

厚生科学研究研究費補助金  
長寿科学総合研究事業

在宅健康計測システムの高度化に関する研究

平成12年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 戸川 達男

平成13（2001）年 3月

# 目 次

## I. 総括研究報告

|                      |       |   |
|----------------------|-------|---|
| 在宅健康計測システムの高度化に関する研究 | ----- | 1 |
| 戸川達男                 |       |   |

## II. 分担研究報告

|                             |       |    |
|-----------------------------|-------|----|
| 1. 浴槽に設置するモニタリングシステムに関する研究  | ----- | 9  |
| 戸川達男                        |       |    |
| 2. 在宅での心磁図計測に関する研究          | ----- | 16 |
| 上野照剛                        |       |    |
| 3. トイレに設置するモニタリングシステムに関する研究 | ----- | 22 |
| 山越憲一                        |       |    |
| 4. 在宅での行動のモニタリングに関する研究      | ----- | 28 |
| 太田 茂                        |       |    |
| 5. ベッド内心電計に関する研究            | ----- | 37 |
| 石島正之                        |       |    |
| 6. 健康自動計測を導入した在宅設計          | ----- | 40 |
| 川原田淳                        |       |    |

|                     |       |    |
|---------------------|-------|----|
| III. 研究成果の刊行に関する一覧表 | ----- | 45 |
|---------------------|-------|----|

|                 |       |    |
|-----------------|-------|----|
| IV. 研究成果の刊行物・別刷 | ----- | 47 |
|-----------------|-------|----|

厚生科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）

総括研究報告書

在宅健康計測システムの高度化に関する研究

主任研究者 戸川達男 東京医科歯科大学教授

研究要旨

高齢社会において、すでに発症した疾病に対処する以前にそれを予防することはより重要と考えられる。本研究では、外見上健康な高齢者の日常の生理機能状態を日常の在宅での生活環境下で計測し、長期に渡って蓄積されたデータを個人の健康管理に活用可能な機器・システムの開発を目的とした。具体的には在宅において運用可能なモニタリング機器の開発、それらの機器を統合する計測システム、収集したデータの解析方法の開発の3つの方向で研究を行った。本年度はモニタリング機器の開発においては、携帯型加速度計を用いた健康状態モニタ、シャワー浴時の心電図モニタ、便座を利用した血圧モニタのそれぞれの開発を行なうとともに、在宅での心磁図計測の可能性について検討した。システムに関しては、計測機器を設置可能な住宅設計に関する研究として、電灯線 LAN や特定小電力型無線機器等の利用を試みるとともに、新たなデータ圧縮手法を開発した。データ解析に関しては、長期にわたって記録された在宅における行動モニタリングによって得られたデータの解析と、室中二酸化炭素濃度の時系列データの解析を試みた。

分担研究者

石島正之 東京女子医科大学助教授

山越憲一 金沢大学教授

太田茂 川崎医療福祉大学教授

川原田淳 広島県立保健福祉大学教授

上野照剛 東京大学教授

外見上健康な高齢者の日常の生理機能状態を日常の生活環境下で計測し、長期に渡って蓄積されたデータを個人の健康管理に活用可能な機器・システムの開発を目的とした。本研究は具体的には、在宅において運用可能なモニタリング機器の開発、それらの機器を統合する計測システム、収集したデータの解析方法の開発の3つの方向での研究を行なった。

本年度はモニタリング機器の開発においては、携帯型加速度計を用いた健康状態モ

A. 研究目的

高齢社会に向かい、すでに発症した疾病に対処する以前にそれを予防することはより重要であると考えられる。本研究では、

ニタ、シャワー浴時の心電図モニタ、便座を利用した血圧モニタのそれぞれの開発を行なうとともに、在宅での心磁図計測の可能性について検討した。

統合計測システムに関しては、計測機器を設置可能な住宅設計に関する研究として、電灯線 LAN や特定小電力型無線機器等の利用を試みるとともに、新たなデータ圧縮手法を開発した。

データ解析に関しては、長期にわたって記録された在宅における行動モニタリングによって得られたデータの解析と、室中二酸化炭素濃度の時系列データの解析を試みた。

本研究では、これまでに行なわれた研究よりもより高度な技術を用いて、在宅での心磁図や血圧の無自覚的な測定を行なうことや、高度な解析手法によりデータの有用性を高めることを目的とする。また、高度技術を導入する一方で、これまでに開発された機器の実際の家庭への導入に関しても検証実験を行い、実際の家庭でのモニタリング機器およびシステムの運用可能性について検討した。

## B. 研究方法

### 1) 携帯型加速度計を用いた健康状態モニタの開発

携帯型加速度計を用いて健康状態のモニタリングの可能性について検討を行なった。健康状態の指標として、酸素摂取量と強い相関のある心拍数を用いた。今回、心拍数と酸素摂取量とがよく対応している被験者を選び、心拍数をパラメータとしてトレッドミルを用いて運動負荷を加え、2軸加速度計により腰部加速度を計測した。歩行・

走行について、それぞれ VO2Max の 30～60%、50～90% に相当する心拍数を 30 秒間持続させ、その時の計測値から各振幅を求め、その値とそれを所要時間で除して正規化した値の平均値を求め、指標として用いた。

### 2) シャワー浴時の心電図モニタ

これまでに浴槽に設置する心電図モニタは開発されているが、シャワー浴時において心電図を計測する方法はなかった。今年度は、シャワー浴時の心電図計測法の開発を行なった。シャワーのノズル内部と放出された温水のあたる箇所に電極を設置し、シャワー状温水の電気的特性を調べ、最適な導出法を検討した。その後、シャワー浴中の被検者から水流を介して心電図の計測を試みた。

### 3) 便座を利用した血圧測定

血圧は生理情報として非常に有用であるが、これを在宅で無自覚的に計測可能なモニタ機器は存在しない。今回、在宅での日常生活環境下での血圧計測法として、洋式トイレの便座を利用する方法を検討した。容積振動法を用い、便座と接触する大腿部後面より血圧測定を試みた。本年度は、座り方から生じるアーティファクトに対処するため、脈波検出に電氣的インピーダンス法と光センサの受光面積を大きくした反射形光電容積脈波法を用いた。大腿部計測部位と接触する便座に 40mm φ の開放口を設け、液体封入カフ上加圧平板を固定し、座位による体重によりカフ内圧を増加させて局所圧迫した。容積脈波計測には 4 電極方式電氣的インピーダンス法あるいは反射形光電容積脈波法を適用できるように便座部を作成した。

#### 4) 心磁図計測

心磁図の計測は非接触で行われるため、在宅での日常生活環境下での計測にこれを応用できれば理想的である。今回は、心磁図計測の有用性を検証するため、心臓異常がある場合の心磁図の変化について調査した。心筋梗塞モデルのラットを用い、冠状動脈閉塞術を施し、人工的に心筋梗塞モデルを作った。このマウスの心磁図と心電図を計測し、異常発生時の心磁図と心電図について検討した。

#### 5) 住宅設計に関する研究

これまでに開発されたモニタは、ウェルフェアテクノハウス高岡に導入され、性能評価等が行われてきた。今回は、在宅健康計測システムの実用化を目指し、その統合化に関する研究を行なった。電灯線 LAN を使用して計測システムのネットワークによる統合化を行った。また、PDSS 方式による特定小電力型無線機を利用したデータ伝送実験を行なった。データ圧縮・伸張における計算量が少なく、リアルタイム伝送が可能なデータ圧縮技術を開発した。

#### 6) データ解析

これまでに、在宅において行動モニタリングによって計測されたデータの目視による観測により、被験者の行動について定性的に推測可能であることが明らかになっている。しかし、モニタリング対象が増加した場合、目視による観察には限界があるため、自動処理が望まれる。本年度は、在宅において行動モニタリングによって計測されたデータの定量的な解析を試みた。昨年度構築した行動モニタリングシステムに改良を施し、独居健康常成人男子宅に設置し、データを収集した。行動由来のデータの定

量解析の試みとして、平日の行動パターンと休日のパターンの弁別を試みた。1日毎の玄関ドア開閉パターンをドアが開いた時刻は1、それ以外は0の要素から構成される2値化1次元ベクトルとして定義した。ここで、2ベクトル間の距離を、独自に開発した規則によって定義し、距離を  $D(A,B)$  とした。また、屋内に設置された二酸化炭素センサによって計測された二酸化炭素濃度の時系列データの解析を試みた。

#### (倫理面への配慮)

各研究において、必要ある場合は倫理面への配慮を行った。具体的には、被験者への実験参加の意志の確認、実験趣旨の説明を徹底した。また、被験者のプライバシーに配慮し、被験者の氏名が特定できないようにした。

### C. 結果

#### 1) 携帯型加速度計を用いた健康状態モニタの開発

指標に用いた両軸の正規化平均振幅のベクトル和と%VO2Max で表される運動強度との間には強い相関が見られた。これより、2軸以上の加速度計を適切に用いれば、歩行走行を問わず運動強度が求められることが明らかになった。

#### 2) シャワー浴時の心電図モニタ

シャワー温水は高い抵抗と誘導性の特性を持つことが明らかとなった。温水の持つ抵抗値を利用することで、シャワーノズルと床面電極間からシャワー浴中に水流を介して心電図を導出し、心拍の変化をモニタリングできることを確認した。ただし筋電の重畳は大きく、フィルタで完全に除去出来ない場合があった。

### 3) 便座を利用した血圧測定

大腿部後面からのインピーダンス脈波検出は可能で、容積脈波検出が主に深部の比較的太い貫通動脈のそれを反映していることが推測されたが、局所圧迫では当該血管への加圧力の伝播が不十分なため、脈波振幅変化パターンを良好かつ安定して観測できなかった。一方、受光面積を大きくした光電容積脈波法では、比較的浅部の細い貫通動脈分岐枝の容積変化を捉えていると考えられるが、局所カフ圧変化に伴い安定した脈波振幅変化が得られた。中枢血圧との血圧値の差異は生理学的に不可避と思われるが、従来法による血圧計測との同時対比試験を行い、精度評価を試みることにより実用的なシステムの構築が可能と考えられた。

### 4) 心磁図計測

左冠状動脈を結紮によるラットの心筋梗塞において、結紮直後より心磁図には変化が見られ、異常心磁図の発生が結紮部位の周囲から発生することがわかった。同様の変化は心電図においても見られたが、変化の割合は小さく、異常部位の同定までは心電図においては難しく、心磁図計測の有用性が確かめられた。

### 5) 住宅設計に関する研究

電灯線 LAN を使用してシステムの統合化を行い、更にデータ配信のためのサーバを立ち上げ、インターネット上においてクライアントコンピュータから汎用ブラウザを介して、所在や時間等の制限を受けることなく情報を得るシステムを開発した。また、データ圧縮・伸張における計算量が少なく、リアルタイム伝送が可能なデータ圧縮技術を開発し、圧縮率：50%、パケット

サイズ：250 byte、転送速度 2 k b p の条件で、225 kbyte の心電図のデータ伝送が可能であった。一方、PDSS 方式による特定小電力型無線機を利用したデータ伝送実験の結果、2.4 kbps の伝送速度では通信障害やデータ欠落も生じず、適切なデータ圧縮を行えば、十分に心電図等の連続波形データの送信も可能であると判断された。

### 6) データ解析

在宅で収集された各データにおける休日と平日のパターンの差異を目視によって評価した。結果、平日の玄関ドア開閉時刻には規則性を見出したが、休日については規則性を見出すことができなかった。この玄関ドアの開閉パターンの差が、全センサの出力を通じて、最も顕著であると考えられた。そこで、D(A,B)によって定義された距離を用いて、計測された82日間について、各1日と他の日のドア開閉データの距離を算出した。結果、その平均は  $9.78 \pm 8.5$  であった。また、そのうち平日と平日の間の距離の平均は  $6.53 \pm 5.8$  であった。平日と休日間の距離の平均は  $12.9 \pm 9.5$  であった。休日と休日の距離の平均は  $11.1 \pm 7.3$  であった。Mann-Whitey の U 検定により、ノンパラメトリック検定を行った結果、平日同士のデータ間の距離は他の組み合わせの距離に比べて有意に ( $p < 0.001$ ) 小さかった。以上より、平日の玄関の2データ間における距離は、平日と休日との距離や休日同士の2データの距離に比べ統計的に小さいこと、すなわち平日においては各データが似通っていると考えられた。これは、被験者の平日の玄関の利用状況は、休日よりも規則性があることを客観的に示したものと考えられた。また、被験者宅に設置され

た二酸化炭素センサ出力の周波数解析を行なった。結果、二酸化炭素センサ出力には1日に対応する周期、12時間に対応する周期、1週間に対応する周期が含まれることが認められた。

### C. 考察

#### 1) 携帯型加速度計を用いた健康状態モニタの開発

2軸以上の加速度計を用いることにより、運動強度を定量的に評価可能と考えられた。実用化のためには、システムを無線化することによって、より拘束の少ない計測システムの構築が必要と考えられた。

#### 2) シャワー浴時の心電図モニタ

欧米などシャワー浴が一般である地域においても、被験者に無意識かつ無拘束に心電図を計測する方法を開発した。今後は測定時のアーティファクトの低減が必要と考えられた。

#### 3) 便座を利用した血圧測定

便座を利用した血圧測定においては、インピーダンス脈波検出と比較して、光電容積脈波法が有効と考えられた。

#### 4) 心磁図計測

心筋梗塞モデルのラットの観察により、心磁図による心臓異常部位の同定が可能であることを示した。異常部位の同定は心電図においては難しく、心磁図計測の有用性が確かめられた。

#### 5) 住宅設計に関する研究

電灯線利用 LAN および小電力無線方式は、宅内に設置された生理量モニタの統合のために有効であると考えられた。これらの方式は、大規模な設置施工を要さないため、配線施工が必要なツイストペア線など

を用いてネットワークを構築する方法と比較して優位と考えられた。

#### 6) データ解析

これまでに定性的に把握されていたヒトの生活パターンを定量的に把握可能であることを示した。これにより、多くの被験者を対象とする大規模な生活行動モニタリングの実用可能性が高まったものと考えられた。

### E. 結論

携帯型加速度計を用いたモニタでは、歩行時および走行時において2軸以上の加速度計を用いて被験者の運動強度を求めるシステムを開発した。シャワー浴時の心電計測では、水流を介して被験者に意識されずに心電図を収集することが可能であった。便座を利用した血圧測定では、光電容積脈波法を用いて、トイレでの無意識的な血圧計測が実現できると考えられた。在宅での心磁図計測については、ラットの心筋梗塞モデルを用いて、心磁図、及び心電図を計測し梗塞前後の信号の変化を調べ、心筋梗塞の有無の検出には心磁図が有効であることを明らかにした。住宅設計に関する研究に関しては、コスト面、屋内配線、設置スペース等を考慮した結果、住宅内に蓄積された生体情報を伝送する際に、電灯線 LAN や特定小電力型無線機器等の利用が有効であることを示し、これら伝送媒体に対する適切なデータ圧縮技術を提案し、その有効性について確認した。データ解析では、宅内における行動モニタリングで得られたデータを定量的に解析するために、ON-OFF 信号を出力するセンサのデータ間距離を定義し、長期間の在宅における行動データを定

量評価し、平日と休日の行動パターンに差があることなどを客観的に示すことができた。また、室内に設置された二酸化炭素センサ出力を周波数解析することにより、生活行動周期を定量的に見出すことができた。本年度の研究により、モニタ機器、モニタ機器を統合するシステム、データの解析手法の各分野において、一定の成果が得られたと考えられる。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- [1] M. Ogawa, T. Togawa: Preliminary result of fully automated simultaneous physiological data acquisition for health monitoring at home, 東京医科歯科大学生体材料工学研究所報告, vol.34, p.46-49, 2000
- [2] 甲雅宏, 山越憲一他: 無意識生体計測法を用いた在宅健康管理システムの開発, 生体・生理シンポジウム論文集, vol. 15, p.223-226, 2000
- [3] K. Yamakoshi: Unconstrained physiological monitoring in daily living for health care, Frontiers of Medical & Biological Eng, vol.10 (3), p.239-259, 2000
- [4] 前田剛宏, 大嶋章寛, 岡本明男, 中川原実, 田中志信, 山越憲一: トイレを利用した無意識生体情報計測システムの開発研究- トイレ前場を利用した血圧計測法に関する基礎的検討-, 信学技報, MBE2000-26, p.41-46, 2000
- [5] 田中志信, 山越憲一他: 生理機能の在宅モニタ技術, BME, vol.14(2), p.8-17, 2000
- [6] M. Ishijima: Acquisition of long-term cardiac signals for chronodiagnostic utility, Frontiers Med. Biol. Engng., vol.10(3) Part2, p.261-267, 2000
- [7] 川原田淳, 南部雅幸, 田村俊世, 石島正之, 山越憲一, 戸川達男: 健康自動計測システムのウェルフェアテクノハウスへの導入, 信学技報, vol.100(190), pp.91-98, 2000
- [8] S. Uchida, K. Iramina, K. Goto, S. Ueno: Resolution Magnetocardiography in Normal and Abnormal Rat Cardiac Muscles, Journal of Applied Physics, vol.87(9), pp.6205-6207, 2000
- [9] S. Uchida, K. Iramina, K. Goto, S. Ueno: A comparison of iterative minimum norm estimation and current dipole estimation for magnetic field measurements from small animals, IEEE Transactions on Magnetics, 2000 (in press)
- [10] S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina, S. Ueno: Measurement of magnetic fields and current source localization in auditory cortical activity of rats by a 12-channel dc-SQUID gradiometer, Proceedings of Biomagnetism, 2000 (in press)
- [11] S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina, S. Ueno: Measurement of high spatial resolution magnetocardiogram and source localization in rats with occlusion, Proceedings of Biomagnetism, 2000 (in press)
- [12] 内田誠也, 伊良皆啓治, 後藤恵一, 上野照剛: 最小ノルム法を用いた心筋虚血



ラットの電流源の推定, 日本応用磁気学会誌, 2001 (in press)

## 2. 学会発表

- [1] 落合嗣郎, 戸川達男他: 健康管理への応用を目指した家庭内モニタリングシステムの開発, 第39回日本エム・イー学会大会
- [2] M. Ogawa, S. Ochiai, K. Shoji, M. Nishihara, T. Togawa: An attempt of monitoring daily activities at home, The 2000 world congress on medical physics and biomedical engineering and 22nd annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society
- [3] 小川充洋, 戸川達男他: 家庭内健康モニタリングシステムの開発と独居高齢者モニタリングの一例, ライフサポート学会徳島大会
- [4] M. Ogawa, T. Togawa: Monitoring daily activities and behaviors at home by using brief sensors, the 1<sup>st</sup> Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology
- [5] M. Ogawa, T. Togawa: Attempts at Monitoring Health Status in the Home the 1<sup>st</sup> Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology
- [6] 前田剛宏, 山越憲一他: トイレ便座を利用した血圧計測システムに関する実験的検討, 第39回日本エム・イー学会大会
- [7] 前田剛宏, 山越憲一他: 無意識生体情報計測システムを備えたヘルスケアユーティリティの開発—トイレ便座を利用した血圧計測法に関する基礎的検討—, 平成12年度日本エム・イー学会北陸支部大会
- [8] 品川佳満, 太田茂他: 赤外線センサによる独居高齢者の在宅行動モニタリングシステム, ライフサポート学会徳島大会
- [9] 石島正之: 生活習慣上での心電図の個人基準値の検出法, 第28回日本総合健診学会
- [10] 石島正之: 微弱な負荷における心拍回復速度の年間変動, 第10回体表心臓微小電位研究会
- [11] 石島正之: 自律神経活動の不定周期の検出とその予測, 第39回日本エム・イー学会大会
- [12] M. Ishijima: Cronodiagnostic monitoring of stress reserve for the sudden cardiac disorders, The 10<sup>th</sup> International Conference of Biomedical Engineering
- [13] A. Kawarada, M. Nambu, T. Tamura, M. Ishijima, K. Yamakoshi, T. Togawa: Fully Automated Monitoring System of Health Status in Daily Life, The 2000 world congress on medical physics and biomedical engineering and 22nd annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society
- [14] M. Nambu, K. Nakajima, A. Kawarada, T. Tamura: A System to Monitor Elderly People Remotely, using the Power Line Network, The 2000 world congress on medical physics and biomedical engineering and 22nd annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology

society

- [15]M. Nambu, K. Nakajima, A.Kawarada, T. Tamura: The Automatic Health Monitoring System for Home Health Care, IEEE Int. Conf. Infrom. Tech. Appl. Biomed.
- [16]S. Ueno et al.: Measurement of Auditory Evoked Magnetic Fields of Rats Using a 12 Channel High Resolution DC-SQUID Magnetometer, Intermag 2000
- [17]S. Ueno et al.: Measurement of magnetic fields and current source localization in auditory cortical activity of rats by a 12-channel dc-SQUID gradiometer, 12th International Conference on Biomagnetism
- [18]S. Ueno et al.: Measurement of high spatial resolution magnetocardiogram and source localization in rats with occlusion, 12th International Conference on Biomagnetism
- [19]上野照剛他: 因子分析を用いた心磁図からの心動態機能解析の試み, 第 39 回日本エム・イー学会
- [20]上野照剛他: 心筋梗塞ラットの高分解能心磁図計測及び梗塞個所の推定, 第 39 回日本エム・イー学会
- [21]上野照剛他: 心筋梗塞ラットの高分解能心磁図計測および梗塞箇所の推定, 第 15 回日本生体磁気学会

#### H. 知的所有権の取得状況

##### 1. 特許出願

整理番号 P-1132012

名称 生体由来の電気信号測定装置および測定方法

厚生科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）  
分担研究報告書

浴室に設置するモニタリングシステムに関する研究

主任研究者 戸川達男 東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授

研究要旨

入浴をはじめとするの生活行動パターンの定性的な評価は、高齢者の生活習慣を知るために役立つと考えられる。これまでに、入浴、食事などの生活行動パターンを目視で観察し、定性的に評価する試みはあるが、これらの定量的な把握を試みた例は少ない。本年度は、独居若年被験者宅にセンサ群を設置し、日常生活において行動モニタリングを行なった。その結果、日常生活における生活行動パターンが、平日と休日とで異なることを集積されたデータ群を目視することによって確認した。データ群のうち、とくに平日と休日の差異が大きいと考えられたドア開閉データについて、データ間の距離を定義することにより、データの弁別を試み、定義された距離により、統計的に平日のドア開閉パターンと休日のドア開閉パターンに差異があることを認めた。また、室内二酸化炭素濃度の時系列データに周波数解析を施し、室内行動の周期性を見出した。これらの結果より、生活行動パターンの定量的な評価が可能であることを示した。

A. 研究目的

生活習慣のモニターの一つとして行動等のモニタリングが考えられる。これまで、家庭にセンサ群を設置し、データをパーソナル・コンピュータによって計測・集積することにより、生活行動をモニタする試みが行なわれている。また、昨年度、われわれは高齢者宅にセンサ群を設置することによりデータを収集し、収集されたデータを目視で分析することによって生活行動を定性的に把握できることを示している。しかし、収集されたデータの定量的な分析の方法は未だ確立されていない。大規模なモニ

タリングを行なうためには、収集されたデータの自動処理が必須と考えられる。今回、われわれは、入浴行動をはじめとする日常行動のモニタリングで得られたデータ群の定性的な解析を試みた。

B. 研究方法

昨年度構築した行動モニタリングシステムに改良を施し、実験に用いた。システムはハードウェア（各種センサおよびデータ収集用パーソナルコンピュータ）とソフトウェア（データ収集プログラム）とにより構成された。

センサには、以下のものを用いた。

- (a)人の接近、通過を検知するための焦電型赤外線センサ (H5526 HAMAMATSU)
- (b)ポットなど家電製品を使用する際、指や手が触れる部分に取り付け、身体に帯電する静電気や静電誘導を増幅させることで接触を伴う行動を検知する接触センサ
- (c)ドアの使用を検知するドア開閉センサ (GSM-1、オムロン)
- (d)室温と台所排水温度計測のためサーミスタ (44108、日機装 YSI) を用いた温度センサ
- (e)室内湿度センサ (HMP45A、VAISALA)、
- (f)人の呼気に含まれる二酸化炭素ガスを検知するための二酸化炭素ガス濃度センサ (4GS Carbon Dioxide Gas Sensor、Texas Instruments)

計測用ソフトウェアの構築には、言語系として LabView ver 5.0 (National Instruments) を用いた。信号毎にサンプリング周波数が個別に設定でき、不測の事態におけるデータ損失にも対応可能な記録形式を開発した。各種センサの出力信号は、ノート型パーソナルコンピュータ (CPU: MMXPentium266MHz、Memory:96MB) に取り込んだ。計測ソフトウェアは昨年度に開発したものに改良を行ない、CPUおよびOSへの負荷を低減し、安定性を高めた。また、収集されたデータを公衆ISDN回線を利用したインターネット経由で、遠隔地のサーバへ1日1回の頻度で自動的に転送する機能を付加した。

使用されたセンサはいずれも被験者に無

意識のうちに計測が可能なものであり、計測ソフトウェアは完全自動で動作し、被験者による操作を要しなかった。用いられたノート型パーソナルコンピュータは作動音も小さく、被験者の生活を妨げなかった。

構築したシステムを用いて、若年健康成人1名の住居にて、行動モニタリングを行なった。ドア開閉センサは、玄関ドア・居間ドア・冷蔵庫ドア部、トイレ・浴室ドアに、接触センサは、台所流し台蛇口のノブ・ガスコンロのスイッチ・炊飯器・電気ポット・洗面台蛇口のノブに、焦電型赤外線センサは、流し台前と居間に、温度センサは流し台の排水部・洗面台の排水部にそれぞれ設置した。室内温度、湿度、二酸化炭素ガス濃度センサは台所付近に設置した。各センサのサンプリング周波数は、開閉センサ・接触センサ・焦電型赤外線センサは1[Hz]、温度センサ・湿度センサ・二酸化炭素ガス濃度センサは1/60[Hz]とした。

行動由来のデータの定量的解析の試みとして、平日の行動パターンと休日のパターンの弁別を試みた。1日毎の玄関ドア開閉パターンをドアが開いた時刻は1、それ以外は0の要素から構成される2値化1次元ベクトルとして定義した。ここで、2ベクトル間の距離を、以下の規則で定義した。

一方のベクトルAの要素のうち「1」である各要素A(i) (iは要素番号)について、他方のベクトルBの要素で「1」であるもののB(x)のうち、(x-i)の絶対値の最小値を合計したものをd(A,B)と定義した。また、同様にd(B,A)を定義した。ここで一般にd(A,B) ≠ d(B,A)であるので、d(A,B)とd(B,A)の和をベクトルの要素数と「1」である要素数で正規化したD(A,B)=D(B,A)を、

ベクトル A,B 間の距離とした。D(A,B)が小さいほど、ベクトル A,B は似通っているものと考えられた。また、A=B である場合は、D(A,B)=0 である。距離 D の定義を、式(1)に示す。

$$D(A,B) = \frac{N \times (AH+BH)}{d(A,B) + d(B,A)} \quad (1)$$

[N:要素数]

[AH:Aの1の個数]

[BH:Bの1の個数]

(倫理面への配慮)

被験者には予め実験の主旨と方法について説明を行い、実験に参加する許諾を得た。また、実験中止・中断は被験者の任意とした。計測ソフトウェアは被験者による操作無しで動作するが、ソフトウェア停止手続きについては被験者に説明を行ない、任意に実験を中止・中断できるよう配慮した。

### C. 研究結果

被験者宅における実験において、82日間の計測を行なった。その中の1日分のデータを図1に示す。

また、各データにおける休日と平日のパターンの差異を目視によって評価した。結果、平日の玄関ドア開閉時刻には規則性を見出したが、休日については規則性を見出すことができなかった。この玄関ドアの開閉パターンの差が、全センサの出力を通じて、最も顕著であると考えられた。そこで、D(A,B)によって定義された距離を用いて、計測された82日間について、各1日と他の日のドア開閉データの距離を算出した。結果、 $82C_2=3321$ 通りの距離が算出された。その平均は  $9.78 \pm 8.5$  であった。また、そのうち平日と平日の間の距離は 1540 通りであり、平均は  $6.53 \pm 5.8$  であった。平日と休日間の距離は 1456 通りであり、平均は  $12.9 \pm 9.5$  であった。休日と休日の距離は

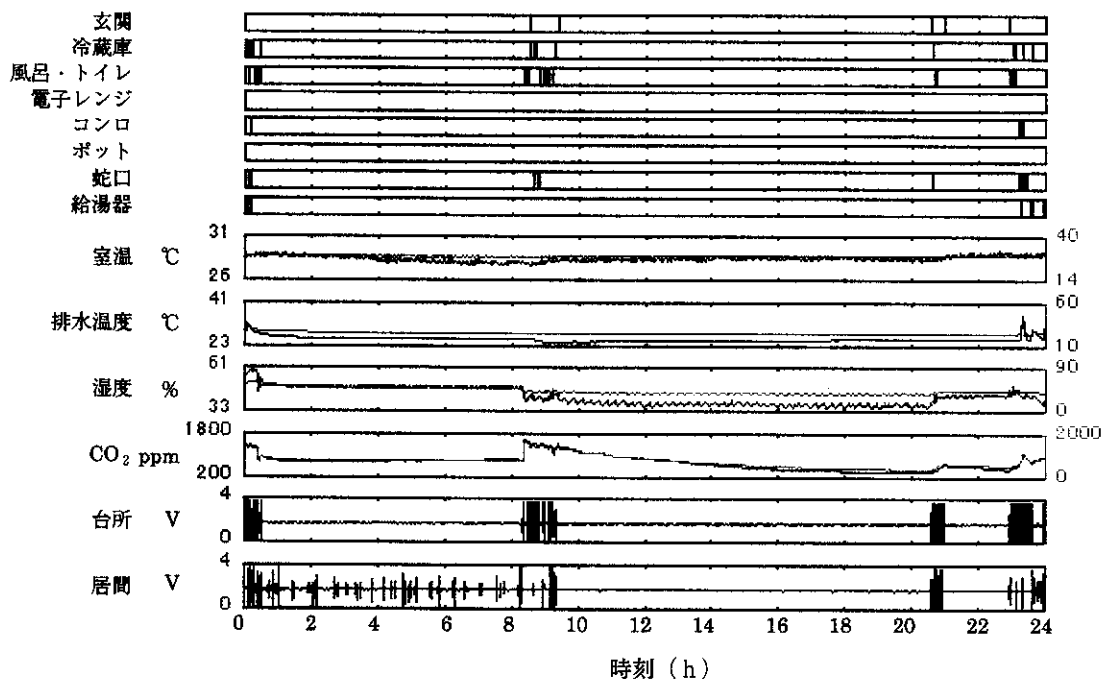


図1 計測データの一例 (平成12年9月6日)

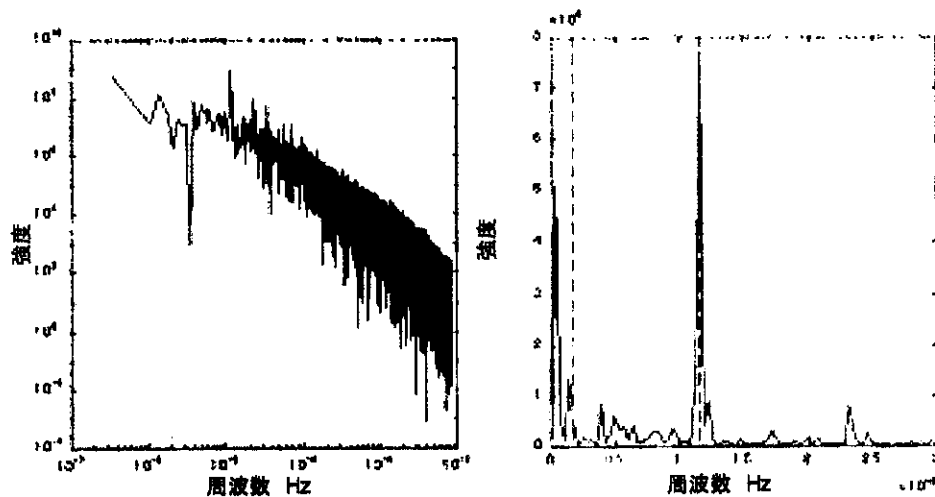


図2 室中二酸化炭素濃度の周波数解析

左図はナイキスト周波数までのスペクトラム。

右図は低周波数領域の拡大図（赤線は1週間周期、  
紫線は1日周期、緑線は12時間周期を示す）

325通りであり、平均は  $11.1 \pm 7.3$  であった。距離の分布に正規性は見られなかったため、Mann-Whitney の U 検定により、ノンパラメトリック検定を行った結果、平日同士のデータ間の距離は他の組み合わせの距離に比べて有意に ( $p < 0.001$ ) 小さかった。

また、被験者宅に設置された二酸化炭素センサ出力の周波数解析を行なった。二酸化炭素濃度の時系列データを周波数解析して得られた周波数スペクトラムを図2に示す。なお、図2からは直流成分を予め除去した。図2より、二酸化炭素センサ出力には1日に対応する周期、12時間に対応する周期、1週間に対応する周期が含まれることが認められた。

#### D. 考察

平日の玄関の2データ間における距離は、平日と休日との距離や休日同士の2データの距離に比べ統計的に小さいこと、すなわち平日においてはそれぞれのデータが似通っていると考えられた。これは、被験者の

平日の玄関の利用状況は、休日よりも規則性があるということ客観的に示したものと考えられた。また、距離の分布に正規性を認めることは出来なかったが、これがデータ自体に正規性がないのか、得られたデータ数が少ないために正規性が認められなかったのかについては判断できなかった。

また、二酸化炭素センサ出力には1日に対応する周期、12時間に対応する周期および1週間に対応する周期が主に含まれていた。これより、二酸化炭素センサ出力より生活行動パターンが定量化可能であることが示唆されたものと考えられた。しかし、現状で市販されている二酸化炭素センサは高湿度領域では、湿度によるアーティファクトを無視できないものが多いため、浴室などへの設置は困難と考えられた。

#### E. 結論

宅内における行動モニタリングによって得られたデータを定量的に解析するために、ON-OFF 信号を出力するセンサのデータ間の

距離を定義し、長期間の在宅における行動データを定量的に評価した。結果、平日と休日の行動パターンには差があることを客観的に示すことができた。また、室内に設置された二酸化炭素センサ出力を周波数解析することにより、生活行動周期を定量的に見出すことができた。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- [1] M. Ogawa, T. Togawa: Preliminary result of fully automated simultaneous physiological data acquisition for health monitoring at home, 東京医科歯科大学生体材料工学研究所報告, vol.34, p.46-49, 2000

##### 2. 学会発表

- [1] 落合嗣郎, 戸川達男他: 健康管理への応用を目指した家庭内モニタリングシステムの開発, 第39回日本エム・イー学会大会, 2000年5月, 千代田区
- [2] M. Ogawa, S. Ochiai, K. Shoji, M. Nishihara, T. Togawa: An attempt of monitoring daily activities at home, The 2000 world congress on medical physics and biomedical engineering and 22nd annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society, 2000年7月, アメリカ合衆国イリノイ州シカゴ市
- [3] 小川充洋, 戸川達男他: 家庭内健康モニタリングシステムの開発と独居高齢者モニタリングの一例, 2000年8月, 徳島

市

- [4] M. Ogawa, T. Togawa: Monitoring daily activities and behaviors at home by using brief sensors, the 1<sup>st</sup> Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology, 2000年10月, フランス共和国リヨン市
- [5] M. Ogawa, T. Togawa: Attempts at Monitoring Health Status in the Home the 1<sup>st</sup> Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine & Biology, 2000年10月, フランス共和国リヨン市

#### H. 知的所有権の取得状況

なし

は壊死しておらず、虚血状態にあったと考えられる。正常心室心筋が虚血になると、伝達速度の遅れと活動電位の異常が起こる。心筋の活動電位に関して、虚血になると、活動電位のピークが 0mV までしか上がらず、活動電位の定常状態（プラトー相）も短くなり、早く再分極が起こる。実形状モデルでかつ正常心筋の一部に虚血部位を作り、活動電位を用いて心磁図を解析するシミュレーションが Czapski ら(梗塞個所 2 条件:前方部、先突部)や Killmann (梗塞個所 8 条件:前壁中隔、後方基底部、側壁、横隔膜側、各々大小二種類)らによって報告されている。Czapski の先突部に梗塞があるときの ST 部および T 部の磁束密度分布の結果は、ST 間について、湧き出し吸込み共に上昇し、モデル側から見て右側に湧き出し、左側に吸込みの分布になった。もしこの分布をベクトルアローマップで解析すると上向きのベクトルアローとなる。T 波については、ピークの高さはほとんど変わらないが、上部に湧き出し下部に吸込みの分布になった。ベクトルアローは左向きとなる。

Killmann らは 8 条件の梗塞個所を作り、計算された磁束密度分布からさらに NME を用いて逆問題を解き、ST 部の電流分布を計算した。特に本研究で関係がある左側壁梗塞の結果は、梗塞個所ので電流分布の大きさが最大になり、電流の向きは右方向を向いていた。ただし、梗塞個所を小さくすると最大電流が小さくなり、電流の向きは若干下向きになる。つまり、Czapski らや Killmann の結果を合わせて考えると、本研究で得られた ST 部の電流源の増加や T 波の電流源の偏向は、正常心筋と虚血心筋との電位差が電流源となったと推測される。つまり、ST 部の有意な電流分布の増加個所をみることによって、虚血心筋の領域を診断できる可能性が示唆された。

## E. 結論

本研究では、心筋梗塞疾患モデルのラットを用い心磁図を計測し、心磁図計測による心磁図の変化が、心筋梗塞の早期発見につながる可能性があることを示した。心磁図が非接触で計測できるため、心磁図が測定できる環境が整えば心電図よりも容易に、異常のモニタが可能である。しかし、今回用いた磁束計は、液体ヘリウムを用いる SQUID 磁束計であり、在宅で容易に用いるというわけにはいかない。従って、実際に在宅で利用するためには、液体窒素で冷却する高温超伝導 SQUID あるいは、フラックスゲート磁束計を用いることになる。これらの磁束計は感度的に液体ヘリウムを用いる SQUID よりも劣るため、センサーのレイアウトやセンサーと体との位置関係による磁気信号の違い等の詳細な検討が、今後の研究で必要である。

## F. 健康危険情報

特になし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

Journal of Applied Physics Vol. 87, No. 9, pp 6205 - 6207, 2000  
Current Source Imaging for High Spatial Resolution Magnetocardiography in Normal and Abnormal Rat Cardiac Muscles  
S. Uchida, K. Iramina, K. Goto and S. Ueno

日本応用磁気学会誌 Vol.24, pp953-938, 2000

左冠状動脈閉塞モデルラットの心磁図と心ベクトルについて  
内田誠也, 伊良皆啓治, 後藤恵一, 上野照剛

IEEE Transactions on Magnetics, 2000 (In Press)  
A comparison of iterative minimum norm estimation and current dipole estimation for magnetic field measurements from small animals  
S. Uchida, K. Iramina, K. Goto and S. Ueno



Proceedings of Biomagnetism 2000 (in press)  
Measurement of magnetic fields and current  
source localization in auditory cortical activity of  
rats by a 12-channel dc-SQUID gradiometer  
S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina  
and S. Ueno

Proceedings of Biomagnetism 2000 (in press)  
Measurement of high spatial resolution  
magnetocardiogram and source localization in  
rats with occlusion  
S. Uchida, K. Goto, A. Tachikawa, K. Iramina  
and S. Ueno

## 2. 学会発表

Measurement of Auditory Evoked Magnetic  
Fields of Rats Using a 12 Channel High  
Resolution DC-SQUID Magnetometer  
Intermag 2000, 1999, 4, Toronto, Canada

Measurement of magnetic fields and current  
source localization in auditory cortical activity of  
rats by a 12-channel dc-SQUID gradiometer  
12th International Conference on Biomagnetism,  
2000, 8, Espoo, Finland

Measurement of high spatial resolution  
magnetocardiogram and source localization in  
rats with occlusion  
12th International Conference on Biomagnetism,  
2000, 8, Espoo, Finland.

“因子分析を用いた心磁図からの心動態機能  
解析の試み” 第 39 回日本エム・イー学会,  
2000, 5, 東京

“心筋梗塞ラットの高分解能心磁図計測及び  
梗塞箇所推定の試み” 第 39 回日本エム・イー学会,  
2000, 5, 東京

“心筋梗塞ラットの高分解能心磁図計測およ  
び梗塞箇所の推定” 第 15 回日本生体磁気  
学会, 2000, 5, つくば

## 在宅での心磁図計測に関する研究

分担研究者 上野照剛 東京大学大学院医学系研究科

### 研究要旨

本研究では、超高感度の磁気センサである SQUID 磁束計を用いて、ベッドに横になるだけで手軽に心磁図を計測することができるシステムの開発を目指している。本年度はまず、心臓異常がある場合の心磁図の基礎データを得るために、ラットを用いた動物実験を行った。心筋梗塞モデルのラットを用い、梗塞前後、並びに梗塞後時間経過に対する心磁図の変化を調べた。また、心磁図の発生源である電流の分布状況を表示するシステムの開発を行った。ラットの心筋梗塞は、左冠状動脈を結紮することによりおこしたが、結紮直後より心磁図には変化が見られ、その異常心磁図の発生が結紮部位の周囲から発生していることがわかった。同じような変化は心電図においても見られたが、変化の割合は小さく、異常部位の同定までは心電図においては難しく、心磁図計測の有用性が確かめられた。

### A. 研究目的

心臓の電気活動から発生する磁場、MCG(心磁図: magnetocardiogram)に関して、心筋梗塞や狭心症等のような虚血性心疾患の病巣部位の推定に注目されている。心磁図は心電図の測定のように電極を体表面につける必要がなく、非接触で測定することが出来る。このため、ベッドに磁束計を備え付け、ベッドの上に横になるだけで心磁図が簡単に測定できるようになると、睡眠中など通常の生活の中で全く気にせず、健康状態を計測することができ、在宅で心臓の異常をモニターできるようになり、心臓疾患の早期発見につながる。そこで、本研究では、超高感度の磁気センサである SQUID 磁束計を用いて、ベッドに横になるだけで手軽に心磁図を計測することができるシステムの開発を目指している。

このような計測システムの開発にあたり、まだ多くの問題が残されている。現在、心磁

図の測定に多く用いられている磁束計は、液体ヘリウムを用いる SQUID 磁束計である。この磁束計は液体ヘリウムを用いるため簡単に扱えるものではなく、より操作性の良い高温超伝導 SQUID 等が必要となる。また、心電図に比べて、心臓疾患への心磁図の臨床的有効性がいまだ明らかになってないことがあり、心磁図の有効性を早急に確認する必要がある。

このような状況のもと、本年度はまず、心臓異常がある場合の心磁図の基礎データを得、心磁図の有効性を確かめるためラットを用いた動物実験を行った。特に、急性の心筋梗塞や虚血状態の心疾患に着目し、ラットの左心室の冠状動脈を閉塞し、閉塞直前直後の心磁図変化および電流源変化を調べた。

### B. 研究方法

本研究では、ラットの左心室の冠状動脈を

閉塞し、閉塞直前直後の心磁図を動物用の 12chSQUID 磁束計を用いて測定し、心磁図の変化および推定される電流源の変化を調べた。

心磁図の発生源である電流分布の推定には、最小ノルム法 (MNE : minimum norm estimations) を用い、閉塞前後の電流分布の変化を求めた。

#### 1. 装置およびシールドルーム

高分解能 SQUID 磁束計 (セイコーインスツルメンツ) のピックアップコイルは、直径 5mm の 12 個のコイルが中心間の距離 7.5mm 離れて格子状に配置されている。デュワーの底面とピックアップコイル間の距離が 5mm であり、ピックアップコイルはベースライン 15mm の 1 次微分型であり、コイルの巻き数は 1 ターンである。計測は、1mm 厚のパーマロイ 5 層、0.035mm 厚の銅箔 1 層の構造からなる磁気シールドルーム内で行った。

#### 2. 冠状動脈閉塞

実験では、平均重量±STD が 209±11g の 7 匹の Wister 系の牡ラットを用いた。ラットは Uletane(1g/kg)で麻酔された後、前方頸部を切開され、気管切開術が行われた。外形 2.3mm、内径 1mm、長さ 20mm のシリコンチューブがラットの気管に固定され、Y 字管を通して、人工呼吸器 (SN-480-7 ; シナノ製作所) を用いて強制呼吸された。一呼吸の換気量は 2ml~5ml で、ラットの大きさに応じて変更し、呼吸数は 100/min であった。

ラットは Johns5)の冠状動脈閉塞術が施された。開胸後、開胸器によって心臓が表に出され、左冠状動脈に絹糸が掛けられ軽く結ばれた。ラットの状態が安定した後、頸部および胸部の切開部が縫合された。そのとき冠状動脈に掛けられた絹糸は引かれると閉塞される用に胸部表面に出された。

#### 3. 心磁図測定方法

デュワーの底面の中心がラットの心臓部の直上の皮膚表面に接触するように置かれ、実験中固定したままであった。約 10 分間閉塞前の心磁図が計測された後、ラットの位置が動かないように冠状動脈が閉塞され、その後 30 分間以上、心磁図が計測された。解析データ区間は、閉塞前 5 分間 (pre)と閉塞後 5 分から 10 分までの 5 分間(post)とした。

計測終了後に解剖して、心臓の大きさや位置の計測、冠状動脈閉塞状態の確認を行った。

心磁図は、四肢から計測した心電図(ECG)の R 波に同期して 1000 回加算平均された。MCG および ECG はバンドパスフィルター 0.5-500Hz で処理された。R 波の出現した時刻を 0 m s とおき、P 波の前(-90 ms~-80 ms)で MCG 波形のオフセット処理を行った。

#### 4. 解析

電流源推定は MNE4)を用いて計算された。磁束密度  $B=[b_1, b_2, \dots, b_M]T$  は電流分布  $Q=[q_1, q_2, \dots, q_N]T$  は次のような関係にある。

$$B=LQ \quad (1)$$

ここで、L はリードフィールド行列を示す。M は測定数を示し、今回は 12 である。N は推定電流源の数を示す。実際に、推定電流源数は測定数より大きく ( $N>M$ )、一般解は無数に存在する。そこで、ノルム二乗和を最小にするように解を求めた。

$$Q=G^{-1}BL \quad (2)$$

ここで

$$G=LLT \quad (3)$$

ただし、解を求める際、ノイズによって数値的に不安定になるため、G の小さな固有値を無視した。その時の特異値のランクを K と定義した ( $K \leq M$ )。電流源は、Fig. 2)のような楕円球の半球の表面に仮定した。楕円球の大きさや位置は解剖して実測した。

### C. 結果

Fig.1 は左冠状動脈閉塞前後に関するラットに心磁図の変化を示す。上図は閉塞前、下図が閉塞後の 12 心磁図波形の重ね書き図を表す。時刻 0ms は心電図の R 波のピーク時と定義した。図中に示す ST 部および T 波にかけて磁場の大きさが閉塞後増加した。電流源推定は ST 部 (5ms から 20ms 区間の磁場分布の平均) および T 波のピークに関して行った。

ST 部に関して、MNE で閉塞前後の電流源推定した結果を図 2 に示す。上図は閉塞前、下図は閉塞後の電流分布を示す。矢印は電流源の大きさと向きを示す。閉塞前、全体的に目だった電流源は存在しなかった。閉塞後、心室心尖部において、左向きの電流双極子の大きさが増大した。左冠状動脈は先突部および左心室の心筋に血液を循環させており、電流双極子の増加領域と左冠状動脈の支配心筋領域が一致していた。

ST 部における電流双極子の大きさの変化に関する統計的検定を行った結果を図 3 に示す。灰色の円は有意に電流が増加した場所を示す ( $p < 0.05$ , paired t-test)。ただし、黒い点は電流空間の座標位置を示す。閉塞によって、ST 部の電流双極子が中央先突領域で有意に増加した。この領域は左冠状動脈の支配心筋領域と一致した。

T 波に関して、MNE で閉塞前後の電流源推定した結果を図 4 に示す。上図は閉塞前、下図は閉塞後の電流分布を示す。矢印は電流双極子の大きさと向きを示す。閉塞前、電流双極子は全体的に左下方に電流双極子が向いていたが、閉塞後、大きさはほとんど変わらないが、双極子の向きが左方向に向いた。ただし、電流源の向きは、ラット側から見た向きを示す。

T 波における電流源の向きの変化に関する

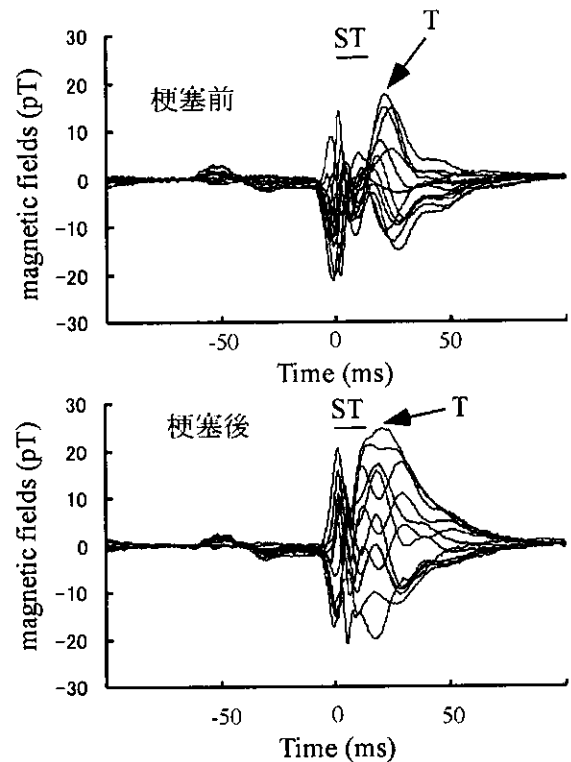


図 1 心筋梗塞前後の心磁図波形

統計的検定を行った結果を Fig.7 に示す。灰色の円は有意に電流向きが左向きになった場所を示す ( $p < 0.05$ , paired t-test)。ただし、黒い点は電流空間の座標位置を示す。閉塞によって、T 波の電流双極子の向きが心室全体で有意に左方向に向いた。

### D. 考察

左心室の心筋に血液を循環している左環状動脈を結糸したときのラットの心磁図を計測し、ST 部および T 波をベクトルアローマップおよび MNE を用いて解析した。ST 部における電流分布の有意な増加、T 部における電流分布の有意な偏向 (左向き電流) が明らかにされた。

本実験では、急性の虚血状態の心磁図を計測するために、閉塞直後の 5min から 10min のデータを解析した。この時間では心筋細胞