

光トポグラフィーによる無侵襲脳機能計測

牧 敦

近年、脳磁計測方法 (magnetoencephalography: MEG) や機能的核磁気共鳴撮像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) 等の無侵襲脳機能計測技術の発展に伴い、脳機能研究の気運が高まっている。これらの計測方法は、健常者から脳機能の時空間的特性を取得できる点で意義深い。本稿では、近赤外光を用いた新しい無侵襲脳機能計測技術 (光トポグラフィー)¹⁻³⁾ を紹介する。

1. 光による脳機能計測

脳活動時には、神経活動とともに血行動態が変化することが知られている。Haglund らは、大脳皮質表面における運動・言語機能に関与した血行動態の変化を、脳外科手術中に画像として観測した⁴⁾。大脳皮質領域は、言語機能に代表されるような高次機能に深く関与しており、無侵襲的に大脳皮質の活動を可視化できれば、健常者から高次脳機能に関する多くの知見を得ることが可能となる。そこで、生体透過性の高い近赤外光 (600~1300 nm) を用い、大脳皮質活動に伴う血行動態変化の多チャネル計測を試み、トポグラフィー (等高線) 画像を得た。

図1に、実験に用いた光トポグラフィー装置構成を示す。この光トポグラフィー装置を用い、指運動時の脳活動に伴う血行動態変化を計測した。計測領域は、被験者のMRI画像より確認した中心溝（頭頂部より側頭部にかけて走る脳溝）を基準にし、左側頭部上方に設定した。反対側半身の運動・感覚に関与している運動野・感覚野は、それぞれ中心溝前後にあることが知られている⁵⁾。

この計測領域内に、各照射検出点間距離が 30 mm となるように、光照射 (5点) および検出 (4点) 用の光ファイバー (径 1 mm) を設定し、光スイッチおよびマルチプレクサーを用い光照射および検出点を走査した。光照射および検出点の中心に定義した計測点は全 12 点であり、全点走査時間は 6 秒である。照射光には、それ

ぞれ 1.5 および 3.5 kHz で強度変調されている 787 nm および 827 nm の 2 波長を用いた。集光された反射光は、アバランシフォトダイオードで検出した後、2 台のロックインアンプで同期検波した。その結果、2 波長の反射光強度が同時に独立に計測される。この強度変調分光法は、各波長および各光照射位置ごとに異なる変調周波数を割り当てれば、原理的にはスイッチング系を使用することなく、多波長多点同時計測が可能である。

運動野・感覚野賦活のための運動刺激としては、親指を中心としたランダムな指対向運動を行った。図2

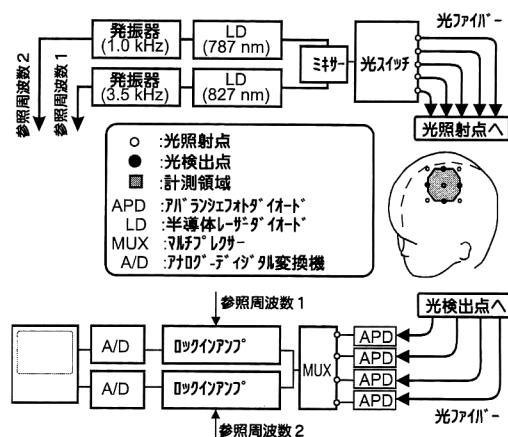


図1 光トポグラフィー装置。

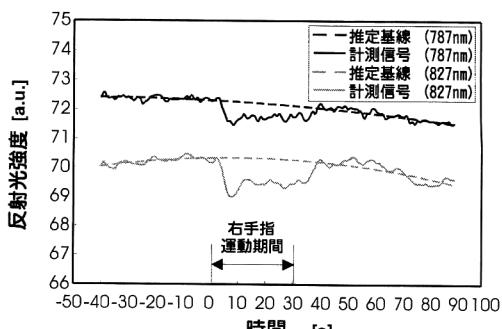


図2 右手指運動時の 2 波長反射光強度の変化。

(株)日立製作所中央研究所メディカルシステム研究部 (〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280)
E-mail: maki@crl.hitachi.co.jp

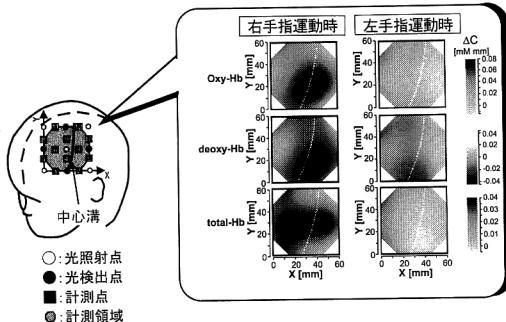


図3 計測位置および指運動時の光トポグラフィー画像(白色点線は中心溝を表す)。

に、右手指運動時に最も顕著な変化が計測された計測点における、2波長の反射光強度を示す。各波長の反射光強度から、脳機能賦活に伴う oxy- および deoxy-Hb 濃度変化を、各波長におけるそれぞれの Hb 分子吸光係数を用いて求めた¹⁾。

各計測点において計測された oxy-, deoxy- および total^{*1}-Hb 濃度の時間変化より、運動刺激期間中(30秒)の平均値を求め、2次元等高線(トポグラフィー)画像を作成した。図3に、詳細な計測位置と各 Hb 濃度変化の光トポグラフィー画像を示す。これらの光トポグラフィー画像より、右(対側)手指運動時には、中心溝近傍(運動野・感覚野)での顕著な oxy- および total-Hb 濃度の上昇が観測されるが、左(同側)手指運動時には、大きな変化は観測されなかった。この oxy- および total-Hb の局所的な増加、そして deoxy-Hb の局所的な減少は、対側の指運動によって、酸素飽和度の高い血液が運動野・感覚野で増加することを示している。

生体の強い光散乱によって、現状の光トポグラフィー画像の空間分解能は約2cm程度と高くはないが、脳機能賦活に伴う Hb 酸素化状態および血液量変化(total-

Hb) を2次元画像として明確に捉えており、脳回レベルでの観測は可能である。本稿では示さないが、各 Hb 濃度の時間変化も、すでにトポグラフィー画像として観測されている。

2. 光トポグラフィーの意義

1929年の脳波の発見以来、様々な無侵襲脳機能計測技術によって、生きたまま人の脳活動を観測する試みが続けられてきた。しかし、現在まで複数計測技術による多角的な研究はほとんど行われていない。なぜなら、装置規模あるいはエネルギーの干渉性の理由から、複数計測技術を用いた同時計測は不可能であったからである。

しかし、光トポグラフィーは、空間分解能の課題は残されているが、小規模な装置で実現でき、また、検出エネルギーが光であるため、唯一他の脳機能計測技術とエネルギー的な干渉がない技術である。したがって、複合計測をする上で適した計測技術であり、様々な無侵襲計測技術から得られる知識の統合に重要な役割を果たすであろう。

文 献

- 1) A. Maki, Y. Yamashita, Y. Ito, E. Watanabe, Y. Mayanagi and H. Koizumi: "Spatial and temporal analysis of human motor activity using non-invasive NIR topography," *Med. Phys.*, **22** (1995) 1997-2005.
- 2) Y. Yamashita, A. Maki, Y. Ito, E. Watanabe and H. Koizumi: "Noninvasive near-infrared topography of human brain activity using intensity modulation spectroscopy," *Opt. Eng.*, **35** (1996) 1046-1049.
- 3) E. Watanabe, Y. Yamashita, A. Maki, Y. Ito and H. Koizumi: "Non-invasive functional mapping with multi-channel near infrared spectroscopic topography in humans," *Neurosci. Lett.*, **205** (1996) 41-44.
- 4) M. M. Haglund, G. A. Ojemann and D. W. Hochman: "Optical imaging of epileptiform and functional activity in human cerebral cortex," *Nature*, **358** (1992) 668-671.
- 5) W. Penfield and E. Boldrey: "Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation," *Brain*, **60** (1936) 389-443.

(1997年4月30日受理)

^{*1} total は oxy- および deoxy-Hb の和を表す。