔の 6 行 6 列の格子を作成し, 横列を上から A~F; 縦列を前胸部右方から 1~6 とし, E-2 が剣状突起に一致するように格子を前胸壁に置き, これら 36 点における心磁図を記録した。

#### 4. 心磁図記録方法

被検者は腕時計, 金属のついたベルト, ヘアピンなどの金属製品を身体からとり外し, 木製ベッド上に横臥させ, 磁界検出コイル面を前胸壁最高点から約 1.5 cm 上方の前額面に位置するようにし, 前胸壁面法線方向磁界を記録した。記録感度は  $13.9 \times 10^5$  pTesla が 1 cm になるように磁束計

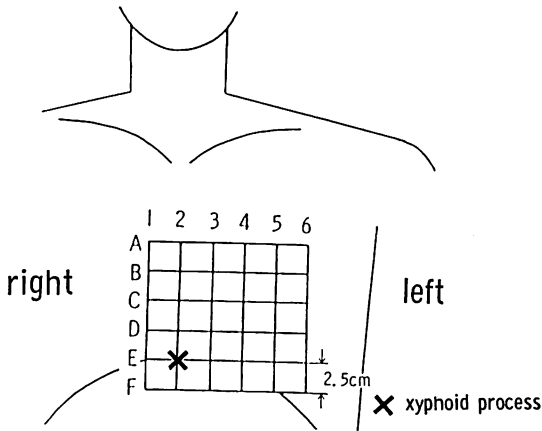


Fig. 1. Recording sites of the magnetocardiogram (MCG).

の感度調節を行った。

#### 5. 磁界分布図(磁界図)作成方法

各誘導点における心磁図および II 誘導心電図を同時記録した。記録速度は 200 mm/秒で、II 誘導心電図は time reference として用いた。記録した 2 波形をイメージスキャナー (NEC PC-IN502) に入力し、パーソナルコンピューター (NEC PC-9801) のビデオ RAM 上に転送した。II 誘導心電図を time refernce として心磁図の QRS 波開始点を定め、マウス (Model MS-50) を用いて心磁図の振幅を読み取った後、そのデータを実際の磁束密度に変換した。等磁界線の間隔は  $10^4$  pTesla とし、II 誘導心電図 QRS 波の開始点から 2 msec ごとの磁界図を作成した。

#### 6. 体表面電位図(電位図)作成方法

電位図はフクダ電子製多目的心電計 (VCM-3000) を用い、胸背部 87 点からサンプリング間隔 2~4 msec で同時記録して作成した。

#### 7. WPW 症候群における副伝導路の位置の計算

電流源を単一 dipole と仮定すると、磁気信号の振幅が極大・極小となる 2 点の位置が分れば、電流源の位置、方向の推定が可能となる。Romani, Williamson, ら<sup>12,13)</sup> は、湧き出し (source)

と吸込み (sink) の磁界の最大振幅が生じる位置の間隔を  $D$ 、その最大磁束密度を  $B_m$  とすると、検出コイル面に対する電流 dipole の深さ  $d$  およびその大きさ  $Q$  は、下式で求め得ることを報告している。

$$d = \frac{D}{\sqrt{2}}$$

$$Q = \frac{4\pi d^2 B_m}{0.385 \mu_0}$$

ここに  $\mu_0$  は真空中の等磁率を示す。

電流 dipole は湧き出しと吸込みの磁界の最大振幅が生じる位置の midpoint にあり、電流 dipole の方向はビオ・サバルの法則より求められる。本研究では、磁界図における極大および極小の位置を定め、上式に基づいて電流 dipole の深さを算出した。

## 結 果

### 1. WPW 症候群の心磁図 QRS 波形

心磁図 QRS 波形は、左室自由壁型では前胸部中央~右上方で陽性デルタ波、前胸部左下方で陰性デルタ波を示した。右室自由壁型では前胸部上方で陰性デルタ波、前胸部下方で陽性デルタ波を示した。

Fig. 2 は左室自由壁に副伝導路があると推定される例の標準誘導心電図、および心磁図 QRS 波形を示す。標準誘導心電図では、心電図  $V_1$  誘導のデルタ波の初期成分は陽性、QRS 波は上向きを示す (A 型 WPW 症候群)。心磁図 QRS 波形は、前胸部中央~右上方で陽性デルタ波、前胸部左下方で陰性デルタ波を示す。

Fig. 3 は右室自由壁に副伝導路があると推定される WPW 症候群の標準誘導心電図、および心磁図 QRS 波形を示す。標準誘導心電図では、心電図  $V_1$  誘導のデルタ波初期成分は陰性、QRS 波は QS 型を示す (B 型 WPW 症候群)。心磁図では前胸部上方で陰性デルタ波、前胸部下方で陽性デルタ波を示す。

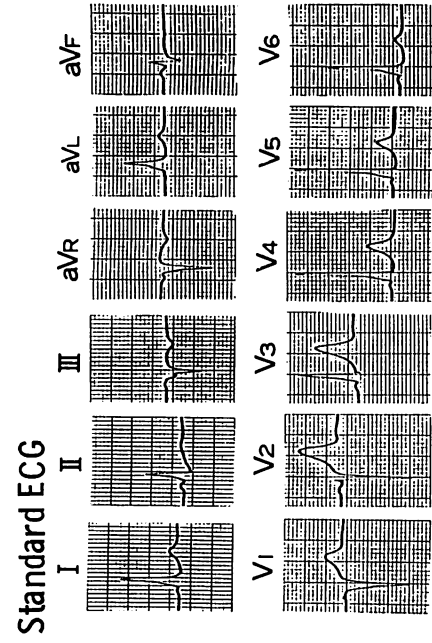


Fig. 3. Standard ECG and MCG (QRS wave) of a patient with a right ventricular accessory pathway (Case 4).

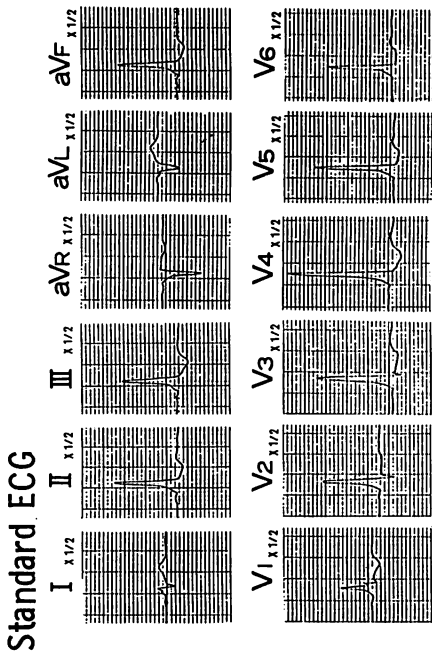
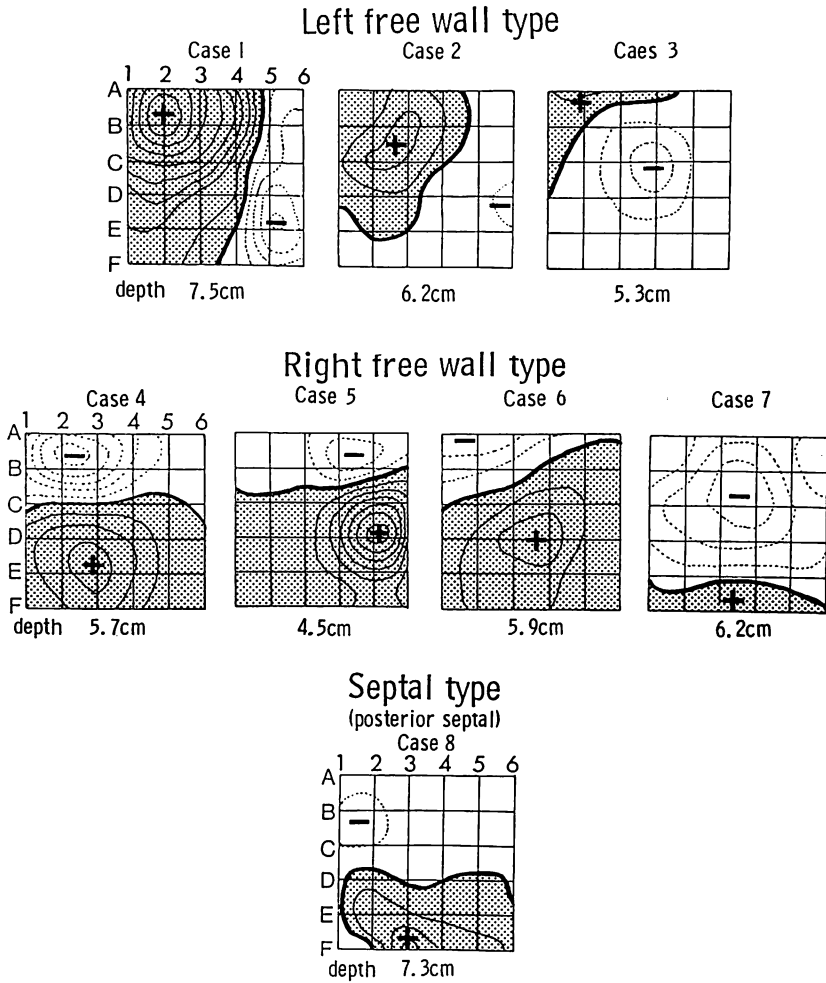


Fig. 2. Standard ECG and MCG (QRS wave) of a patient with a left ventricular accessory pathway (Case 1).



**Fig. 4. Isomagnetic maps 40 msec after the onset of a delta wave representing the distance between the accessory pathway and the detector coil.**

Solid and broken lines indicate positive and negative values, respectively. (+) and (-) indicate the maximum and the minimum, respectively. Isomagnetic lines are drawn at the interval  $2 \times 10^4$  pTesla/line.

## 2. WPW 症候群の磁界図

**Fig. 4** は 8 例全例の QRS 波開始から 40 msec の時点における磁界図, および検出コイル面から電流 dipole までの深さを示す. 各例における副伝導路の位置は, 標準誘導心電図, ベクトル心電図および電位図所見に基づいて, 右室自由壁型, 左室自由壁型および中隔型の 3 群に分類された.

左室側に副伝導路が推定される例では, 極大が極小より上方に位置し, 右向き dipole が推定された. 右室側に副伝導路が推定される例では, 極小が極大よりも上方に位置し, ビオ・サバルの法則から左向き dipole が推定された.

## 3. 左室側に副伝導路がある例

**Fig. 5** (Figs. 2, 4 中の Case 1 と同一例) は, QRS

Isomagnetic map

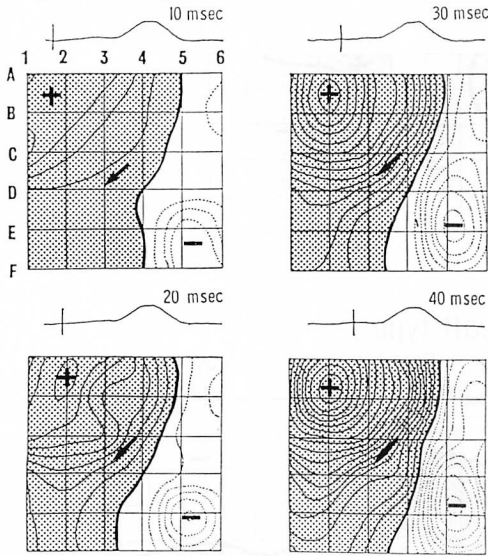


Fig. 5. Isomagnetic maps 10~40 msec after the onset of a delta wave (Case 1).

Isomagnetic lines are drawn at the interval  $1 \times 10^4$  pTesla/line.

Isopotential map

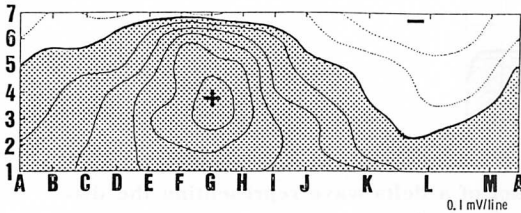


Fig. 6. Body surface isopotential map 40 msec after the onset of a delta wave (Case 1).

波開始 10~40 msec の時点における磁界図を示す。QRS 波開始後 10~40 msec まで極大は前胸部上方, 極小は前胸部左下方のほぼ同位置に停滞し, ビオ・サバールの法則から右下方に向かう単一 dipole が推定された。QRS 波開始 40 msec 後の磁界図では, デルタベクトルに対応する電流 dipole は, 身体正中線から 3.8 cm 左方, 剣状突起から 4.2 cm 上方, 検出コイル面から 7.5 cm

の深さにあると計算された。

Fig. 6 は本例の心室脱分極後 40 msec の電位図を示す。極小が背部上方, 極大が前胸部に位置し, 極小は極大よりも上方にある。ゼロ線は電位図を横断に N 字型を示す。岩ら<sup>14-17)</sup>によると, 本例の電位図からは副伝導路は左室前壁であると推定される。

Fig. 7 は本例の心電図同期 MRI 像, およびそのスケッチを示す。本例では, デルタ波開始後 40 msec の時点の磁界図から, 左室前壁に副伝導路があると推定され, 電位図からの推定とほぼ一致した。

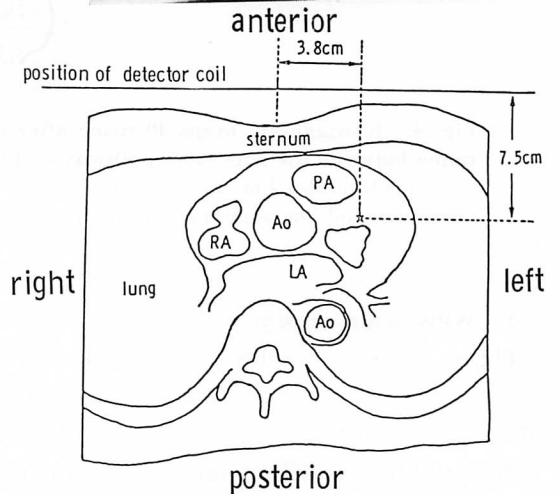
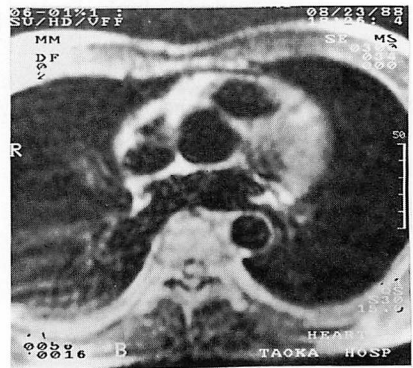


Fig. 7. Gated MRI of a patient with a right accessory pathway (Case 1).

Isomagnetic map

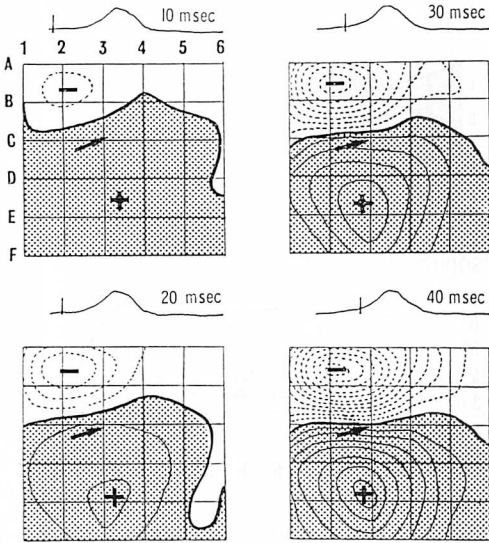


Fig. 8. Isomagnetic maps 10~40 msec after the onset of a delta wave (Case 4).

Isomagnetic lines are drawn at the interval  $1 \times 10^4$  pTesla/line.

4. 右室側に副伝導路がある例

Fig. 8 (Figs. 3, 4 の Case 4 と同一例) は QRS 波開始 10~40 msec の時点における磁界図を示す。QRS 波開始後 10~40 msec までは極大は前胸部下方, 極小は前胸部左上方のほぼ同位置にとどまり, ピオ・サパールの法則から左方に向かう単一 dipole が推定された。QRS 波開始 40 msec 後の磁界図から, デルタベクトルに対応する電流 dipole は, 身体正中線から 1.1 cm 左方, 剣状突起から 4.3 cm 上方, 検出コイル面から 5.7 cm の深さにあると計算された。

Fig. 9 は本例の心室脱分極開始後 40 msec の時点における電位図を示す。極小が前胸部上方, 極大が左前胸部上方にあり, 極小が極大よりもわずかに上方に位置している。ゼロ線は, 前胸部および背部正中をほぼ平行ないし「ハの字状」に位置している。岩ら<sup>14-17)</sup>によると, 本例の副伝導路は電位図からは右室前壁にあると推定される。

Isopotential map

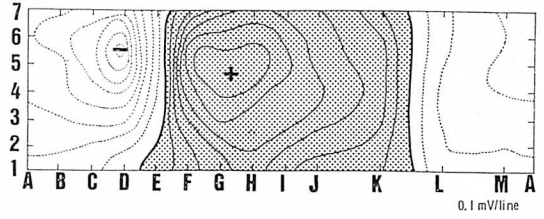


Fig. 9. Body surface isopotential map 40 msec after the onset of a delta wave (Case 4).

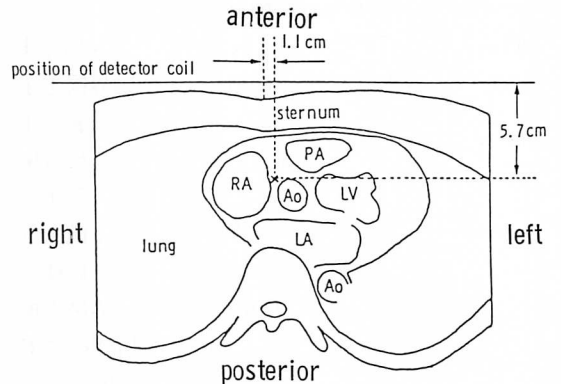
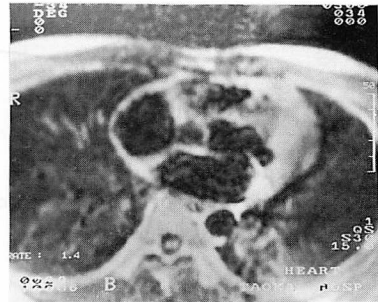
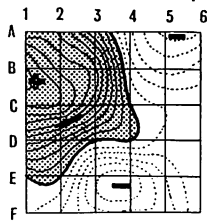


Fig. 10. Gated MRI of a patient with a left accessory pathway (Case 4).

Fig. 10 は本例の心電図同期 MRI 像, およびそのスケッチである。本例ではデルタ波開始後 40 msec の時点の磁界図から, 右室前壁に副伝導路があると推定され, 電位図から推定される位置とほぼ一致した。

Isomagnetic map



Isopotential map

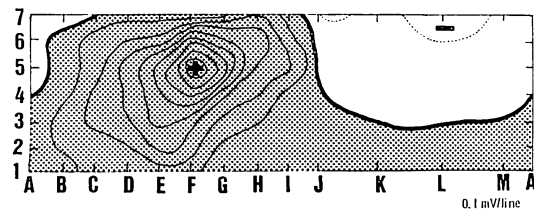
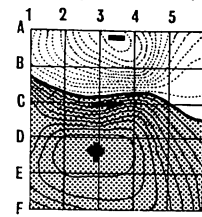


Fig. 12. Isomagnetic and body surface isopotential maps at the peak of the T wave of lead II of the standard ECG (Case 4).

Isomagnetic map



Isopotential map

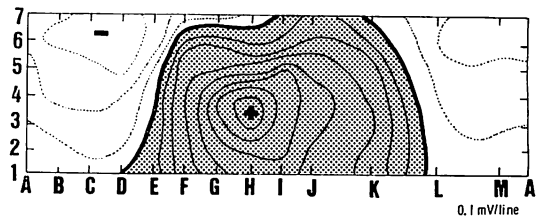


Fig. 11. Isomagnetic and body surface isopotential maps at the peak of the T wave of lead II of the standard ECG (Case 1).

5. WPW 症候群の心室再分極波

Fig. 11 は Fig. 2 と同一例の II 誘導心電図 T 波の頂点の時点における電位図および磁界図を示す。電位図での極大は左腋窩部, 極小は前胸部上方にある。このような極大および極小の位置関係から, 前胸部右上方から左下方に向かう単一 dipole が推定される。磁界図での極小は前胸部上方, 極大は前胸部下方にあり, 電位図と同様に左向き dipole が推定された。磁界図の極大および極小の位置から, この単一 dipole に対応する電流源は, 身体正中線から 3.9 cm 左方, 剣状突起から 5.0 cm 上方, 検出コイル面から 5.8 cm の深さにあると計算された。

Fig. 12 は Fig. 3 と同一例の II 誘導心電図 T 波の頂点の時点における電位図, および磁界図を示す。電位図での極大は左前胸部中央, 極小は背部上方にあり背部から前方に向かう単一 dipole が推定される。しかし, 磁界図の極小は前胸部中央下方, および左前胸部上方, 極大は右前胸部上方にあり, 前胸部上方にあって左下方に向

かう dipole と前胸部下方にあって, 右方に向かう二重極の 2 箇の二重極が推定された。磁界図の極大・極小の位置関係から, 右向き dipole に対応する電流源は身体正中線から 0.8 cm 左方, 剣状突起から 3.8 cm 上方, 検出コイル面から 6.7 cm の深さにあると計算された。

考 察

1960 年, Baule ら<sup>1)</sup>が初めてヒトの心起電力による磁界を記録し, 心磁図と名付けて以来, 心磁図の臨床研究が行われるようになった<sup>2-10)</sup>。心電図法では, 心起電力を二点間の電位差として捉えるが, 心磁図法では一点における磁界として記録するため, 後者では前者では捉え難い情報を捉え得る可能性がある<sup>11)</sup>。心電図法では, 皮下組織, 肺, 血液などの電気インピーダンスの不均一性, 電位の空間分布の拡散性などから, 心電図法を用いて信号源を推定することは比較的困難である<sup>18-21)</sup>。



他方、心磁図法では、心臓周囲の種々の生体組織の影響を比較的受け難い。さらに、二次勾配型磁束計は、その特性上、センサー直下の磁界変化を捉え易い利点がある<sup>7-11)</sup>。これらの特徴から、心磁図法は体表面上の記録から心起電力を推定する手段としての有用性が期待される<sup>7)</sup>。

磁気信号を計測して信号源を同定する試みは、脳や脊髄などについて検討されている<sup>12,13,18-21)</sup>。しかし、心磁図記録から信号源を推定する系統的検討はほとんど行われていない。WPW 症候群の心磁図については、中屋ら<sup>7)</sup>が心磁図波形の変化について記録し、Katila ら<sup>22)</sup>が磁界図と電気生理学的検査所見から副伝導路の位置の推定を試みた報告があるのみで、いまだ詳細な検討は行われていない。

我々は、WPW 症候群の心磁図デルタ波および再分極波 (T 波) の磁界図から副伝導路の位置を求め、心電図同期 MRI 像と対比して副伝導路の解剖学的位置を推定し、電位図から推定された副伝導路の位置と比較した。

胸郭周囲に磁気ノイズがあると、信号源からの磁界と重複し、信号源の位置推定は誤差を生じ易い<sup>18-21)</sup>。しかし、我々は二次微分型 SQUID を用いることにより良好な心磁図を記録できた。また、心臓磁界は、SQUID ノイズに比べて約  $10^6$  倍大きく<sup>23)</sup>、これらの要素に基づく誤差は比較的少ないと考えられる。

本研究においては、信号源を単一 dipole と仮定し、磁界図上の極大・極小の位置を定め、電流源の位置および方向を Romani, Williamson の式<sup>12,13)</sup>を用いて推定した。磯部らはこの計算式に基づいて聴覚誘発脳磁界を測定し、信号源の位置と大きさの推定を行い、位置についての誤差は  $\pm 5$  mm 以内であったと報告している<sup>21)</sup>。また、水谷らは尺骨神経を電気刺激した際に頸部後方に生じる誘発磁界を測定し、得られた電流 dipole の深さは、頸髄の位置と大きく相違しないことを報告している<sup>18)</sup>。

これらの諸報告では、脳磁界図上での極大・極

小点を正確に求めることが困難なため、幾つかの測定点における磁界の実測値と、仮定した信号源から求められる計算値との誤差が最小となるように、最小二乗解析法による計算を行っている。

しかし、本研究においては、心臓磁界は脳磁界に比べて大きいため、最小二乗解析を行わなくとも、**Figs. 5, 8** に示すように、極大・極小点を磁界図上に容易に定めることができた。

従来、副伝導路の位置の推定には、標準誘導心電図<sup>24-29)</sup>、ベクトル心電図<sup>30-32)</sup>、心エコー図<sup>33-36)</sup>、心臓電気生理学的検査<sup>37,38)</sup>、電位図および心表面マッピングなど<sup>36-52)</sup>の多くの方法が用いられている。

岩ら<sup>14-17)</sup>は、デルタ波開始後 40 msec の時点の電位図の極大・極小の位置およびゼロ線の形状から、副伝導路の位置をよく推定できると報告している。鎌倉ら<sup>39)</sup>は電位図を用い、デルタ波の時間内において  $-0.15$  mV に達する時点の極小の位置から、副伝導路の位置を容易に正しく推定できたと報告している。

Oguri ら<sup>40)</sup>は QRS isoarea map における極小の位置と大きさに基づき、副伝導路の位置および融合収縮の程度を明らかにし得ると報告している。Tsunakawa ら<sup>41)</sup>は逆方向問題解決よりデルタ波の時相の双極子の位置を定め、副伝導路の位置の推定を行っているが、Boineau の研究成績<sup>26)</sup>とは一致しなかったと報告している。

これらの電位図による副伝導路の部位診断では心外性因子の影響も無視できず、また心室融合収縮の程度によっては副伝導路の位置を正確に推定できない場合もある。

Spach ら<sup>42)</sup>および Benson ら<sup>43)</sup>は、WPW 症候群の T 波の時点における電位図において、極大の位置は副伝導路の位置とよく相関するが、例外もあることを報告している。麻柄<sup>48)</sup>も、T 波の時点における電位図において、極大の位置がデルタ波の時相における電位図の極小の位置と一致しない例があり、副伝導路の位置の推定に関しては、T 波の時相における電位図はデルタ波の時

相におけるそれに劣るとしている。

しかし、心磁図法では心室再分極 dipole を心電図法よりも正確に検出できる場合がある。電位図法では複数 dipole を単一合成ベクトルとしてしか捉え得ない例においても、磁界図法では複数 dipole として検出できる場合が多い<sup>10,11)</sup>。

Fig. 12 に示す II 誘導心電図 T 波の頂点における電位図では、T ベクトルは単一 dipole としてしか表現されていない。しかし、磁界図では、副伝導路を介して興奮した心筋の再分極ベクトル(右方に向かう dipole)と、正常房室伝導を介して興奮した心筋の再分極ベクトル(左下方に向かう dipole)の 2 箇の dipole として捉えることができた。本研究では、心室脱分極開始後 40 msec、および II 誘導心電図 T 波の頂点の時相における心室再分極相における磁界図から推定された電流 dipole の位置は近接していた。心室脱分極期に同期した MRI 像についてのみ検討したが、心磁図記録を呼吸同期させ、MRI を心室再分極期に同期させれば、心室再分極相の磁界図からも、副伝導路の位置を推定できる可能性があると考えられた。

二次微分型磁束トランスを用いる SQUID は優れた位置分解能を持ち、また心磁図法は複数二重極の検出に優れているため、副伝導路の位置推定に有用な可能性があると考えられた。本研究では、心表面マッピングないし副伝導路切断手術を行っていないが、磁界図から副伝導路の位置を推定し、心電図同期 MRI 像とともに検討すると、電位図から推定された部位とほぼ一致するとの成績を得た。

## 結 語

前胸壁面 36 点における心磁図記録に基づいて作図した磁界図と、心電図同期 MRI 像を併用して定めた副伝導路の解剖学的位置の推定は、電位図法から推定された位置と近似し、本法は従来の方法と互いに相補いながら、副伝導路の位置推定に関し、有用な情報を提供し得ると考えられた。

## 要 約

Kent 束存在部位を推定するために、心電図同期磁気共鳴映像法 (MRI) を併用し、心臓磁界分布図(磁界図)よりデルタ波の時点における電流源の推定を試みた。WPW 症候群 8 例において、二次微分型超電導量子干渉計を用い、前胸部 36 点における心磁図を記録し、QRS 波の磁界図を作成し、Kent 束存在部位を計算により求めた。これを心電図同期 MRI 像と対比し、体表面電位図(電位図)から推定される Kent 束存在部位と比較した。

デルタ波開始後 10~40 msec の磁界図において、右室に Kent 束が推定される例では極小が極大より上方に位置し、左向き二重極が考えられた。左室に Kent 束が推定される例では極大が極小より上方に位置し、右向き二重極が認められた。電流源を単一二重極と仮定すると、磁界図の極大・極小の位置から電流源の位置を推定することができる。本研究では、デルタ波開始後 40 msec の時点の磁界図から、計算上、副伝導路の興奮によると思われる電流源の位置を MRI 像を参照して推定すると、電位図から推定される副伝導路の部位とほぼ一致した。

心室再分極相における磁界図において、副伝導路由来と正常房室伝導由来の再分極ベクトルの、2 箇の二重極を認めた例があった。副伝導路由来と思われる二重極は、デルタ波開始 40 msec 後の二重極とほとんど同位置にあり、心磁図心室再分極相の解析からも、副伝導路部位推定が可能であると思われた。磁界図を検討すると、検出コイル面から電流源までの深さの推定が可能であり、MRI 法と磁界図解析法の併用による副伝導路の位置推定は、電位図法および電気生理学的検査法と相補的に、新たな知見を提供し得ると考えられた。

## 文 献

- 1) Baule G, McFee R: Detection of the magnetic field of the heart. Am Heart J 66: 95-96, 1963

- 2) Zimmerman JE, Frederick NV: Miniature ultra-sensitive super-conducting magnetic gradiometer and its use in cardiography and other applications. *Appl Phys Lett* **19**: 16-19, 1971
- 3) Opfer JE, Yeo YK, Pierce JM, Roden LH: A superconducting second-derivative gradiometer. *IEEE Trans MAG-10*: 536-539, 1974
- 4) Cuffin BN: The effects of torso geometry on magnetocardiographic lead fields. *IEEE Trans Bio-Med BME-28*: 742-749, 1981
- 5) Sumi M, Takeuchi A, Katayama M, Fukuda Y, Nomura M, Fujino K, Murakami M, Nakaya Y, Mori H: Magnetocardiographic P wave in normal subjects and patients with mitral stenosis. *Jpn Heart J* **27**: 621-633, 1986
- 6) Fujino K, Sumi M, Saito K, Murakami M, Higuchi T, Nakaya Y, Mori H: Magnetocardiograms of patients with left ventricular overloading recorded with a second-derivative SQUID gradiometer. *J Electrocardiol* **17**: 219-228, 1984
- 7) Nakaya Y, Sumi M, Saito K, Fujino K, Murakami M, Mori H: Analysis of current source of the heart using isomagnetic and vector arrow maps. *Jpn Heart J* **25**: 701-711, 1984
- 8) Takeuchi A, Watanabe K, Nomura M, Ishihara S, Sumi M, Murakami M, Saito K, Nakaya Y, Mori H: The P wave in the magnetocardiogram. *J Electrocardiol* **21**: 161-167, 1988 f
- 9) Nakaya Y, Takeuchi A, Nii H, Katayama M, Nomura M, Fujino K, Saito K, Mori H: Isomagnetic maps in right ventricular overloading. *J Electrocardiol* **21**: 168-173, 1988
- 10) Nomura M, Fujino K, Katayama M, Takeuchi A, Fukuda Y, Sumi M, Murakami M, Nakaya Y, Mori H: Analysis of the T wave of the magnetocardiogram in patients with essential hypertension by means of isomagnetic and vector arrow maps. *J Electrocardiol* **21**: 174-182, 1988
- 11) Mori H, Nakaya Y: Present status of clinical magnetocardiography. *CV World Report* **1**: 78-86, 1988
- 12) Romani GL, Williamson SJ, Kaufman L: Biomagnetic instrumentation, *Rev Sci Instrum* **53**: 1815-1845, 1982
- 13) Williamson SJ, Kaufman L: Magnetic fields of the cerebral cortex. *in* *Biomagnetism* (ed by Erne S, Hahlbohm HD, Lubbig H), Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1981, pp 353-402
- 14) Iwa T, Kawasuji M: Surgical treatment of the Wolff-Parkinson-White syndrome. *日胸外会誌* **28**: 361-369, 1980 (in Japanese)
- 15) Magara T, Iwa T, Kobayashi H, Misaki T, Iwase T, Kawasuji M: Correlation between localization of accessory conduction pathway and body surface maps in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Resp & Circ* **29**: 1085-1089, 1981 (in Japanese)
- 16) 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
- 17) 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
- 18) Mizutani Y, Konishi H, Kuriki S: Detection of the somatically evoked field near the neck using a SQUID. *Iyodenshi To Seitai Kogaku* **23**: 101-107, 1985 (in Japanese)
- 19) Isobe Y, Mizutani Y, Kuriki S: Measurement of auditory evoked fields elicited by pure tone stimuli and location of source. *Iyodenshi To Seitai Kogaku* **24**: 371-378, 1986 (in Japanese)
- 20) 磯部安志, 水谷好成, 栗城真也: 聴覚誘発脳磁界における信号源の推定. *信学技報 MBE* **86-26**: 33-40, 1986
- 21) Isobe Y, Mizutani Y, Kurishiro S: Measurement of auditory evoked fields and location of signal sources. *Iyodenshi to Seitai Kogaku* **25**: 121-127, 1987 (in Japanese)
- 22) Katila T, Montonen M, Makijarvi M, Nenonen J, Raivio M, Siltanen P: Localization of the accessory cardiac conduction pathway. *in* *Biomagnetism* (ed by Atsumi K, Kotani M, Ueno S, Katila T, Williamson SJ), Tokyo Denki University Press, Tokyo, 1987, p 274-279
- 23) 森 博愛, 中屋 豊, 村上 昌, 野村昌弘, 竹内明美: 医療における人体磁界測定の有効性——心磁図の効力. *低温工学* **22**: 233-241, 1987
- 24) Rosenbaum FF, Hecht HH, Wilson FN, Johnston FD: The potential variations of the thorax and the esophagus in anomalous atrioventricular excitation (Wolff-Parkinson-White syndrome). *Am Heart J* **29**: 281-326, 1945
- 25) Ohnell RF: Pre-excitation, a cardiac abnormality. *Acta Med Scand (Suppl)* **152**: 74, 1944
- 26) Boineau JP, Moore EN, Spear JF, Sealy WC: Basis of static and dynamic electrocardiographic variations in Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am J Cardiol* **32**: 32-45, 1973
- 27) Ferrer MI: Pre-excitation. *Futura*, New York, 1976
- 28) Ueda H, Nameki C, Saruta H, Kawamura H,

- Yoshida A, Tsuzuki A: Further studies on the WPW syndrome. (Preexcitation syndrome) with special reference to the intracardiac and esophageal lead. *Jpn Circ J* 21: 361-367, 1957
- 29) Gallagher JJ, Pritchett EC, Sealy WC, Kasell J, Wallace AG: The preexcitation syndrome. *Prog Cardiovasc Dis* 20: 285-327, 1978
- 30) Tonkin AM, Wagner GS, Gallagher J, 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
- 31) Ueda H, Harumi K, Shimomura K, Yamamoto H, Sugimoto T: A vector-cardiographic study of WPW syndrome. *Jpn Heart J* 7: 255-268, 1966
- 32) 上田英雄, 山本英雄, 下村克朗, 春見健一: WPW 症候群のベクトル心電図学的研究. *最新医学* 22: 2350-2358, 1967
- 33) Ticzon AR, Damato AN, Caracta AR, Russo G, Foster JR, Lau SH: Intraventricular septal motion during preexcitation and normal conduction in Wolff-Parkinson-White syndrome: Echocardiographic and electrocardiographic correlation. *Am J Cardiol* 37: 840-847, 1976
- 34) Chanddra MS, Kerber RE, Brown DD, Funk DC: Echocardiography in Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 53: 943-946, 1976
- 35) DeMaria AN, Vera Z, Neumann A, Mason DT: Alteration in ventricular contraction pattern in the Wolff-Parkinson-White syndrome. Detection by echocardiography. *Circulation* 53: 249-257, 1976
- 36) Gimbel KS: Left ventricular posterior wall motion in patients with the Wolff-Parkinson-White syndrome. *Am Heart J* 93: 160-171, 1977
- 37) Gallagher JJ, Sealy WC, Wallace AG, Kasell J: Correlation between catheter electrophysiological studies and findings on mapping of ventricular excitation in the Wolff-Parkinson-White syndrome. *in* The Conduction Tissue of the Heart. ed by Wellens HJJ, Lie KI, Janse MJ. HE Stenfert Kroese BV, Leiden, 1976
- 38) Gallagher JJ, Gilbert M, Svenson RH, Sealy WC, Kasell J, Wallace AG: Wolff-Parkinson-White syndrome. The problem, evaluation, and surgical correction. *Circulation* 51: 767-785, 1975
- 39) Kamakura S, Shimomura K, Ohe T, Matsuhisa M, Toyoshima H: The use of body surface maps in patients with WPW syndrome as a means to predict the localization of bypass tract. *Jpn J Electrocardiol* 4: 439-444, 1984 (in Japanese)
- 40) Oguri H, Lux RL, Burgess MJ, Wyatt RF, Abildskov JA: Body surface distribution of QRS deflection areas in experimental ventricular pre-excitation. *J Electrocardiol* 13: 237-244, 1980
- 41) Tsunakawa H, Hoshino K, Kanesaka S, Harumi K, Okamoto Y, Teramachi Y, Musha T: Estimation of the position of Kent bundle in WPW syndrome from the body surface potential mapping. *Jpn Heart J (Suppl)* 23: 403-405, 1982
- 42) Spach MS, Barr RC, Lanning CF: Experimental basis for QRS and T wave potential in the WPW syndrome: The relation of epicardial to body surface potential distributions in the intact chimpanzee. *Circ Res* 15: 103-118, 1978
- 43) Benson DW, Sterba R, Gallagher JJ, Walston A, Spach MS: Localization of the site of ventricular pre-excitation with body surface maps in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome. *Circulation* 65: 1259-1268, 1982
- 44) 岡島光治, 和田正敏, 外畑 巖: WPW 症候群の体表面心臓電位分布図. *心臓* 6: 784-796, 1974
- 45) Yamada K, Toyama J, Wada M, Sugiyama S, Sugeno Y, Toyoshima H, Mizuno Y, Sotohata I, Kobayashi T, Okajima M: Body surface isopotential mapping in Wolff-Parkinson-White syndrome: Non-invasive method to determine the localization of the accessory atrioventricular pathway. *Am Heart J* 90: 721-734, 1975
- 46) 小栗 孟: WPW 症候群の実験及び臨床的研究——体表面心臓電位分布図による早期興奮部位の診断. *Jpn Circ J* 42: 67-75, 1978
- 47) Misaki T: Study on surgical treatment of Wolff-Parkinson-White syndrome: Fundamental and clinical study on location of accessory pathway. *日胸外会誌* 27: 887-901, 1979 (in Japanese)
- 48) Magara T: Correlation between body surface isopotential maps and location of accessory conduction pathways in WPW syndrome. *日胸外会誌* 32: 535-545, 1984 (in Japanese)
- 49) Watanabe S, Yagi Y, Shiikawa A, Kurosawa H, Endo M, Koyanagi H: Diagnosis of the site of accessory atrioventricular pathways (so-called "Kent's bundle") by atrial epicardial isochrone mapping—an experimental study. *Resp & Circ* 35: 639-645, 1987 (in Japanese)
- 50) Watanabe S, Yagi Y, Shiikawa A, Endo M, Koyanagi H, Kasanuki H, Tanaka K: Diagnosis of the site of accessory atrioventricular conduction pathways by body surface mapping—An experimental study using *IN SITU* isolated beating heart model. *Resp & Circ* 36: 403-410, 1988 (in Japanese)

- 51) Ambroggi LD, 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
- 52) Boineau JP, Moore EN, Spear JF, Sealy WC:

Basis of static and dynamic electrocardiographic variations in Wolff-Parkinson-White syndrome: Anatomic and electrophysiologic observations in right and left ventricular preexcitation. *Am J Cardiol* **32**: 32-45, 1973