

論文目録

報告番号	乙医第 / / 47号	氏名	竹内明美
論文			
題目	正常および心房負荷疾患における心磁図P波に関する研究		
著者	竹内明美, 中屋 豊		
	平成2年6月25日発行 四国医学雑誌 第46巻 第3号 185~200ページに発表済		
参考論文			
1.	Magnetocardiographic P waves in normal subjects and patients with mitral stenosis (正常および僧帽弁狭窄の心磁図P波) 昭和61年9月発行 Japanese Heart Journal 27巻 621~633ページに発表済		
2.	The P wave in the magnetocardiogram (心磁図P波) 昭和63年11月発行 Journal of Electrocardiology 21巻 2号 161~167ページに発表済		
3.	Isomagnetic maps in right ventricular overloading (右室負荷疾患の磁界図) 昭和63年11月発行 Journal of Electrocardiology 21巻 2号 168~173ページに発表済		
4.	Analysis of the T wave of the magnetocardiogram in patients with essential hypertension by means of		

isomagnetic and vector arrow maps

(磁界図とベクトル分布図による高血圧患者心磁図T波の解析)

昭和63年11月発行 Journal of Electrocardiology 2 / 巻

2号 / 74~82ページに発表済

5. Magnetic field of atrial depolarization

(心房脱分極の磁界)

平成元年発行 Medical Progress through Technology / 4巻

73~80ページに発表済

## 竹内明美 論文内容要旨

題目 正常および心房負荷疾患における心磁図P波に関する研究

著者 竹内明美, 中屋 豊

平成2年6月25日発行 四国医学雑誌 第46巻 第3号

185~200ページに発表済

## 内容要旨

心電図と心磁図は同じ電気現象をとらえたものであるが、磁界と電流はその物理学的特性が異なることより、得られる情報は必ずしも同一ではない。一般に心房興奮は心房壁に平行に伝播するため、前胸壁に垂直に保持したSQUID磁束計は心房の起電力を極めて鋭敏に記録する。しかしながら、心磁図QRS波に関する報告は散見されるが、心房脱分極波(P波)はその振幅が小さいため、未だ系統的な研究は行われていない。本研究においては、心磁図法の心房負荷診断における有用性を明らかにするために、心磁図P波の正常所見および心房負荷時の変化を検討した。

対象は、健常群60例、右房負荷群12例、左房負荷群21例で、これらの心磁図P波を前胸部30点において記録した。また、P波各時相の起電力を解析するために、健常群60例、右房負荷群28例、左房負荷群40例について等磁界図を作成し、各瞬時に於ける心起電力の推定を行った。

得られた結果は以下の通りである。

1. 健常群の心磁図P波は、前胸部左上方で陰性、右下方で陽性であり、ビオ・サバールの法則により推定される起電力は心房脱分極期全体を通じて左下方へ向かった。
2. 右房負荷群の心磁図P波は胸骨左縁で振幅の増大を認め、増大した右房の心起電力の反映と考えられた。左房負荷群の心磁図P波は胸骨左縁で $\bar{\pi}$ 型の二相

性を示し、その陽性相の振幅の増大がみられた。

3. 心房負荷例の心磁図P波の特徴的所見と健常群における正常値に基づき、以下の心磁図心房負荷診断基準を設定した。

1) 右房負荷診断基準; C-2における陰性波の振幅 $\geq 3.2 \times 10^{-12}$  tesla

2) 左房負荷診断基準; C-2における $\bar{\pi}$ 型二相性P波の陽性相の振幅 $\geq 1.5 \times 10^{-12}$  tesla

4. 本診断基準の感度および特異度を心電図心房負荷診断基準と比較した。右房負荷診断に関する感度は心電図法25%、心磁図法75%で、心磁図法が有意に高かった。左房負荷診断に関する感度は心電図法29%、心磁図法43%で、有意差はみられないが心磁図法で高い傾向がみられた。特異度は両法とも98~100%で、有意差は認められなかった。

5. 健常例の磁界図は、負領域が左上方に、正領域が右下方にあり、推定される二重極は前胸部中央にあって左下方へ向く。右房負荷例はほぼ健常例と同様のパターンを示すが、等磁界線は密になり、極大値および極小値の絶対値増大を示す。推定される二重極は健常例と同様に左下方を向き、増大した右房の心起電力を反映していると考えられた。左房負荷例の磁界図は、心房脱分極期後半に右下方から左方へ正領域が広がり、左下方へ向かう二重極と左上方へ向かう二重極の複数二重極の併存を認めた。

以上のように、心房負荷の心磁図P波は健常例および各心房負荷疾患で特徴的所見を示した。特に心磁図は右房負荷の診断で高い陽性率を示し、左房負荷例では、心電図でとらえられない心起電力の把握が可能であり、本法が心房負荷診断に有用であると考えられた。

③

正常および心房負荷疾患における心磁図P波に関する研究

竹内明美, 中屋 豊

徳島大学医学部第二内科学教室 (主任: 森 博愛 教授)

(平成2年3月24日受付)

*Studies on the magnetocardiographic P wave in normal subjects and patients with atrial overloading*

*Akemi Takeuchi and Yutaka Nakaya*

*The Second Department of Internal Medicine, School of Medicine, The University of Tokushima, Tokushima*

*(Director: Prof. Hiroyoshi Mori)*

## 正常および心房負荷疾患における心磁図P波に関する研究

竹内 明美, 中屋 豊

徳島大学医学部第二内科学教室 (主任: 森 博愛 教授)

(平成2年3月24日受付)

### *Studies on the magnetocardiographic P wave in normal subjects and patients with atrial overloading*

*Akemi Takeuchi and Yutaka Nakaya*

*The Second Department of Internal Medicine, School of*

*Medicine, The University of Tokushima, Tokushima*

*(Director: Prof. Hiroyoshi Mori)*

#### SUMMARY

The magnetocardiogram (MCG) was recorded at 30 points on the anterior chest wall of 60 normal subjects, 12 patients with right atrial overloading (RAO) and 21 with left atrial overloading (LAO). We studied the P wave of the MCG to investigate the characteristic features of the P wave of the MCG. We established the MCG criteria for RAO and LAO and compared sensitivity and specificity of the MCG criteria with those of ECG criteria.

The isomagnetic maps of 60 normal subjects, 28 patients with RAO and 40 with LAO were recorded to analyze the instantaneous current source in atrial depolarization.

The results were as follows:

1 In normal subjects, the MCG P wave was negative at left upper portions and positive at right lower portions, suggesting the current source directed inferiorly and to the left, according to "Biot-Savart law".

2 Negative amplitude of P wave increased at the left sternal border in the patients with right atrial overloading. Biphasic P wave of negative-positive type with increased amplitude of the positive component was frequently observed at the left parasternal region in the patients with left atrial overloading.

3 Based on the characteristic features of the MCG P wave in the patients with atrial overloading, the MCG criteria of atrial overloading were set as follows.

- 1) RAO criterion: negative amplitude in C-2  $\geq 3.2 \times 10^{-12}$  tesla,
- 2) LAO criterion: positive deflection of a biphasic P wave in C-2  $\geq 1.5 \times 10^{-12}$  tesla

The specificities of these criteria were 100% and 98%, respectively.

4 The sensitivity of MCG criterion for the diagnosis of RAO was significantly higher (75%) than that of the ECG criteria (25%). The sensitivity of MCG criterion for the diagnosis of LAO was slightly higher (43%) than that of ECG (29%), but not different significantly.

5 In the isomagnetic map of a normal subject, the negative area was located in the left upper part and the positive area was located in the right lower part. The deduced dipole

was located in the central portion of anterior chest and directed inferiorly and to the left.

6 In a patient with RAO, pattern of the isomagnetic map was similar to that of the normal subject, but the isomagnetic lines distributed more densely in the former indicating the significant increase of the intensity of the magnetic field of the minimum and maximum.

7 Two dipoles were deduced simultaneously in an isomagnetic map of the patients with LAO, one was directed inferiorly to the left and the other was directed to the left.

The MCG P wave of the patients with atrial overloading recorded by a superconducting quantum interference device (SQUID) with a second derivative gradiometer showed characteristic features. Sensitivity for the diagnosis of RAO was much higher in MCG than ECG, because the excitation of the atrial wall spread tangentially along the atrial wall.

The MCG could detect multiple dipoles more sensitively because of its excellent facility of the spatial resolution.

(received March 24, 1990)

Key words : magnetocardiogram, P wave, right atrial overloading, left atrial overloading

心筋興奮に伴って生じる心起電力は、同時に胸郭周囲に弱い磁界を作る。この磁界を鋭敏な磁束計を用いて記録したものが心磁図であり (Baule, McFee, 1963; Cohenら, 1970), 心電図と心磁図は密接な関係を有する。しかし、電気と磁気とは物理学的性質が異なるため、磁界の測定は電圧測定とは異なる心起電力情報を提供し得る可能性がある (Plonsey, 1972; Rush, 1975; Fujinoら, 1984; Cohen, 1975)。

近年、二次勾配型 SQUID (superconducting quantum interference device) が開発され、何ら磁気シールドを行うことなく、安定した心臓磁界の記録が可能となった (Zimmermanら, 1970; Opferら, 1974)。著者らは、心磁図心房脱分極波 (P波) の正常所見および心房負荷時の変化を明らかにすると共に、心房負荷の心磁図診断基準を設定し、心磁図法の心房負荷診断における有用性を明らかにするために本研究を行った。

#### 研究対象および方法

##### 1 研究方法

##### 1.1 研究対象 (Table 1)

1) 心磁図法による心房負荷診断基準作成のために用いた研究対象 (Study I)

正常および心房負荷例の心磁図P波の特性を明らかにし、これらに基づいて心磁図法による心房負荷診断基準を作成し、心房負荷例における診断精度を検討するために、健常群 60 例、右房負荷疾患群 12 例 (右房負

荷群) および左房負荷疾患群 21 例 (左房負荷群) の計 93 例について心磁図および標準誘導心電図を記録した。

a. 健常群; 心肺疾患の既往歴がなく、理学的所見および標準誘導心電図所見が正常、安静時血圧 140/90 mmHg 以下で、臨床的に健常と考えられる例を用いた。これらの例の性別は男性 41 例、女性 19 例で、年齢は  $49.1 \pm 12.8$ , 26~76 才 (平均  $\pm$  標準偏差, 範囲) である。

b. 右房負荷群; 臨床的諸検査により診断した心房中隔欠損 5 例、原発性肺高血圧 3 例、Fallot 四徴 2 例および肺動脈狭窄 2 例の計 12 例を用いた。これらの例の性別は男性 4 例、女性 8 例で、年齢は  $36.5 \pm 16.4$ , 15~72 才である。これらの例はいずれも右心カテーテル法により測定した右室収縮期圧 30 mmHg 以上の例である。

c. 左房負荷群; 臨床的諸検査により診断した僧帽弁狭窄 12 例、高血圧 6 例、連合弁膜症 3 例、計 21 例を用いた。これらの例の性別は男性 6 例、女性 15 例で、年齢は  $44.9 \pm 12.7$ , 33~75 才である。これらの例では、いずれも心エコー法で計測した左房径が 35 mm 以上であった。

2) 正常および心房負荷時の等磁界図の検討に用いた研究対象 (Study II)

a. 健常群; 心房負荷診断基準作成のために用いた研究対象と同様の基準により、健常と判定した 60 例を

用いた。これらの例の性別は男性 43 例、女性 17 例で、年齢は  $49.1 \pm 12.8$ , 26~77 才である。

b. 右房負荷群; 臨床的諸検査により診断した心房中隔欠損 11 例、肺動脈狭窄 6 例、連合弁膜症 4 例、Fallot 四徴 4 例、肺高血圧 2 例、肺高血圧を伴う僧帽弁狭窄 1 例の計 28 例で、いずれも右心カテーテル法により測定した右室収縮期圧 30 mmHg 以上の例である。これらの例の性別は男性 11 例、女性 17 例で、年齢は  $39.1 \pm 14.0$ , 15~72 才である。

c. 左房負荷群; 臨床的諸検査により診断した高血圧 14 例、僧帽弁狭窄 12 例、連合弁膜症 9 例、心筋症 5 例の計 40 例を用いた。これらの例は、いずれも心エコー法を用いて測定した左房径が 35 mm 以上で、性別は男性 17 例、女性 23 例で、年齢は  $48.7 \pm 12.7$ , 20~75 才である。

##### 1.2 心磁図記録方法

心磁図記録には、二次勾配型 SQUID 磁束計 (BTi 社, model BMP) を用いた (Fujinoら, 1984; Nakayaら, 1984; Sumiら, 1986)。被検者を木製ベット上に仰臥させ、SQUID を内蔵した液体ヘリウム容器先端を被検者の前胸壁に接触しない範囲でできるだけ近づけ、前額面に垂直な法線方向磁界を記録した。

SQUID 出力は前置増幅器 (フクダ電子, UA220) を介して主増幅器 (フクダ電子, MCM8000) に導き、インク書き直式記録計 (日本光電, RIJ2108) を用いて、心磁図および標準誘導心電図 II 誘導を 25 mm/秒

の速度で同時記録した。後者は磁界図作成のための time reference として用いた。記録感度は、 $1.39 \times 10^{-12}$  tesla/mm とし、 $7.0 \times 10^{-13}$  tesla 以下を低振幅 (low) と記載した。

Fig. 1 は心磁図記録部位を示す。縦軸としては、心

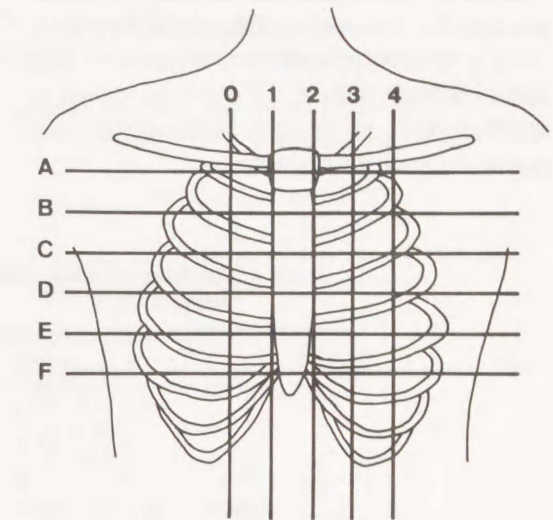


Fig. 1 Recording sites for the MCG. Vertical lines pass through  $V_{3R}$ ,  $V_1$  to  $V_4$  (0-4) of the ECG. Horizontal lines pass through the first to the sixth intercostal lines (A-F). MCGs were recorded at the intersections of these lines.

Table 1 Subjects

The subjects for the study I were used to determine the characteristic features of the MCG P wave in normal subjects and right and left atrial overloading and to set the MCG criteria for the diagnosis of atrial overloading. The subjects for the study II were used to examine the isomagnetic maps of these groups.

Group	No.	Sex		Age (ys.)		Clinical diagnosis	
		M	F	mean $\pm$ SD	(Range)		
Study I	Normal	60	41	19	$49.1 \pm 12.8$	(26~76)	
	RAO	12	4	8	$36.5 \pm 16.4$	(15~72)	ASD 5, PH 3, T/F 2, PS 2
	LAO	21	6	15	$44.9 \pm 12.7$	(33~75)	MR 12, HT 6, VD 3
Study II	Normal	60	43	17	$49.1 \pm 12.8$	(26~77)	
	RAO	28	11	17	$39.1 \pm 14.0$	(15~72)	ASD 11, PS 6, VD 4, T/F 4, PH 2, MS 1
	LAO	40	17	23	$48.7 \pm 12.7$	(20~75)	HT 14, MS 12, VD 9, ICM 5

No.: number of patients, M: Male, F: Female, SD: standard deviation, RAO: right atrial overloading, LAO: left atrial overloading, ASD: atrial septal defect, PH: pulmonary hypertension, T/F: tetralogy of Fallot, PS: pulmonic stenosis, MS: mitral stenosis, HT: hypertension, VD: valvular heart disease, ICM: idiopathic cardiomyopathy

電図の  $V_{3R}, V_{1-4}$  を通り身体長軸に平行な線 (0~4), 横軸としては第 1~6 肋間胸骨縁における水平線 (A~F) を用い, これらの交点の 30 カ所で心磁図を記録した。

1.3 等磁界図作成方法

標準誘導心電図 II 誘導 P 波の起始部から 20 msec 毎に前胸部 30 点における心磁図 P 波の振幅を計測し, Nakaya ら (1984) の方法を用いて  $7.0 \times 10^{-13}$  tesla 間隔で等磁界図を作成した。このようにして作成した等磁界図に基づいて, 極大値および極小値, それらの出現部位および出現時間を測定した。

Table 2 Incidence of each pattern of MCG P wave in normal subjects (%)

		0	1	2	3	4
A	+	3.3	0	0	0	0
	-	0	13.3	35.0	13.3	0
	干	0	0	0	0	0
	LOW	96.7	86.7	65.0	86.7	100.0
B	+	3.3	1.7	0	1.7	0
	-	0	33.3	71.7	28.3	1.7
	干	0	0	1.7	0	0
	LOW	96.7	86.7	26.7	70.0	98.3
C	+	8.3	0	0	1.7	0
	-	1.7	43.3	81.7	38.3	3.3
	干	0	0	11.7	3.3	0
	LOW	90.0	56.7	6.7	56.7	96.7
D	+	16.7	3.3	1.7	1.7	0
	-	1.7	30.0	70.0	21.7	0
	干	0	0	3.3	6.6	0
	LOW	81.7	66.7	25.0	70.0	100.0
E	+	18.3	8.3	1.7	0	0
	-	0	6.7	20.0	5.0	0
	干	0	0	0	0	0
	LOW	81.7	85.0	78.3	95.0	100.0
F	+	11.7	11.7	1.7	1.7	0
	-	0	0	3.3	3.3	0
	干	0	0	0	0	0
	LOW	88.3	88.3	95.0	95.0	100.0

A-F, 0-4: Same as in Fig. 1,  
+ : positive wave, - : negative wave, 干 : negative-positive biphasic wave, Low : amplitude  $< 7.0 \times 10^{-13}$  tesla

研究成績

1 健常者の心磁図 P 波

Fig. 2 に健常例の心電図および心磁図を示す。健常群の心磁図 P 波は全般的に低振幅であるが, 前胸部左上方 (A~D-1~3) で陰性, 右下方 (D~F-0) で陽性で, 「ビオサパールの法則」に基づき, 前胸部中央にあって左下方に向かう心起電力が推定された。

Table 2 は, 健常群において前胸壁面各部における心磁図 P 波の波形別出現頻度を示す。Tables 3, 4 は健常群, 右房および左房負荷群において, 各部における

心磁図 P 波の陽性波および陰性波の振幅の平均値と標準偏差を示す。健常群における陽性波の振幅は F-1 で最も高く ( $1.35 \times 10^{-12}$  tesla), 陰性波は C-2 で最も低い値を示した ( $-1.79 \times 10^{-12}$  tesla)。

2 右房負荷群の心磁図 P 波

Fig. 3 は, 右房負荷例の心電図および心磁図の一例を示す。右房負荷例の心磁図 P 波の波形分布は, 健常群のそれに類似し, 前胸部左上方 (A~C-1~4) で陰性, 右下方 (B~F-0~1) で陽性であった。しかし P 波の振幅は増大し, 左下方に向かう起電力増大が推定さ

Table 3 Amplitude of the positive deflection of MCG P wave in the normal, RAO and LAO groups

		0	1	2	3	4
A	Normal	1.11±0.39 (n=2)				
	RAO	1.39 (n=2)				
	LAO					
B	Normal	1.39 (n=2)				
	RAO	1.39±0.22 (n=4)		1.63±0.40 (n=3)		
	LAO			2.34±0.95 (n=4)	1.43±0.68 (n=7)	
C	Normal	1.20±0.19 (n=5)		1.01±0.25 (n=7)	1.01±0.56 (n=3)	
	RAO	1.78±0.61 (n=5)		2.78±1.80 (n=3)	1.74±0.49 (n=2)	
	LAO	1.57±0.43 (n=3)	1.35±0.56 (n=3)	2.06±1.01** (n=11)	2.00±0.77 (n=12)	1.31±0.54 (n=5)
D	Normal	1.14±0.38 (n=10)	0.90±0.29 (n=2)	1.57±1.67 (n=3)	1.11±1.96 (n=5)	
	RAO	2.31±0.77** (n=8)	1.95±1.00 (n=4)			
	LAO	1.75±0.67* (n=7)	1.43±0.72 (n=6)	2.00±0.83 (n=9)	2.10±1.25 (n=9)	1.53±0.97 (n=3)
E	Normal	1.26±0.26 (n=11)	1.18±0.36 (n=5)			
	RAO	1.95±0.77* (n=11)	2.47±1.45 (n=6)			
	LAO	1.72±0.57* (n=9)	1.57±0.42 (n=4)	1.60±0.22 (n=6)	1.71±0.93 (n=4)	1.25±1.19 (n=2)
F	Normal	1.09±0.39 (n=7)	1.35±0.50 (n=7)		2.78±1.70 (n=2)	
	RAO	2.07±0.78* (n=9) †	2.10±0.74* (n=7)	1.35±0.49 (n=3)		
	LAO	1.40±0.35 (n=8)	0.53±0.30 (n=6)	1.11±0.38 (n=3)		

Each value represents mean±standard deviation ( $\times 10^{-12}$  tesla). n : number of patients,  
\* p<0.05, \*\* p<0.01 (vs. normal group); † p<0.05.  
Other abbreviations are as for Fig. 1.

れた。

Table 5 は、右房負荷群における、前胸壁面各部での心磁図P波の波形別出現頻度を示す。健常群でP波が低振幅を示した部位においても、右房負荷群では有意な振幅増大を認めた。

右房負荷群では、P波の陽性波の振幅はD-0, E-0 および F-0, 1 で、また陰性波の振幅は A-1, B-2, C-1~3 および D-1~3 で有意な増大を認めた (Tables 3, 4)。

3 左房負荷群の心磁図P波

Fig. 4 に左房負荷例の心電図および心磁図の一例を

Table 4 Amplitude of the negative deflection of MCG P wave in the normal, RAO and LAO groups

		1	2	3	4
A	Normal	-1.22±0.36 (n=8)	-1.39±0.61 (n=21)	-1.17±0.48 (n=8)	
	RAO	-1.72±0.36* (n=5) †	-1.78±0.74 (n=8)	-1.42±0.40 (n=5)	
	LAO	-1.25 (n=2)	-1.52±0.50 (n=10)	-1.25±0.80 (n=8)	
B	Normal	-1.35±0.33 (n=20)	-1.77±0.36 (n=44)	-1.28±0.33 (n=17)	
	RAO	-1.86±0.82 (n=11)	-2.91±0.84** (n=12)	-1.83±0.74* (n=11)	-1.49±0.56 (n=3)
	LAO	-1.63±0.67 (n=11)	-2.10±1.20 (n=18)	-1.43±0.73 (n=11)	-1.76±0.09 (n=2)
C	Normal	-1.42±0.40 (n=26)	-1.79±0.68 (n=56)	-1.20±1.25 (n=25)	-1.04±0.09 (n=2)
	RAO	-2.49±1.17* (n=10) †	-4.75±1.95** (n=12) ††	-2.50±1.39* (n=11)	-1.58±0.56 (n=5) *
	LAO	-1.46±0.42 (n=15)	-2.52±1.42* (n=20)	-1.75±1.67 (n=15)	-1.25±0.83 (n=6)
D	Normal	-1.27±0.39 (n=18)	-1.61±0.82 (n=44)	-1.15±0.35 (n=17)	
	RAO	-2.59±1.17* (n=7) †	-3.92±1.70** (n=12) †	-2.42±0.97** (n=10)	-1.81±0.99 (n=2)
	LAO	-1.31±0.29 (n=9)	-2.17±1.33 (n=13)	-2.02±1.81 (n=8)	-1.01±0.44 (n=4)
E	Normal	-1.29±0.31 (n=4)	-1.65±0.86 (n=12)	-1.07±0.34 (n=3)	
	RAO	-1.11±0.39 (n=2)	-2.10±0.68 (n=8)	-0.88±0.76 (n=5)	
	LAO	-1.77±0.44 (n=3)	-1.83±1.10 (n=9)	-1.81±1.47 (n=3)	
F	Normal		-1.39 (n=2)		
	RAO LAO				

\*\* p<0.005 (vs. normal group); †† p<0.005. Other abbreviations are as for Table 3.

示す。左房負荷時には、胸骨左縁 (C-2, 3; D-2) で干型の二相性P波を認めた。Table 6 に左房負荷群における前胸壁面各部での心磁図P波の波形別出現頻度を示す。左上方の誘導では健常群に比べて陰性波の出現頻度を減じ、干型の二相性P波を高頻度に認めた。他方、陽性波の有意な振幅の増大は胸骨左縁 (C-2) および胸骨右縁下方 (D-0, E-0) でみられた (Table 3)。

Table 7 は、健常群および左房負荷群における、C, D-2, 3 での干型二相性P波陽性波振幅の平均値と標準偏差および両群の平均値の統計的比較成績を示す。左房負荷群におけるC-2, 3 での陽性波振幅は、健常群に比べて有意な増大を示した。

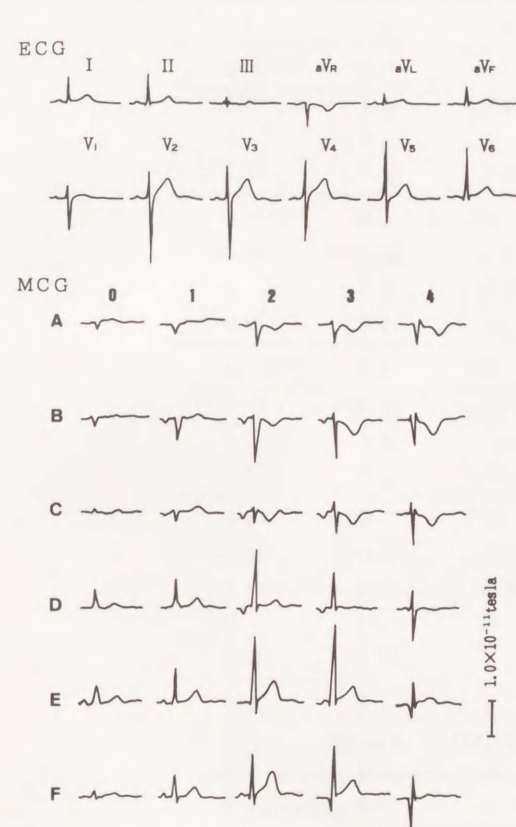


Fig. 2 ECG and MCG of a normal subject  
Male, 32 years old. The P wave is negative at B, C-1; B, C, D-2, 3 and E-3 and positive at D, E, F-0; E, F-1 and F-2. The current source deduced from the MCG is directed inferiorly and to the left.  
ECG: electrocardiogram,  
MCG: magnetocardiogram.  
Other abbreviations are as for Fig. 1.

4 心房負荷の心磁図診断基準

右房負荷群の心磁図P波の特徴は、前胸部中央の陰性波振幅の増大であるため、健常群と有意差を認めたC-2 および D-2 の陰性波振幅増大を右房負荷診断基準項目として用いた。

他方、左房負荷群の心磁図P波の特徴は、胸骨左縁における干型の二相性P波で、特にその陽性波振幅の増大が特徴的であった。従って、健常群と有意差を認めたC-2 および D-2 における干型二相性P波の陽性波の振幅を左房負荷診断基準項目として用いた。

これらの右房および左房負荷診断基準項目について、健常群における平均値+2×標準偏差を基準値として

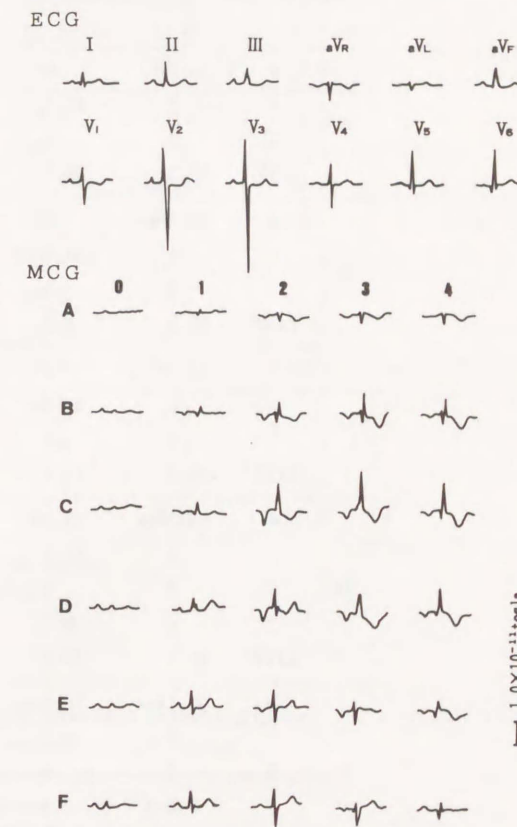


Fig. 3 ECG and MCG of a patient with RAO  
Female, 46 years old, primary pulmonary hypertension. The P wave in the ECG does not satisfy the criteria of the right atrial overloading. In the MCG, the negative amplitude of the P wave is increased at B, C, D-2.  
Abbreviations are as for Fig. 2.



用い, Table 8 に示すような心磁図診断基準を作成した。

5 心房負荷の心磁図診断精度と心電図法との比較  
健康群 60 例, 右房負荷群 12 例および左房負荷群 21 例における心房負荷の心磁図診断基準の感度および特異度を Table 8 に示す。

右房負荷診断基準については, C-2 および D-2 に関する項目は共に 75% の感度を示し, 特異度は各 100% および 97% で, 感度および特異度共に高かった。

左房負荷診断基準については, C-2 および D-2 に関する項目の感度は各 43% および 23%, 特異度は各 98%

Table 5 Incidence of each pattern of MCG P wave in the RAO group (%)

	0	1	2	3	4
A	+	16.7	0	0	0
	-	0	41.7	66.7	41.7
	±	0	0	0	0
	LOW	83.3	58.3	33.3	58.3
B	+	33.3***	0	0	0
	-	0	91.7***	75.0	83.3***
	±	0	0	25.0*	8.3
	LOW	95.2	8.3	0	8.3
C	+	41.7**	0	0	8.3
	-	0	83.3*	75.0	83.3***
	±	0	0	25.0	8.3
	LOW	58.3	16.7	0	0
D	+	66.7***	25.0*	0	0
	-	0	50.0	91.7	75.0***
	±	0	0	8.3	8.3
	LOW	33.3	16.7	0	16.7
E	+	91.7***	50.0***	0	0
	-	0	16.7	66.7***	41.7***
	±	0	0	0	0
	LOW	8.3	25.0	33.3	58.3
F	+	75.0***	58.3***	25.0*	0
	-	0	0	8.3	8.3
	±	0	0	0	0
	LOW	25.0	41.7	66.7	91.7

\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.005 (vs. normal group).

±: positive-negative biphasic wave

Other abbreviations are as for Table 2.

および 100% で, 両者は共に高い特異度を示したが, 感度については前者が後者よりも高かった。そのため, 心磁図法による右房および左房負荷診断基準としては, いずれも C-2 を用いる基準を採用した。

これらの心磁図法による心房負荷診断基準と心電図法によるそれとの感度の比較成績を Tables 9, 10 に示す。

Table 9 は, 右房負荷についての心磁図および心電図診断基準の感度の比較を示す。この際, 右房負荷の心電図診断基準としては,  $V_1$  の P initial force  $\geq 0.06$  mm・秒または II 誘導の P 波の振幅  $\geq 0.25$  mV を用い

Table 6 Incidence of each pattern of MCG P wave in the LAO group (%)

	0	1	2	3	4
A	+	0	0	0	0
	-	0	9.5	47.6	38.1*
	±	0	0	0	0
	LOW	100.0	90.5	53.3	61.9
B	+	4.8	0	0	0
	-	0	52.4	66.7	19.0
	±	0	0	19.0*	33.3***
	LOW	95.2	47.6	14.3	47.6
C	+	14.3	4.8	0	9.5
	-	4.8	61.9	42.9***	23.8
	±	0	9.5	52.3***	47.6***
	LOW	81.0	23.8	4.8	19.0
D	+	33.3	19.0	9.5	14.3
	-	0	14.3	28.6*	9.5
	±	0	9.5	33.3***	28.6*
	LOW	66.7	38.1	28.6	47.6
E	+	42.9*	19.0	14.3	14.3
	-	0	14.3	28.6	9.5
	±	0	0	14.3*	4.8
	LOW	57.1	66.7	42.9	71.4
F	+	38.1*	28.6	14.3	4.8
	-	0	0	0	0
	±	0	0	0	0
	LOW	61.9	71.4	85.7	95.2

\* p<0.05, \*\*\* p<0.005 (vs. normal group).

Other abbreviations are as for Table 2.

Table 7 Amplitude of positive deflection of the negative-positive biphasic P wave in the normal and LAO group

Recording Position	Amplitude ( $\times 10^{-12}$ tesla)	
	Normal	LAO
C-2	1.01 $\pm$ 0.25 (n=7) < **	2.06 $\pm$ 1.01 (n=11)
C-3	0.70 (n=2) < ***	2.18 $\pm$ 0.72 (n=10)
D-2	1.53 $\pm$ 0.19 (n=2)	2.17 $\pm$ 0.77 (n=7)
D-3	0.88 $\pm$ 0.18 (n=4)	2.20 $\pm$ 1.46 (n=6)

Mean  $\pm$  standard deviation ( $\times 10^{-12}$  tesla), LAO: left atrial over-

loading, n: number of patients, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.005.

Other abbreviations are as for Fig. 1.

Table 8 MCG criteria for the diagnosis of RAO and LAO and their sensitivities and specificities (%)

	Sensitivity	Specificity
<b>RAO</b>		
Negative amplitude in C-2 $\geq 3.2 \times 10^{-12}$ tesla	75	100
Negative amplitude in D-2 $\geq 3.3 \times 10^{-12}$ tesla	75	97
<b>LAO</b>		
Positive amplitude in C-2 $\geq 1.5 \times 10^{-12}$ tesla	43	98
Positive amplitude in D-2 $\geq 1.9 \times 10^{-12}$ tesla	23	100

RAO: right atrial overloading, LAO: left atrial overloading.  
Other abbreviations are as for Fig. 1.

Table 9 Sensitivities of ECG and MCG criteria in the RAO group (%)

	Right ventricular pressure		Total
	30-59 mmHg n=4	60- mmHg n=8	
<b>ECG criteria</b>			
P initial force $V_1 \geq 0.06$ mm·sec	1 (25)	2 (25)	3 (25)
P amplitude in II $\geq 0.25$ mV	0 (0)	1 (13)	1 (8)
<b>MCG criteria</b>			
Negative amplitude in C-2 $\geq 3.2 \times 10^{-12}$ tesla	3 (75)	6 (75)	9 (75)

ECG: electrocardiogram, MCG: magnetocardiogram,  
n: number of patients, \*  $p < 0.05$  (vs. ECG)

Table 10 Sensitivities of ECG and MCG criteria in the LAO group (%)

	Left atrial dimension			Total
	35-38 mm n=3	39-42 mm n=10	43- mm n=8	
<b>ECG criteria</b>				
P terminal force $V_1 \geq 0.04$ mm·sec	2 (67)	2 (20)	2 (25)	6 (29)
Total P wave duration $\geq 110$ msec	0 (0)	2 (20)	2 (25)	4 (19)
<b>MCG criteria</b>				
Positive amplitude in C-2 $\geq 1.5 \times 10^{-12}$ tesla	2 (67)	2 (20)	5 (63)	9 (43)

Other abbreviations are as for Table 9.

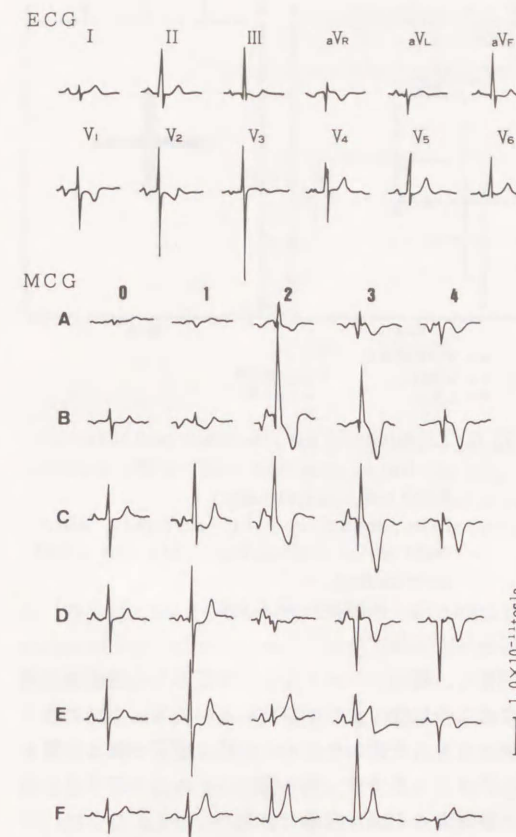


Fig. 4 ECG and MCG of a patient with LAO Female, 23 years old, mitral stenosis. In the ECG, R wave is high in  $V_{1-2}$  and T wave is negative in  $V_{1-2}$ , suggesting right ventricular hypertrophy. P terminal force in  $V_1$  is  $0.05$  mm·sec and the P wave is tall and peaked in I, II, III,  $aV_L$ ,  $aV_F$ ,  $V_{1,2}$ , suggesting biatrial overloading. The P wave in MCG shows a negative-positive biphasic pattern in leads B, C, D-2; C, D-3. Abbreviations are as for Fig. 2.

た。

右房負荷群は、心カテーテル法により得た右室収縮期圧が  $30$  mmHg $\sim$  $59$  mmHg および  $60$  mmHg 以上の 2 群に分け、これら 2 群における心磁図および心電図基準の感度を比較した。その結果、心電図基準の内、P initial force  $\geq 0.06$  mm·秒の感度は、右室収縮期圧  $30\sim 59$  mmHg の群で  $25\%$ 、 $60$  mmHg 以上の群で  $25\%$ 、II 誘導 P 波の振幅  $\geq 0.25$  mV の感度は、右室収縮期圧  $30\sim 59$  mmHg 群では  $0\%$ 、 $60$  mmHg 以上の群

では  $13\%$  で、後者の感度は著しく低かった。他方、心磁図基準の感度は、右室収縮期圧  $30\sim 59$  mmHg および  $60$  mmHg 以上の群の両群において何れも  $75\%$  で、心電図基準に比べて著しく高い感度を示した。

Table 10 は、左房負荷についての心磁図および心電図基準の感度を示す。この際、左房負荷の心電図基準としては、 $V_1$  の P terminal force  $\geq 0.04$  mm·秒、または II 誘導 P 波の幅  $\geq 0.11$  秒を用いた。

左房負荷群を、心エコー法により測定した左房径  $35$  mm $\sim$  $38$  mm 群、 $39$  mm $\sim$  $42$  mm 群および  $43$  mm 以上の群の 3 群に分け、これら各群における心磁図および心電図基準の感度を比較した。

心電図基準の内、 $V_1$  の P terminal force  $\geq 0.04$  mm·秒の感度は、左房径  $35\sim 38$  mm 群で  $67\%$ 、 $39\sim 42$  mm 群で  $20\%$ 、 $43$  mm 以上の群で  $25\%$  であった。また、II 誘導 P 波の幅  $\geq 0.11$  秒の感度は、左房径  $35\sim 38$  mm 群で  $0\%$ 、 $39\sim 42$  mm 群で  $20\%$ 、 $43$  mm 以上の群で  $25\%$  であった。他方、心磁図基準の感度は、左房径  $35\sim 38$  mm 群で  $67\%$ 、 $39\sim 42$  mm 群で  $20\%$ 、 $43$  mm 以上の群で  $63\%$  であった。このように、左房負荷の診断に関する心磁図および心電図基準の感度はほぼ同程度であった。

#### 6 等磁界図法による検討

健常者、右房負荷例および左房負荷例における心房脱分極初期、中期および後期における磁界図の各 1 例を Fig. 5 に示す。健常例の磁界図では、前胸部左上方に負領域、右下方に正領域を認め、前胸部中央部において左下方に向かう二重極が考えられた。

右房負荷例の磁界図は、健常者に類似したパターンを示したが、極大および極小値が増大し、左下方に向かう増大した二重極が推定された。

左房負荷例の磁界図では、心房脱分極前半は健常例とほぼ同様のパターンを示したが、後半では前胸部中央に正領域を認め、左方あるいは上方に向かう二重極が推定された。

健常群、右房および左房負荷群における極大 (Max)、極小 (Min)、これらの出現時間および出現部位を Table 11 および Fig. 6 に示す。

右房負荷群では、健常群に比べて極大および極小の絶対値の増大および極小出現時間の遅延を認めたが、極大および極小の出現部位には差がなかった。

左房負荷群では、健常群に比べて極大および極小の絶対値の増大、極大出現時間の著明な遅延および極大出現部位の左上方への偏位を認めた。

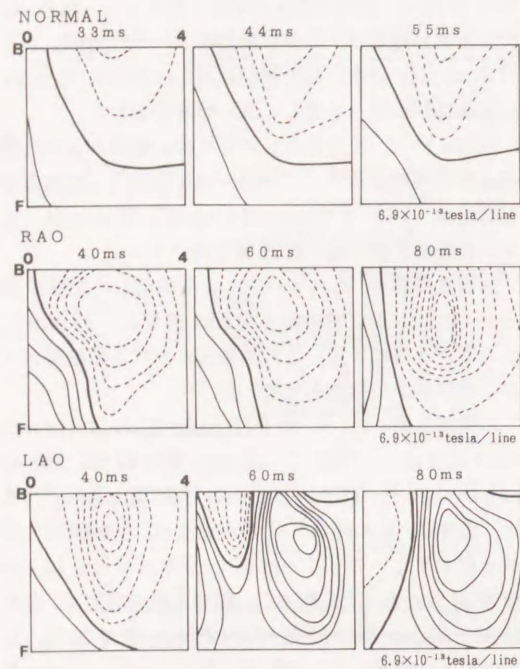


Fig.5 Isomagnetic maps of a normal subject and patients with RAO and LAO  
Upper panels (normal): There is a minimum at the left parasternal site and a maximum at the right lower site, suggesting a dipole directed inferiorly and to the left.  
Middle panels (RAO): The values of minimum is increased.  
Lower panels (LAO): The pattern of the map at 40 msec is similar with that of the normal subjects. At 60 msec, a positive area appears on the left side on the maps, suggesting the diipole directed to the left.  
— positive isomagnetic line;  
-----negative isomagnetic line

考 察

Baule, McFee (1963) は、最初にヒト心起電力により作られた磁界を記録し、これを心磁図 (magnetocardiogram) と名付けた。その後、Cohen ら (1970) は、磁気シールド室内で、SQUID を用いて良好な心磁図を記録し、以後、心磁図に関して多くの報告がなされている (Lepeschkin, 1976; Wiskwo, Barach, 1982; Leifer ら, 1986)。

Opfer ら (1976) は、互いに逆向きに接続した2個のコイル2対を組み合わせた二次勾配型磁束トランス

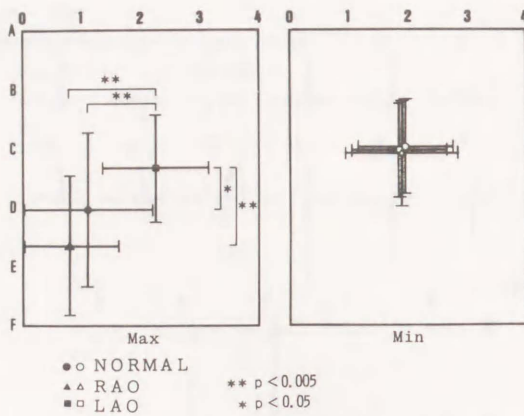


Fig.6 Locations of the maximum and minimum on the isomagnetic map in the normal, RAO and LAO groups  
Max: maximum, Min: minimum, RAO: right atrial overloading, LAO: left atrial overloading,  
\* p<0.05, \*\* p<0.005

を開発し、磁気シールドなしに安定した心磁図を記録できるようになった。本研究においても、このような磁束トランスを用いたため、一様な磁界や磁界勾配を打ち消すことができ、何ら磁気シールドを行うことなく、良好な心磁図を記録できた。

心磁図P波は、心電図P波に比べてR波に対する相対的な振幅増大を認めるとの報告があるが (Lepeschkin, 1974)、P波はQRS波やT波に比べてかなり小さいため、心磁図P波について詳細に検討した報告は見られない。

Lepeschkin (1974) および Saarinen ら (1974) は、心磁図P波は胸骨左方で陰性、前胸部右下方で陽性となることを報告している。本研究においても同様の結果を得たが、健常群における胸骨左縁での干型二相性P波の出現率はLepeschkin (1974) の報告に比べると低かった。

右房負荷例での前胸部における心磁図P波の分布様式および磁界図における極大および極小の出現部位は健常群とほぼ同様であったが、その絶対値の増大を認めた。これらの所見から、右房負荷時の心房脱分極期二重極は、右房起電力増大を反映し、心房脱分極期全体を通じて前胸部中央にあって、左下方に向かうと考えられた。

他方、左房負荷疾患では、健常例および右房負荷例とは明らかに異なる波形分布を示した。左房負荷群で

Table 11 Values of maximum and minimum and their time of appearance in the isomagnetic maps of the normal, RAO and LAO groups

		Amplitude ( $\times 10^{-12}$ tesla)	Time of appearance (msec)
<b>MAX</b>			
Normal	(n=27)	1.24 $\pm$ 0.37	69.6 $\pm$ 23.1
RAO	(n=27)	2.19 $\pm$ 0.88	69.6 $\pm$ 40.6
LAO	(n=26)	1.99 $\pm$ 0.95	99.2 $\pm$ 23.0
<b>MIN</b>			
Normal	(n=59)	1.84 $\pm$ 0.70	56.9 $\pm$ 15.2
RAO	(n=28)	3.44 $\pm$ 1.34	67.1 $\pm$ 21.9
LAO	(n=40)	2.47 $\pm$ 1.30	60.5 $\pm$ 18.2

Mean $\pm$ standard deviation, MAX: maximum, MIN: minimum, RAO: right atrial overloading, LAO: left atrial overloading, n: number of patients.  
\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.005

は、健常群に比べて胸骨左縁における干型二相性P波の出現率が有意に高く、かつ、有意な陽性相の振幅増大を認めた。

磁界図においては、心房脱分極期の前半では健常例と同様に胸骨左方に負領域、胸骨右下方に正領域を認め、左下方に向かう二重極が推定された。この二重極は、健常群および右房負荷群と同様に、右房興奮を反映すると考えられた。

他方、心房脱分極期後半には、正領域は前胸部右下方から中央に広がり、左上方あるいは左方に向かう二重極が推定された。これらの所見は、左房負荷例において、C-2 付近に干型の二相性P波を認める所見に対応する。

一般に、円電流や、大きさの等しい逆向きの2個の二重極は、外部に電位変化を生じないが、これらの電流源は外部に強い磁界を生じる。従って、心磁図法による磁界計測は多重極の記録に有利である。また、二次勾配型磁束計による磁界計測は側方への減衰は著しいが、検出コイル直下の磁界を反映し易く、位置分解能に優れている (Cohen, Hosaka, 1976; Hosaka ら, 1976)。心磁図法はこのような特性を有するため、左房負荷例の磁界図においては、左下方に向かう二重極と左方に向かう二重極の2個の二重極の存在を同時に推定することができ、これらはそれぞれ右房および左房興奮を反映すると考えられた。

従来、ヒトにおける心房脱分極期の体表面電位図では、極大および極小を各1個認めるのみであるが

(King ら, 1972; Kawano ら, 1983)、磁界図では左房および右房興奮を反映すると思われる複数二重極を認めることができ、磁界図による心起電力の解析は逆問題の解析に有用であることを示している。

右房負荷の心電図診断基準としては、P波の高電圧を用いる研究者が多く、Goldberger (1954)、Massie, Walsh (1960) および Ashman, Hull (1941) らは、肢誘導P波の振幅 $\geq$ 0.25 mV を右房負荷診断基準として用いている。しかし、この基準の感度は著しく低く、森らは肺動脈狭窄において、肢誘導P波がこの基準を満たす例は10%、胸部誘導では0%と報告している。

本研究においても、右房負荷疾患における心電図基準の感度は著しく低く、P initial force $\geq$ 0.06 mm $\cdot$ 秒の感度は右室収縮期圧30~59 mmHg の群で25%、60 mmHg 以上の群でも25%に過ぎず、II誘導P波の振幅 $\geq$ 0.25 mV の感度は右室収縮期圧30~59 mmHg の群で0%、60 mmHg 以上の群で13%と著しく低かった。

他方、心磁図基準の右房負荷群における感度は著しく高く、右室収縮期圧30~59 mmHg および60 mmHg 以上の両群において何れも75%であった。

心房興奮の特徴は、洞結節が右房にあるため、右房が先ず興奮し、ついで Bachmann 束を介して左房に興奮が伝わり、両房の興奮が非同期性を示すことである。しかし、Sodi-Pallares, Calder (1956) によると、両房興奮の重なりもかなりの程度に認められる。この際、心電図法では両房の興奮は合成されて単一な二重極と

して表現されるが, 二次勾配型 S Q UID による心磁界計測の際には, 右房興奮による二重極は, 左房興奮によるそれとは別個の二重極として強調して記録されるため, 高い診断感度を示すものと考えられる。

一般に, 心房壁における脱分極波は, 心房壁に沿って tangential に進むと考えられる。この際生じる興奮前面は, 前胸壁に平行に進むため, 前胸壁に垂直に保持した二次勾配型 S Q UID はこのような二重極により作られる磁界を極めて鋭敏に記録できる。

上記のような諸理由により, 心磁図法は心電図法に比べて右房負荷の診断に適することが期待され, 本研究結果はこの考えを支持している。

左房負荷の心電図診断基準としては, P 波の幅の拡大と  $V_1$  の P terminal force の絶対値の増大が広く用いられている。P 波の幅の正常値としては, Goldberger (1953) は 0.11 秒以下, Berger (1952) は 0.10 秒以下, New York 心臓協会 (1953) は 0.10 秒以下, Ashman, Hull (1941) は 0.08 秒 (0.06~0.11) とし, 正常上限として成人では 0.11 秒という値を示している。

左房負荷時には P 波の幅は拡大する。Saunders ら (1967) は, 僧帽弁狭窄 62 例のうち 69% は 0.11 秒以上であったとし, DeOliveira, Zimmerman (1959) は 41 例の僧帽弁狭窄例中, P 波の幅が 0.12 秒以上のものが 34% あったことを指摘している。新居 (1957) は拡大高速心電図法を用い, P 波の幅の正常値は  $102.3 \pm 8.9$  (80~120) msec で, 僧帽弁狭窄 76 例中, P 波の幅が 120 msec 以上の例は 42.1% であったことを報告している。本研究においては, 心電図診断基準の 1 つとして P 波の幅  $\geq 110$  msec を用いたが, この基準の感度は 19% であった。

$V_1$  の P terminal force は, Morris ら (1964) により導入された左房負荷診断のための心電図指標であり, 本基準を用いることにより左房負荷を 92% に診断し得ると報告している。新居 (1975) は, 拡大高速心電図法を用い,  $V_1$  の P terminal force  $\geq 0.04$  mm・秒の左房負荷診断精度は, 偽陽性率 0%, 僧帽弁狭窄 76 例における陽性率 85.7% と報告している。

Chirife (1975) らは, 心エコー法により計測した左房径と心電図 P 波との間に 0.746,  $V_1$  の P terminal force との間に 0.491 の有意の正相関を認め, 左房径 38 mm 以上を左房拡大とすると, P 波の幅の拡大の左房拡大診断における感度は 100%, 特異度は 89%;  $V_1$  の P terminal force のそれらは各 75% および 83% であったと報告している。本研究においては左房径

35 mm 以上の例における本基準の感度は 29% で, 38 mm 以上の例では 22% であった。

他方, 心磁図法による左房負荷診断基準の感度は 43% で, 心電図法に比べて有意ではないが高い傾向を示した。左房は, 前胸壁に置いたセンサーから遠く位置するため, 右房負荷群で認めたような磁界計測の著しい優位性は認めなかったが, 左房起電力増大を反映して, C-2 で干型二相性 P 波の陽性相の振幅増大を認めた。

## 結 語

健常群 60 例, 右房負荷疾患群 12 例および左房負荷疾患群 21 例の計 93 例において, 二次勾配型超伝導量子干渉計を用いて前胸部 30 点における心磁図を記録し, 正常および左房負荷時の心磁図 P 波の特徴を明らかにすると共に, これらの所見に基づいて心磁図法による右房および左房負荷診断基準を作成し, これら基準の感度および特異度を標準誘導心電図法によるそれらと比較した。

また, 健常群 60 例, 右房負荷疾患群 28 例および左房負荷疾患群 40 例において, 心房脱分極各期の磁界図を作成して心起電力の推定を行った。

得られた結果は次の如くである。

1 健常群の心磁図 P 波は, 前胸部左上方で陰性, 右下方で陽性で, 「ビオサパールの法則」により心房脱分極期全体を通じて左下方に向かう心起電力が推定された。

2 右房負荷群の心磁図 P 波の特徴的所見は, 胸骨左縁で陰性波の振幅が増大する所見である。

3 左房負荷群の心磁図 P 波の特徴的所見は, 胸骨左縁で干型の二相性 P 波を示し, その陽性相の振幅増大を示す所見である。

4 心房負荷時の心磁図 P 波の特徴的所見および正常値に基づき, 下記のような心磁図による心房負荷診断基準を設定した。

1) 右房負荷診断基準: C-2 における陰性波の振幅  $\geq 3.2 \times 10^{-12}$  tesla

2) 左房負荷診断基準: C-2 における干型の二相性 P 波の陽性相の振幅  $\geq 1.5 \times 10^{-12}$  tesla

なお, これらの基準の特異度は各 100% および 98% であった。

5 右房負荷疾患群における心電図法の右房負荷診断に関する感度は 25%, 心磁図法のそれは 75% で, 後者が前者よりも有意に高かった。

6 左房負荷疾患群における心電図法の左房負荷診

断に関する感度は 29%, 心磁図法のそれは 43% で, 後者が前者に比べて高い傾向を認めた。

7 健常群における磁界図は, 前胸部左上方に負領域, 右下方に正領域を認め, 前胸壁中央部において左下方に向かう二重極を認めた。

8 右房負荷疾患の磁界図は, 健常例と同様のパターンを示したが, 極大および極小の絶対値の有意な増大を認めた。

9 左房負荷疾患の磁界図では, 心房脱分極期後半に右下方から正領域が広がり, 左下方に向かう二重極と左上方に向かう二重極の複数二重極の併存を認めた。

二次勾配型 S Q UID 磁束計を用いて記録した心磁図 P 波は, 心房負荷例では特徴的波形を示し, 心房興奮が心房壁を tangential な方向に伝播するため, 心電図法に比べて右房負荷の診断に有用であり, かつ位置分解能にも優れているため, 複数二重極の検出が容易であり, 臨床的に有用な新しいアプローチであると考えられた。

稿を終るにあたり, 御指導, 御校閲を賜った森博愛教授に深謝するとともに, ご協力を受けた徳島大学第二内科教室の方々に謝意を表します。

## 文 献

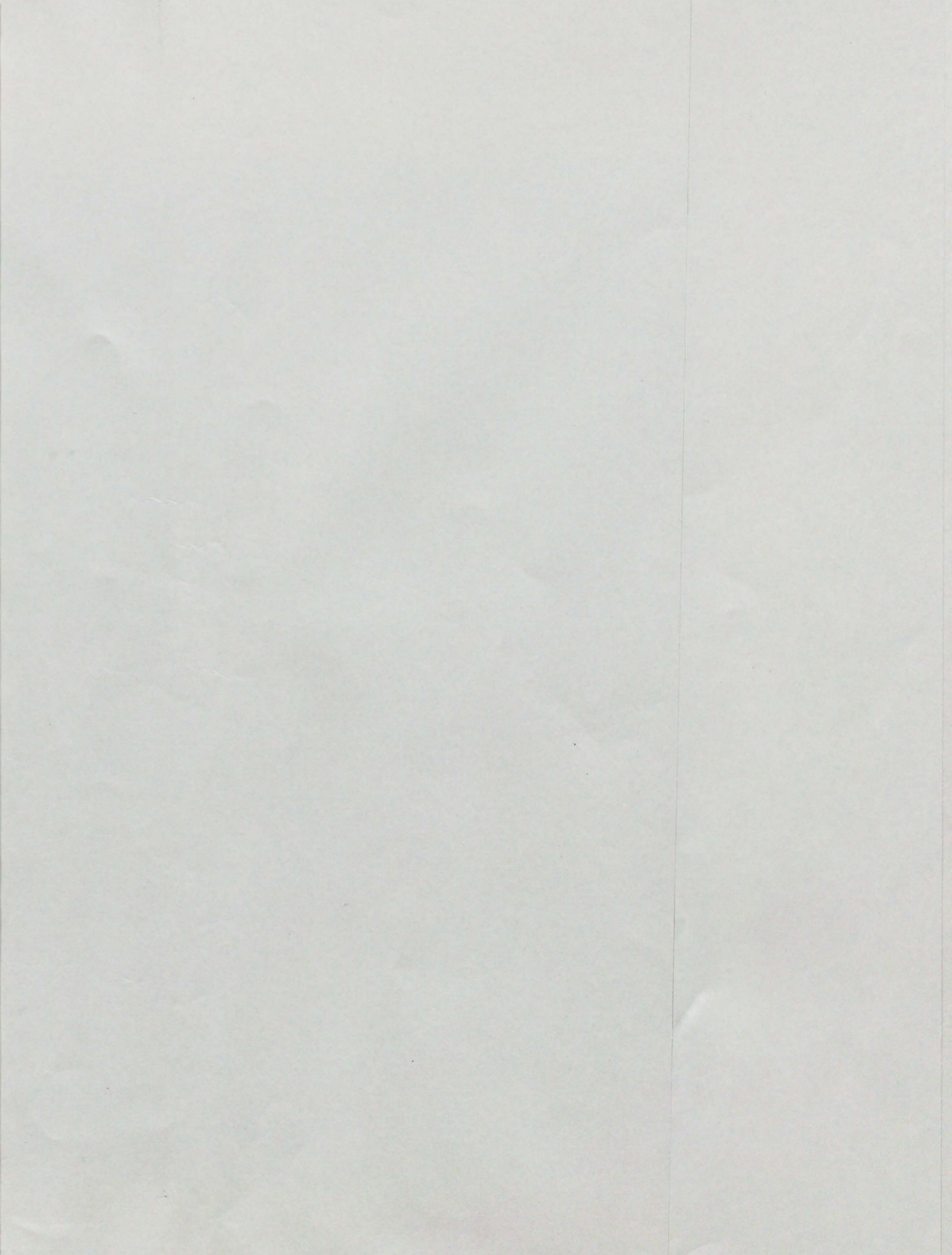
- 1 Ashman, R. and Hull, E. (1941): Essentials of Electrocardiography, Macmillan, New York
- 2 Barger, J. M. (1952): The Unipolar Electrocardiogram, Appleton-Century-Crofts, New York
- 3 Baule, G. and McFee, R. (1963): Detection of the magnetic field of the heart. Am. Heart J., 66, 95-96
- 4 Chirife, R., Feitosa, G. S. and Frankl, W. S. (1975): Electrocardiographic detection of left atrial enlargement. Correlation of P wave with left atrial dimension by echocardiography. Br. Heart J., 37, 1281-1285
- 5 Cohen, D., Edelsack, E. A. and Zimmerman, J. E. (1970): Magnetocardiograms taken inside a shielded room with a superconducting point-contact magnetometer. Appl. Physics Letters, 16, 278-280
- 6 Cohen, D. and Hosaka, H. (1976): Magnetic field produced by a current dipole. J.

Electrocardiol., 9, 409-417

- 7 Cohen, D. and Kaufman, L. A. (1975): Magnetic determination of the relationship between the S-T segment shift and the injury current produced by coronary artery occlusion. Circ. Res., 36, 414-424
- 8 DeOliveira, J. M. and Zimmerman, H. A. (1959): Auricular overloading. Electrocardiographic analysis of 193 cases. Am. J. Cardiol., 3, 453-471
- 9 Fujino, K., Sumi, M., Saito, K., Murakami, M., Higuti, T., Nakaya, Y. and Mori, H. (1984): Magnetocardiograms of patients with left ventricular overloading recorded with a second-derivative S Q UID gradiometer. J. Electrocardiol., 17, 219-288
- 10 Goldberger, E. (1953): Unipolar lead electrocardiography and vectorcardiography. 3rd. Ed., Lea & Febiger, Philadelphia
- 11 Hosaka, H., Cohen, D., Cuffin, B. N. and Horacek, B. M. (1976): The effect of the torso boundaries on the magnetocardiogram. J. Electrocardiol., 9, 418-425
- 12 Kawano, S., Sawanobori, T. and Hiraoka, M. (1983): Human body surface mapping during atrial depolarization in normal and diseased subject. J. Electrocardiol., 16, 151-159
- 13 King, T. D., Barr, R. C., Herman-Giddens, S., Boas, D. E. and Spach, M. S. (1972): Isopotential body surface maps and their relationship to atrial potentials in the dog. Circ. Res., 30, 393-405
- 14 Leifer, M. C., Griffin, J. C., Harrison, D. C. and Wikswo, J. P. (1986): Effect of the heart-lung boundary on the magnetocardiogram. J. Electrocardiol., 19, 23-32
- 15 Lepschkin, E. (1974): Tentative analysis of the normal magnetocardiogram. Advances in Cardiology. Body Surface Mapping of Cardiac Field, Karger, Basel, 325-332
- 16 Lepschkin, E. (1976): Progress in magnetocardiography. J. Electrocardiol., 9, 295-296
- 17 Massie, E. and Walsh, T. J. (1960): Clinical Vectorcardiography and Electrocardiogra-

- phy, Year Book Publisher, Chicago
- 18 McFee, R. and Baule, G. (1972): Research in electrocardiography and magnetocardiography. *Proceedings of the IEEE*, 60, 290-320
  - 19 Morris, J. J. Jr., Harvey Estes, E. Jr., Whalen, R. E., Thompson, H. K. Jr. and McIntosh, H. D. (1964): P-wave analysis in valvular heart disease. *Circulation*, 29, 242-252
  - 20 Nakaya, Y., Sumi, M., Saito, K., Fujino, K., Murakami, M. and Mori, H. (1984): Analysis of current source of the heart using isomagnetic and vector arrow maps. *Jpn. Heart J.*, 25, 701-711
  - 21 新居友夫 (1975): 拡大高速記録心電図法による僧帽弁膜症のP波に関する研究. *日循誌*, 39, 85-99
  - 22 Opfer, J. E., Yeo, Y. K., Pierce, J. M. and Rordan, L. H. (1974): A superconducting second-derivative gradiometer. *IEEE Trans. Mag. MAG-10*, 536-539
  - 23 Plonsey, R. (1972): Comparative capabilities of electrocardiography and magnetocardiography. *Am. J. Cardiol.*, 29, 735-736
  - 24 Romani, G. L., Williamson, S. J. and Kaufman, L. (1982): Biomagnetic instrumentation. *Rev. Sci. Instrum.*, 53, 1815-1845
  - 25 Rush, S. (1975): On the independence of magnetic and electric body surface recordings. *IEEE Trans. Bio-Med. Eng. BME.*, 22, 157-167
  - 26 Saarinen, M., Karp, P. J., Katila, T. E. and Siltanen, P. (1974): The magnetocardiogram in cardiac disorders. *Cardiovas. Res.*, 8, 820-834
  - 27 Saarinen, M., Siltanen, P., Karp, P. J. and Katila, T. E. (1978): The normal magnetocardiogram. I Morphology. *Ann. Clin. Res.*, 10 (Suppl.): 1
  - 28 Saunders, J. L., Calatayud, J. B., Schluz, K. J., Maranhao, V., Gooch, A. S. and Goldberg, H. (1967): Evaluation of ECG criteria for P-wave abnormalities. *Am. Heart J.*, 74, 757-765
  - 29 Sodi-Pallares, D. and Calder, R. M. (1956): *New Bases of Electrocardiography*, Mosby, St. Louis
  - 30 Sumi, M., Takeuchi, A., Katayama, M., Fukuda, Y., Nomura, M., Fujino, K., Murakami, M., Nakaya, Y. and Mori, H. (1986): Magnetocardiographic P waves in normal subjects and patients with mitral stenosis. *Jpn. Heart J.*, 27, 621-633
  - 31 Wikswo, J. P. and Barach, J. P. (1982): Possible sources of new information in the magnetocardiogram. *J. Theor. Biol.*, 95, 721-729
  - 32 Williamson, S. J. and Kaufman, L. (1981): Magnetic field of the cerebral cortex. *Biomagnetism*, Walter de Gruyter, Berlin, 353
  - 33 Zimmerman, J. E., Thiene, P. and Harding J. T. (1970): Design and operation of stable R-F biased superconducting point-contact quantum devices and a note on the properties of perfectly clean metal contacts. *J. Appl. Phys.*, 41, 1572-1580

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several columns and is too light to transcribe accurately.



論文審査の結果の要旨

報告番号	乙医第1147号	氏名	竹内明美
審査委員	主査	伊東進	
	副査	加藤逸夫	
	副査	小倉剛	
題目	正常および心房負荷疾患における心磁図P波に関する研究		
著者	竹内明美, 中屋豊		
	平成2年6月25日発行 四国医学雑誌 第46巻 第3号 185~200ページに発表済		
要旨	<p>超伝導工学を利用した心磁図は、心電図でとらえられない心起電力をとらえることができ、心電図と異なる臨床的意義が期待されている。しかし、その記録方法が困難なため、臨床研究はほとんど行われていない。著者らは、健常例および心房負荷時の心磁図心房脱分極波（P波）を記録し、心磁図法の心房負荷診断における有用性を検討している。対象は健常群60例、右房負荷群12例、左房負荷群21例で、また磁界図の検討には各群それぞれ60例、28例、40例を用いている。</p> <p>著者らが得た結果は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 健常群の心磁図P波は、前胸部左上方で陰性、右下方で陽性であり、推定される起電力は心房脱分極期全体を通じて左下方へ向い、磁界図でも同様の起電力が推定された。</li> <li>2. 右房負荷群の心磁図P波は胸骨左縁で振幅の増大を認め、磁界図では等磁</li> </ol>		

界線は密になり、極大値および極小値の絶対値増大を示した。

3. 左房負荷群の心磁図P波は胸骨左縁で $\bar{r}$ 型の二相性を示し、その陽性相の振幅の増大がみられた。磁界図では、P波後半に左方に正領域が広がり、左下方へ向かう二重極と左上方へ向かう二重極の複数二重極の並存を認めた。
4. 健常群の上界値を基に心磁図心房負荷診断基準を作成し、心電図基準の診断精度と比較した。右房負荷診断に関する感度は心電図法25%、心磁図法75%で、心磁図法が有意に高かった。左房負荷診断に関する感度は心電図法29%、心磁図法43%であり、心磁図法で高い傾向がみられた。

以上のように、心磁図P波は各心房負荷疾患で特徴的所見を示すとともに、高い陽性率を示した。また、左房負荷例では、心電図でとらえられない心起電力の把握が可能であった。

本研究は、心磁図が心房負荷診断において臨床的に有用であることを明らかにし、また心起電力の解析に関する新しい知見を示しており学位の授与に値すると判定した。

なお、本論文の審査には内科学第二 中屋豊講師の協力を得た。