

脳磁計測システム MEGvision とその応用

MEGvision Magnetoencephalograph System and its Applications

下川原 正博^{*1} 田中 博昭^{*1}
SHIMOGAWARA Masahiro TANAKA Hiroaki

風見 邦夫^{*1} 春田 康博^{*1}
KAZAMI Kunio HARUTA Yasuhiro

脳磁計は、脳神経の電気生理学的な活動を計測する装置で、時間分解能と空間分解能が高いことに特長がある。近年、超伝導を応用した磁気センサSQUIDの技術が進歩し安定して計測を行えるようになり、また脳磁図データの蓄積により医学的に有効性が確立されたことから、研究所レベルでしか導入されていなかった状況から、一般病院にて臨床検査に用いられるように変化してきた。当社が開発した160チャンネル全頭型脳磁計測システムMEGvisionは1998年に発表し、2000年に薬事承認を取得、現在までに、一般病院3セット、医学系大学2セット、工学・人文科学系大学2セット、計7セットが稼働している。神経磁気診断は2004年4月から保険適用が認められ、益々利用されることが期待される。本稿では、脳磁計の技術的な特徴について解説し、脳磁計の応用について事例を紹介する。

The magnetoencephalograph (MEG) is a measurement instrument specifically designed to measure electrophysiological cerebral nerve activities, featuring high time and spatial resolution performance. In recent years, the evolution of the SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) magnetic sensor utilizing superconductor technology has enabled the consistent measurement of extremely weak magnetic fields generated by the brain, and the clinical availability of MEG has been established by clinical studies based on the accumulation of MEG data, thereby resulting in the clinical application of MEG in general hospitals beyond laboratory tests. Our "MEGvision" 160-channel whole-head MEG system was released in 1998, and approved by the Japanese Pharmaceutical Affairs Law in 2000. Since then, a total of 7 systems : 3 systems for general hospitals, 2 systems for the medical departments of universities, 2 systems for the engineering or humanities departments of universities, have been in use so far. Owing to the governmental approval of healthcare coverage for MEG examinations in April 2004, the further utilization of MEG is expected. This paper describes the technical features of MEG and examples of its application.

1. はじめに

神経細胞の活動は一種のイオン電流である。大脳皮質にある錐体細胞の興奮性シナプス後電位に伴って流れる電流は、周囲に微弱な磁場を発生する。この磁場を検出する脳磁計(Magnetoencephalograph; MEG)^{*1}は、近年急速に進歩し、脳科学など基礎研究の領域から一般病院での臨床検査まで幅広く関心を持たれるようになってきた(図1)。高齢化社会を迎え、痴呆をはじめとする中枢神経疾患が重要な課題となる状況下で、脳の機能を診断す

る有力な手法の一つとして期待が集まっている。神経活動に伴う血流や代謝の増減など二次的な現象を捉えるのではなく、電気的な活動を直接捉える脳磁計は高い時間分解能(msオーダー)と高い空間分解能(mmオーダー)を有し、従来からある脳診断装置、例えば、解剖学的・形態的画像が得られるMRIやCT、あるいは、酸素や糖代謝を画像化するPETやSPECTとは異なる第3のモダリティと呼ぶことができる(図2)。また、脳磁計は、外部から磁場やX線、放射線などを与えず、被検者が発する磁場を受動的に検出する完全に非侵襲な装置である。

*1 航空宇宙・特機事業本部 MEGセンター



図1 脳磁計測システム MEGvision

2. 脳磁計 MEGvision の特長

脳が発生する磁場の強度は、数十 fT (femto Tesla : 10^{-15} Tesla) と非常に小さいため、超伝導を応用した高感度な磁気センサ SQUID (superconducting quantum interference device : 超伝導量子干渉素子) を用いることで安定に計測することができるようになった。当社は1974年に SQUID 磁束計の開発に着手し、1976年に我が国で初めて心臓が発する生体磁場の計測に成功、その後の研究開発が実を結び、1998年に160チャンネル全頭型脳磁計測システム MEGvision を発表した。2000年には医療機器として薬事承認を取得している⁽¹⁾。

脳磁計のキーテクノロジーは、微弱な脳磁場を検出する SQUID 磁束計である(図3)。SQUID 磁束計は、ピックアップコイルと SQUID から構成される。ピックアップコイルは磁場を集めるアンテナに例えることができる。ピックアップコイルの形状を工夫することにより、信号検出特性、耐雑音特性を調整することができる。MEGvision では、外来からのノイズを除去する性能に優れ、かつ、脳からの信号の減衰が少ない同軸型グラジオメータを採用した。ベースライン長が50mmと長いため、脳の深い部位からの信号を検出することが可能である。磁場を電気信号に変換する SQUID には、外来ノイズの影響を受けにくい構造を採用し、装置全体での磁場分解能が $3\text{fT}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typical) と業界最高の性能を達成した。高性能ピックアップコイルと低ノイズ SQUID を組み合わせることにより、脳磁計の検査対象は広がった。

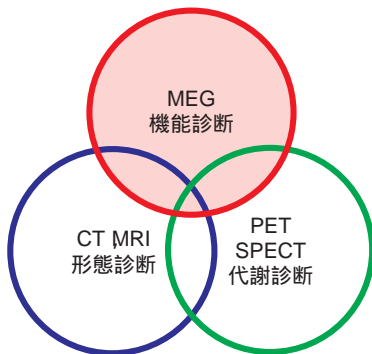


図2 モダリティの比較



図3 SQUID 磁束計

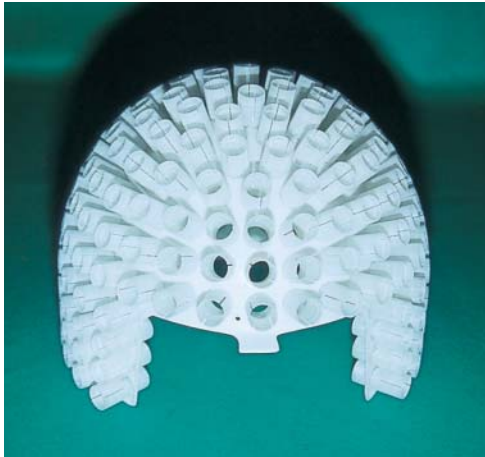


図4 センサ配置

MEGvision は、頭部全体を覆うように SQUID 磁束計を 160 ヶ所に配置し、脳の活動によって発生する複雑な磁場源を高い空間分解能で記録することができる(図4)。また、病院での使用を前提とし、患者に負担をかけない完全な横型デュウ構造を、世界で初めて実現した(図5)。

3. 脳磁計の応用分野

脳磁計の特徴は、中枢神経の機能情報を得られることである。機能情報を得るとは、運動野や体性感覚野、視覚野、聴覚野、言語野など大脳皮質レベルで局在化される機能の部位を同定すること、時間分解能の高さ(ミリ秒レベル)を活かして活動部位の遷移を調べることで、検出される信号の強度すなわち活動する神経細胞の電流の強さから神経活動の度合いを定量化することである。

臨床検査として既に確立された診断法には、脳外科手術前の機能部位同定と局在性症候性てんかんの焦点部位の同定がある。機能部位同定により脳内の機能地図が判ると、手術によって機能を損傷しないように、つまり後遺症が残らないように、手術計画に反映することができる。てんかん焦点部位同定は、他の画像診断装置と組み合わせることにより、一部症例では、患者負担の大きい頭蓋内電極による脳波検査をスキップすることが可能になる。患者 QOL (quality of life) の向上や医療経済的な有効性が認められている。

臨床研究レベルにある診断技術には、言語優位半球の同定や、皮質機能低下の定量的診断、手術成績の予測、てんかんタイプの鑑別診断、脳の可塑性の診断がある。脳機能評価はリハビリテーションとの関わりからも重要視されている。また、外界からの刺激に対する応答の差異によって、統合失調症等の精神疾患を診断する研究も行われている。

基礎研究の分野では、言語や認知過程といったヒト固有の高次脳機能の研究、あるいは、視覚や聴覚といった

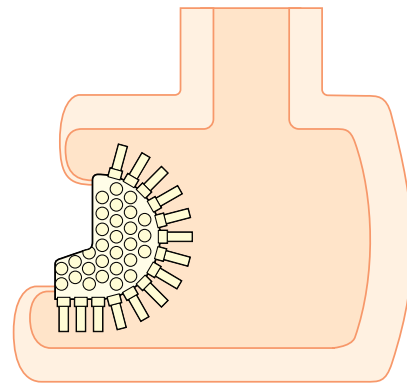


図5 横型デュウ構造

感覚機能および運動機能の生理学的なメカニズムの研究に用いられている。非侵襲的な手法であるため、健常者にも安全に適用することができる。

脳磁計の対象となる疾患は、てんかんや脳腫瘍等の中枢神経疾患全般および中枢神経疾患に伴う感覚機能・運動機能障害である。研究レベルまで含めると、脳血管障害、頭部外傷(後遺症)、脊髄疾患、末梢神経障害、パーキンソン病、アルツハイマー病、統合失調症神経性疾患、高次脳機能障害、脳発達障害、聴覚障害、視覚障害等感覚障害である。痴呆の診断・早期発見や薬剤の効果判定が試みられている。

臨床応用の一つとして、両側性皮質異形成症例を図6に示す。皮質異形成は先天的な大脳皮質の奇形で重度なてんかんが多い。左上は、脳磁図を波形として表示したものである。左下は、同時に記録した脳波である。右上は、指定した時刻での等磁場線図、右下は、発作間歇期の脳磁図から推定した焦点部位をMRIに重ね合わせた画像を示す。両側頭頂後頭部に電流双極子が集積し、皮質異形成部位に一致することを認めた。本症例は脳磁図検査が、てんかん焦点の推定に有用であることを示す。

4. 情報化技術との関わり

脳磁図の解析には、脳磁計で得られる神経の活動部位・時刻に関する情報を、MRIやCTなど形態的な画像とスーパーインポーズした画像が利用される。あるいは、脳磁図で診断された結果を手術ナビゲーションシステムに送り、手術計画に反映させることや、手術支援に利用されるケースもある。脳磁計単独で稼働させるよりは、PACS (picture archiving and communications system) とリンクして画像データをやり取りする機能が求められている。未だDICOM (digital imaging and communications in medicine) では脳磁図は規定されていない。今後、標準化されれば、そのメリットは大きい。

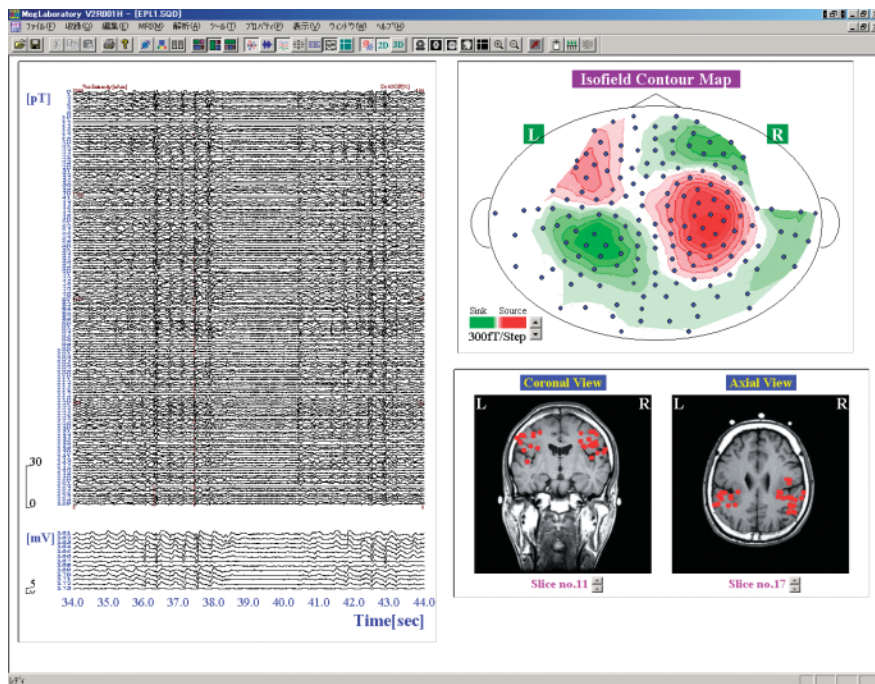


図6 臨床応用(てんかん焦点部位診断)

一方、脳磁図には電気生理検査としての側面もある。脳波 Electroencephalograph: EEG)と同時記録することにより、神経活動を、磁気と電気の両面から捉え、検査の確度を高めるアプローチもあり、特にてんかん検査では必須である。どちらも同じ電気生理現象を測定するが、磁気と電気では見え方に違いがあり、脳磁図と脳波を組み合わせた統合システムが臨床では重要になる。

5. 保険収載

現在、研究施設を含めると、30台以上の脳磁計が国内で稼働している。脳磁図検査は1994年より「神経磁気診断」として高度先進医療の認可を受け、2004年4月より保険に収載(5000点)されることが決定した。自由診療、あるいは高度先進医療と高額な費用を負担しなければ検査を受けられなかった状況から進展、患者にとって朗報である。また保険収載されたことにより医療関係者の関心も高まりつつある。

日本臨床神経生理学会では、2003年に脳磁図ガイドライン作成委員会が設立された。同学会は脳波など電気生理検査のガイドラインをまとめた実績を持つ。施設毎にまちまちであった脳磁図の検査手順を集約し、標準化が進められている⁽²⁾。ガイドラインは、検査・判読者によ

らず一定の診断結果を得られることを目標としており、脳磁計が一部の研究者のツールから、広く一般病院で使われる検査装置に移行する上で必要なものである。

6. おわりに

脳磁計は新しいモダリティとして臨床サイトで評価されつつあるが、解析・診断技術は未だ発展途上にあると言える。そのため、ソフトウェアを主とする解析技術の進歩が求められている。保険収載されたことにより一般病院でも関心が高まるが、稼働させる上での維持費の問題や院内情報システムとの連動など、脳磁計を取り巻く周辺技術の開発も求められている。当社は更なる発展・展開を目指して技術開発に邁進し、脳研究と医学の礎になるつもりである。

参考文献

- (1) 春田康博, 上原弦, 河合淳, 下川原正博, “脳磁計測システム MEGvision”, 横河技報, vol. 44, no. 3, 2000, p. 151-154
- (2) MEGガイドライン作成グループ2003, “臨床脳磁図検査解析指針試案”, 臨床神経生理学会, vol. 32, no. 1, 2004, p. 1-13

* MEGvision は、横河電機 株 の登録商標です。