

# 心磁図のデータベース化への取り組み

Organization of Magnetocardiogram Database

神鳥 明彦 Akihiko Kandori

緒方 邦臣 Kuniomi Ogata

村上 正浩 Masahiro Murakami

渡辺 康志 Yasushi Watanabe

田中 喜美夫 Kimio Tanaka

岡 裕爾 Yuji Oka

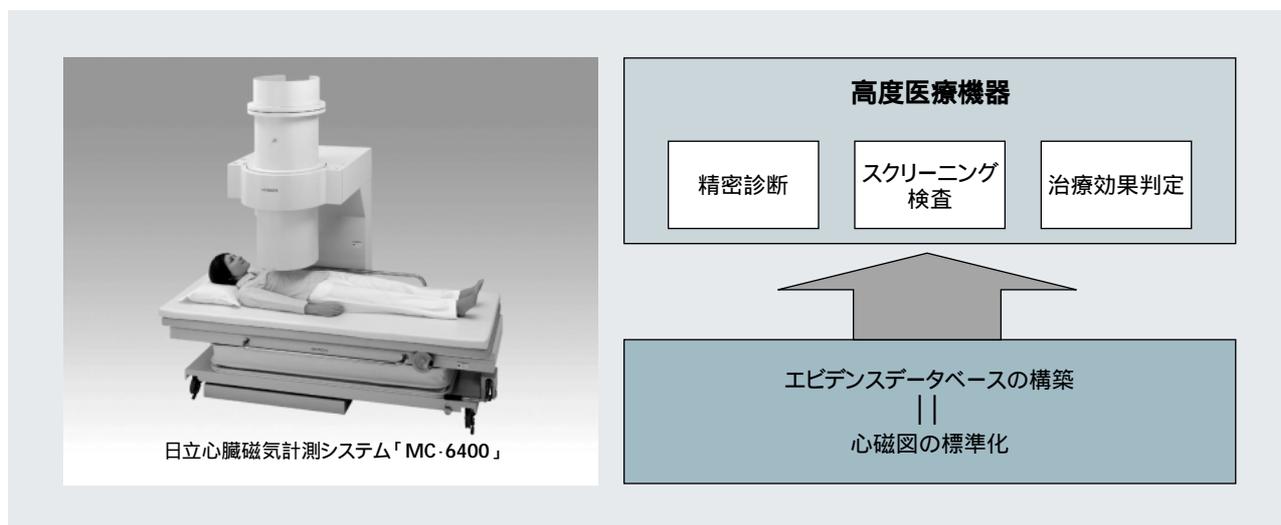


図1 心磁図のデータベース化の意義

株式会社日立ハイテクノロジーズが製品化した心臓磁気計測システム「MC-6400」の外観を左に示す。心臓磁気計測システムの普及は始まったばかりであり、これからエビデンスベースの心磁図の標準化を進める時代となってきた。このデータベース化を行うことは、精密診断・スクリーニング検査・治療効果の判定などに貢献していくための大きな足がかりになる。

## 1.はじめに

厚生労働省の人口動態統計によると、心疾患は、死因別死亡数で第2位の16%〔第1位は悪性腫瘍(しゅよう)で30%〕となっている。これからの日本はますます食生活の欧米化や高齢化が進み、さらに心疾患は増加していくものと考えられる。そのため、心疾患の早期診断および予防は、国家をあげての重要な課題となってきている。

日立グループは、このような中、心疾患の早期検出が可能な医療機器として、心臓磁気計測システム(以下、心磁計と言う)を開発してきた<sup>1)2)</sup>。

心磁計は、心筋細胞内の電気興奮に伴いイオン電流が生じることによって発生する微弱な磁場を計測するシステムである。通常、このイオン電流によって体表面上に生じる電位差を、電極を通して測定するのが心電計であるが、心電計では生体内の骨や肺といった臓器ごとに異なる導電率(電気抵抗率)による影響を受けやすい。一方、心筋細胞の電氣的興奮によって生じる弱い磁場を計測する心磁計は、生体内(臓器など)の透磁率(磁気の通りやすさ)がほぼ均一と考えられ

るため、臓器によるひずみを受けにくい。

このように心磁計は、生体内の臓器による影響を受けることが少ないため、心臓内部の微弱な電流の活動をとらえることが可能である。この特徴を生かした心磁計に期待される応用範囲を表1に示す。

成人においては精密診断・スクリーニング検査・心疾患の治療効果判定に役立つものと期待され、これまでの研究で虚血検出率の高さ<sup>3)4)</sup>や不整脈部位の同定率の高さ<sup>5)</sup>などが報告され、徐々に臨床的有効性が示されつつある<sup>6)</sup>。

一方、胎児では、胎児心起電力異常に伴う不整脈の検出が可能であることが世界で初めて明らかとなり、数多くの胎児不整脈例が報告された<sup>7)</sup>。

しかし、精密診断・スクリーニング検査・治療効果の判定を正確に心磁図検査で行っていくためには、検査の基準となる健常者の大規模なデータベースが必要である。これまで健常者の大規模なデータベースを用いた報告がされてきておらず、心磁図の臨床的有効性をエビデンスベースで十分に示すことができていなかった。

心磁図は心筋細胞内の微小な電気生理学的異常を詳細にとらえることができるが、これまで大規模なデータベースに基づく十分なエビデンスの作成が行われておらず、心磁図の臨床応用の障害となっていた。日立グループは、健常者の心磁図データベースを取得して研究し、心磁図の標準化に向けたデータベースを得ることができた。さらに、心疾患の診断基準を検討するため、虚血性心疾患の治療前後の変化についても心磁図による評価を行い、新たな検査ポイントも示せた。これらの実績を端緒に、心臓磁気計測システムはまったく新しい心疾患の完全非侵襲検査装置に発展し、心疾患検査の進歩に貢献するものと考えられる。

表1 心磁計に期待される応用範囲  
成人から胎児に至るまでさまざまな応用範囲に期待が持たれている。

応用範囲		特徴・有効性
成人	精密診断 虚血性心疾患	高い虚血検出率 完全無侵襲計測(放射線などを一切使用しない) 虚血部位診断
	不整脈	不整脈フォーカス部位同定 位置の同定(興奮部位が一つの場合) 未解明不整脈疾患の異常興奮の解明
	スクリーニング検査 虚血性心疾患 不整脈	心疾患のモニタ 高いスループット 虚血の高感度検出 低い拘束性 無侵襲性
	治療効果判定 虚血性心疾患 不整脈	治療効果などの判定 カテーテル治療などの効果判定 心機能のフォローアップ
胎児	胎児心臓の不整脈検出と発育モニタ	完全無侵襲計測(放射線などを一切使用しない) ノンストレステスト 高い安全性

日立グループは、健常者の心磁図データベースを取得し、心電図との相関やその年齢による変化を明らかにすることにより、心磁図の標準化に向けたデータベースを得ることができた。さらに、心疾患の診断基準を検討するため、虚血性心疾患の治療前後の変化についても心磁図による評価を行い、新たな検査ポイントを示せた(図1参照)。

ここでは、日立グループにおける心磁図のデータベース化への取り組みについて述べる。

## 2. 心磁図の測定および解析方法

心磁計センサ部の内部には、8×8のマトリクス状に64個の高感度超電導磁気センサ(SQUID: Superconducting Quantum Interference Device)が配置してある。被検者は磁性体を外してベッドに横になり、成人で30秒、胎児で2分間測定する。高感度超電導磁気センサは生体から発生する微弱な磁場を計測するだけで、被検者への被曝(ばく)などの影響はまったくない。測定された波形は図2(a)に示すような心電図によく似た波形が現れる。この波形は0.5 ms(ミリ秒)の時間分解能で計測可能であり、解析を行いたい時刻において電流分布

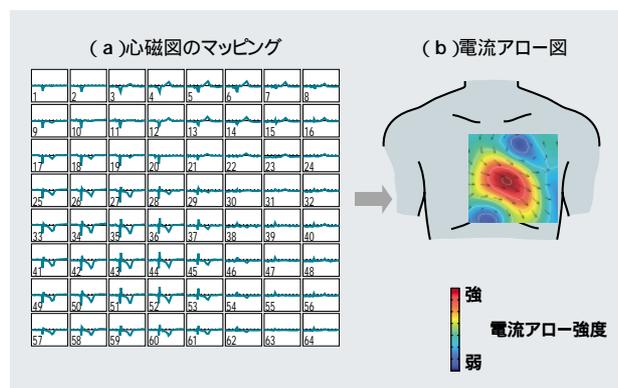


図2 心磁図波形と電流アロー図  
8×8のマトリクス状の磁気センサで測定された心磁図波形は、(a)のように各測定点において波形表示される。波形表示された任意の時刻で(b)のような電流アロー図を作成することができる。

図(電流アロー図)を瞬時に求めることができる(図2(b)参照)。

以下に、検診者を対象として日立総合病院で行った健常者の心磁図の評価結果を示す。ここでは、心磁図の標準化を行うために、電気生理学的検査の代表である心電図との比較や年齢による変化、同病院で測定された虚血性心疾患の治療前後の変化の例を示し、心磁図の標準化の重要性について述べる。

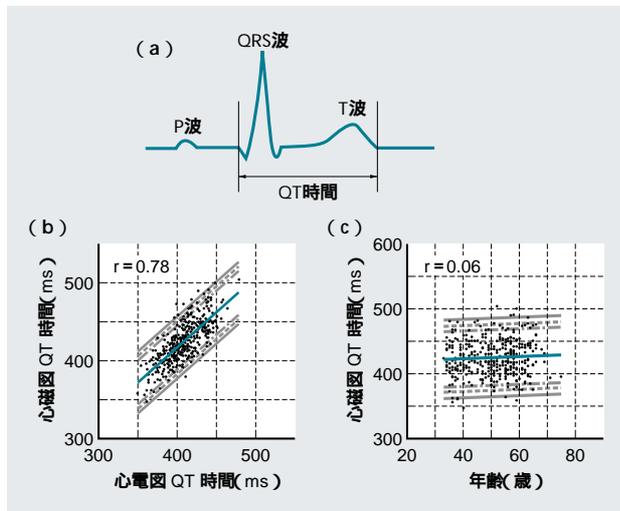
## 3. 心磁図の測定結果

### 3.1 健常者の心磁図

心電図の所見に異常が認められなかった検診受診者465例(平均年齢51±8歳、男性260例、女性205例)を健常者として定義し、解析の対象とした。

健常者のQT時間の計測結果を図3に示す。QT時間とはQRS波(心室脱分極(放電)の時間帯の波形)の始まりから、T波(心室再分極(充電)の時間帯の波形)の終わりまでの時間幅である(図3(a)参照)。特にここでは、虚血性心疾患や致死性不整脈として検出されやすい時間帯のQT時間に着目したデータを示す。

QT時間の同一健常者の心電図と心磁図の比較を行ったのが同図(b)である。この比較から心電図とよい相関があることがわかる。またわずかであるが、心磁図の方が長い時間幅



注 (b) (c) の青実線は回帰直線、黒実線は98%信頼区間、黒点線は95%信頼区間、黒鎖線は90%信頼区間をそれぞれ示している。

図3 健常者の心磁図データのまとめ

QT時間を計測し、心電図と比較を行い、良好な相関が認められた。また心磁図のQT時間は年齢による変化も認められなかった。これらのことから心磁図を心電図学的に理解が可能であるエビデンスが得られた。

を示している。これは心磁図の方が心臓全体の詳細な情報を多く含むためであると考えられる。

また、心磁図のQT時間の年齢との関係を同図(c)に示す。図のように年齢による相関はほとんど認められない。このことはQT時間を指標とする場合、年齢を考慮に入れる必要がないことを意味している。

以上のことから、心磁図のQT時間は心電図と相関が高く、年齢依存がないという実証を得ることができた。このことは、基本時間パラメータが心磁図特有の値を示しておらず、波形の基本時間パラメータは心電図と同じ考え方で診断が可能であることを裏付けるものである。

### 3.2 心筋梗塞患者のバイパス手術前後の変化

心筋梗塞(こうそく)患者(心筋壊(え)死のある患者)のバイパス手術前後の安静時の心磁図波形および電流アロー図の変化を図4に示す。この症例は、左室側を栄養する冠動脈(左前下行枝)が完全閉塞している例である。そのため、バイパス手術前ではST部(QRSとT波との間の時間帯)で大きく波形が持ち上がっていることがわかる。ST部において電流アロー図を見ると大きな電流が左室中央付近に現れており、左室側に虚血があることを示唆している。またT波においては、二つの異なる電流分布が観測されている。

また、バイパス手術後の心磁図波形に

おいて、ST部の波形の持ち上がりが小さくなっていることがわかる。このST部における電流アロー図を見ると、虚血の改善を示すように興奮電流が大幅に減少している様子がわかる。さらに、T波の時刻における電流アロー図は健常者のT波の電流アロー図と反対の電流の向きを示している。これは心筋に壊死部位が残っていることを示唆している。

心筋梗塞患者のST部での波形変化は心電図でも認められる現象であるが、虚血によって誘発される障害電流を可視化できるのは心磁図の大きな特徴である。以上のことから、このST部での電流アロー図は心磁図検査の重要なポイントであることがわかる。

### 3.3 狭心症患者のカテーテル(ステント)治療前後の変化

冠動脈が狭窄(さく)のみで完全閉塞に至らず、心筋への酸素供給が不足した状態が狭心症と呼ばれ、治療として経皮的冠動脈形成術と言われるカテーテルを用いてステント(狭窄した冠動脈を広げ保持する金属製のネット)を冠動脈に留置する手術が行われる。ステントによる治療を施す前後の安静時の心磁図波形と電流アロー図を図5に示す。この症例は、左室側を栄養する冠動脈(左前下行枝)が90%狭窄している例である。

安静時の計測のためカテーテル手術前においても、虚血を示すST部の顕著な波形上昇は認められない。しかし、電流アロー図では、T波の時刻において健常者とは異なり、旋回するような電流パターンが見られる。また、カテーテル手術212日後では、健常者と同じパターンの電流アロー図となり、虚血が改善されている。

以上のことから、ST部において波形異常が認められなくても、T波の時刻における電流パターンとして虚血性の異常が

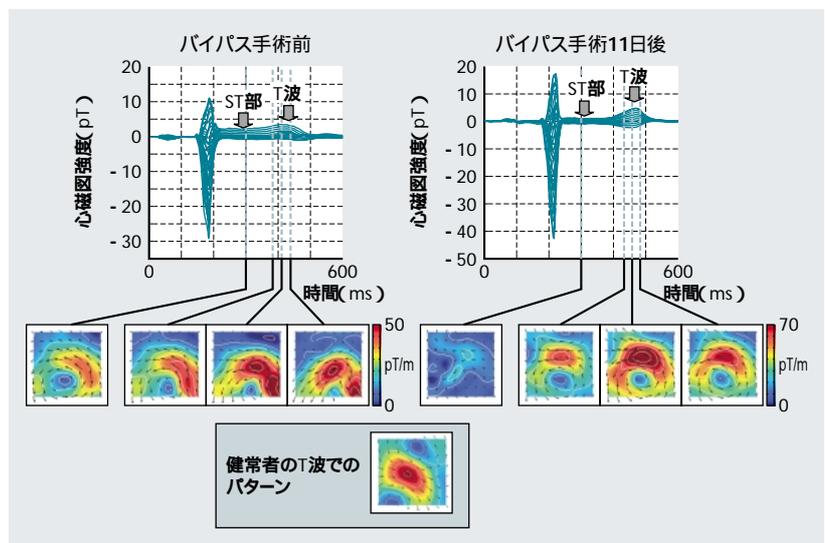


図4 心筋梗塞患者のバイパス手術前後の変化

ST部での波形変化が手術前には見られ、ST部における電流が左室側に認められるが、手術後は低減していることがわかる。また手術後も、まだ梗塞部位に伴う異常なT波での電流が認められる。

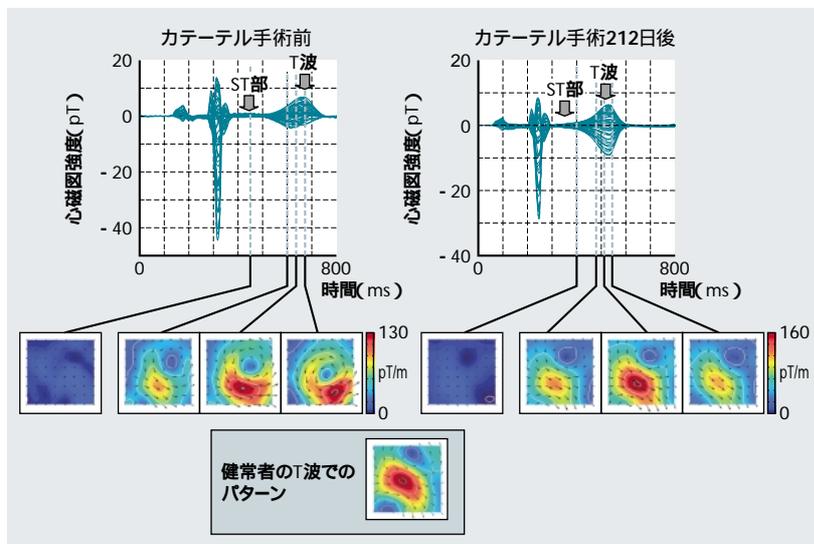


図5 狭心症患者のカテーテル(ステント)治療前後の変化  
治療前のT波において、異常な興奮電流が観測されているが、治療後は正常興奮電流のみが観測され、電気的心機能が改善されたことがわかる。

検知できる感度を心磁図は有していることを示している。このようにT波における電流アロー図のパターン異常についても心磁図検査の重要なポイントである。

#### 4. おわりに

ここでは、心磁図の情報をデータベース化するための日立グループの研究について述べた。

この研究から、心磁図は基本的に心電学の知識をベースにして理解することが可能で、心電図より多くの電気生理学的現象を詳細にとらえているということがわかってきた。また他の研究からも、虚血性心疾患だけでなく不整脈などにおいても多くの情報を含んでおり、心電図を超える検査機器と言える。

#### 執筆者紹介



神鳥 明彦  
1990年日立製作所入社、基礎研究所 健康システムラボ所属  
現在、生体磁気計測技術の研究開発に従事  
工学博士、医学博士  
日本生体磁気学会会員、日本生体医工学会会員、  
応用物理学学会会員、日本心電学会会員



緒方 邦臣  
2001年日立製作所入社、基礎研究所 健康システムラボ所属  
現在、生体磁気計測技術の研究開発に従事  
日本生体磁気学会会員、日本生体医工学会会員



村上 正浩  
1992年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジー 那珂事業所 医用システム設計部 所属  
現在、心磁気計測システムの開発に従事  
日本生体磁気学会会員、日本生体医工学会会員



渡辺 康志  
1998年日立製作所 日立総合病院 心臓内科赴任  
現在、循環器疾患の診療に従事  
日本内科学会専門医、日本循環器学会専門医、  
日本心血管インターベンション学会専門医



田中 喜美夫  
1994年日立製作所 日立総合病院 心臓内科赴任  
現在、循環器疾患の診療に従事  
日本内科学会認定医、日本循環器学会専門医、  
日本心血管インターベンション学会指導医



岡 裕爾  
1988年日立製作所 日立総合病院 内科赴任  
現在、茨城病院セントラおよび日立総合病院の総合統括業務に従事  
医学博士  
日本医療情報学会会員、日本生体医工学会会員、  
日本肝臓学会専門医

心磁図のような新しい機能検査装置では、心磁図の情報を正確に表現する診断基準を作成する標準化活動が重要である。現在、日本では心磁図の教科書も発刊されてきており<sup>8)</sup>、世界的にもこの標準化活動が盛んに行われている。このような活動を通して、近い将来、心磁計は身近で一般的な装置となっていくものと考ええる。

日立グループは、今後も、心疾患の心磁図での体系づけに向けた研究を加速していく考えである。

本稿を執筆するにあたり、心磁図計測・解析に協力いただいた日立製作所日立総合病院の詫間紀子氏、柳田篤氏、佐々木信夫氏、小野崎清氏に深く感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) K. Tsukada, et al.: A simplified superconducting interference device system to analyze vector components of a cardiac magnetic field. Proceedings 20th Int. Conf. IEEE/EMBS(Hong Kong) 524-527(1998)
- 2) 神鳥:心磁計開発の最先端,応用物理,74,5,580~586(2005)
- 3) A. Kandori, et al.: A method for detecting myocardial abnormality by using a current-ratio map calculated from an exercise-induced magnetocardiogram. Med. Biol. Eng. Comput., 39, 1, 29-34(2001)
- 4) 山田,外:心磁計測システムを用いた虚血性心疾患のQRS-T,ST-T解析,心臓 33,432-438(2001)
- 5) A. Kandori, et al.: Electrical space-time abnormalities of ventricular depolarization in patients with Brugada syndrome and patients with complete right-bundle branch blocks studied by magnetocardiography. Pacing Clin Electrophysiol. 29, 1, 15-20(2006)
- 6) S. Yamada, et al.: Magnetocardiograms in clinical medicine: Unique information on cardiac ischemia, arrhythmias and fetal diagnosis. Internal Medicine, 44, 1, 1-19(2005)
- 7) 堀米,外:胎児心磁図の基礎と臨床応用,日本小児循環器学会誌,19,5,468~475(2003)
- 8) 山口,外:心磁図の読み方,コロナ社