

走査により画像取得可能な近赤外分光測定プローブ

田上 周路 松岡 英毅 山本 裕紹 早崎 芳夫 西田 信夫

要 旨：近赤外分光法を用いて生体内における代謝の空間分布を測定するための新しい方法を提案する。これは、近赤外分光計測用プローブに位置検出センサーを統合し、体表面上で走査することにより、代謝の空間分布を得る方法である。光吸収物体を含む光散乱体を用いて、作製したプローブの空間応答特性を明らかにする。さらに、直交配置にした2組の発光素子と受光素子、及び受光信号の演算処理を行うことにより、等方的な空間応答特性を有するプローブの実現について示す。(J. Jpn. Coll. Angiol., 2003, 43: 351-354)

Key words: Near-infrared spectroscopy, imaging system, scanning probe

序 言

近赤外分光法は、生体組織における代謝情報の時間変化を日常的な活動中に測定できる数少ない手法の一つである。近年、多数の発光素子と受光素子を用いた多チャンネル化によって、空間的な代謝情報を取得できる近赤外分光画像計測システムが開発され、脳や筋肉などさまざまな生体機能計測に威力を発揮している¹⁻⁵⁾。しかし、多チャンネル化に伴って測定システムの複雑化や大型化によるコスト増や、素子間の特性のばらつき、生体への装着時間の増大といった問題を抱えている。近赤外分光法は、本質的に、安全・簡便・低コスト・非拘束・非侵襲であるため、研究用や医療用装置だけでなく、生活者に広く利用可能な装置への適用を可能とする。

本論文では、近赤外分光測定プローブに位置検出機能を加え、体表面上をなぞる(走査する)ことによって、空間的な代謝情報を取得する方法を提案する。本論文で提案する方法は、体表面上の走査に要する時間が画像取得時間となるため、高速な画像取得には不向きであるが、サンプリングの時間間隔を密にして測定することにより空間的に高密度な計測に伴う画像処理の適用や病変に対する使用者の探索的な計測を可能にし、既存の近赤外分光画像計測装置にはない優れた特徴を有する。その原理を実証するために、1組の発光

素子と受光素子からなる近赤外分光センサーにコンピュータ用マウスの位置検出デバイスを取り付けたプローブを作製し、球形状の光吸収物体を含む光散乱体上で走査することで、その光吸収物体を検出できることを示す。次に、1組の近赤外分光センサーの空間応答特性が素子の配置方向に依存する問題を解決するために、直交して配置した2組の近赤外分光センサーとそれらの検出信号に対する演算処理によって、等方的な空間特性を有するプローブの実現を示す。

位置検出機能を有する 近赤外分光測定プローブ

測定プローブは、近赤外分光センサーと位置検出センサーから構成される。近赤外分光センサーは、中心波長760nmと840nmを有する2つの発光ダイオード(LEDs, light emitting diodes)とフォトダイオード(PD, photodiode)である。LEDとPDの中心間距離を30mmとした。なお、実験では、中心波長760nmのLEDのみを使用し、位置検出センサーには、コンピュータ用ボール式マウスを利用した。実験方法の概略図をFig. 1に示す。エポキシ樹脂に酸化チタンを混合して作製した縦100mm、横210mm、高さ40mmの光散乱体中に、半径3mmの黒いゴム球の光吸収物体を、30mmの間隔で深さ5mm、10mm、15mmに配置した。自動ステージによって光散乱体表面上でプローブを走査し、同時に、サン

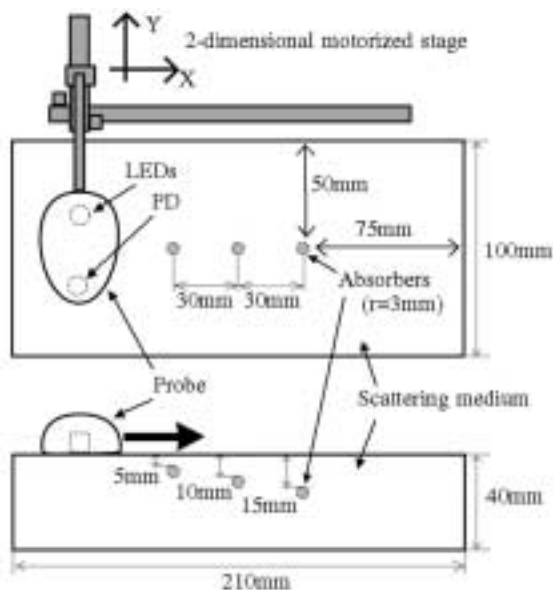


Figure 1 Experimental setup for imaging with a scanning probe. A phantom is a scattering media containing three absorbers. The probe was moved on the phantom by a two-dimensional motorized stage.

プリング間隔 1 mm で散乱光の光強度検出を行った。最大受光強度を 1 としたときの、各点で得られた受光強度をグレイスケールで表した 2 次元受光強度分布を Fig. 2A に示す。測定プローブを走査し、高密度 (ここでは 1 mm) に散乱光を検出すると、球形の光吸収物体は、楕円状に検出される。これは、そのプローブの空間応答特性を示している。その長軸方向は、LED と PD を結ぶ方向である。Fig. 2B は、Y = 0 における、自動ステージ (実線) と位置検出センサー (点) の移動量に対する受光強度を示しており、両者はほぼ一致していた。さらに、受光強度の極小値を示す位置の間隔が、光散乱体中に配置した光吸収物体の間隔にほぼ一致したことから、近赤外分光プローブを走査することによって光散乱体中の光吸収物体の位置を検出できることが分かった。

2 チャンネルを直交して配置したプローブ

1 組の LED と PD から構成されるセンサーを走査する場合には、Fig. 2A で示すように、球形の光吸収物体が楕円として検出された。この問題を解決するために、2 組の LED と PD を直交して配置したプローブを作製す

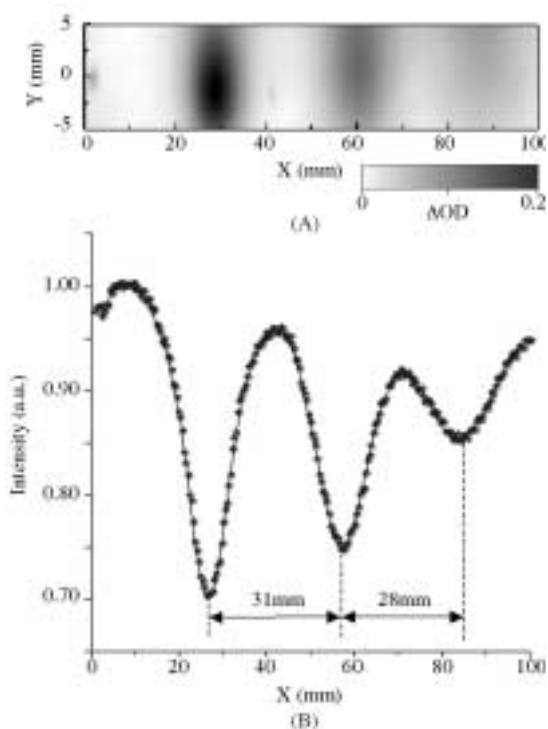


Figure 2 Detected light intensity at each position obtained by two dimensional scanning on the scattering medium. The origin is the point where the center of LEDs and PD is 27 mm away from 5-mm depth absorber.

る。さらに、2つのPDで得られた信号 U , V に対して、同時に光を検出したときに大きな値を出力する演算処理を施す。その演算処理の出力値 P は、

$$P = 1 / ([1 + \exp\{-(U-U_0)/d\}][1 + \exp\{-(V-V_0)/d\}]) \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 U_0 と V_0 はそれぞれの閾値を与える信号、 d は傾きである。これらのパラメータは測定対象に応じて変える必要があり、本実験では、 U と V の最大値と最小値が 0.11 と 0.00 であり、 $U_0=0.03$, $V_0=0.03$, $d=0.02$ を用いた。

直交配置と演算処理によるプローブの空間応答特性を評価するために、プローブを走査する代わりに、光散乱体中で光吸収物体を走査した。光散乱体は、牛乳と水を 1 : 9 の割合で混ぜ合わせた液体散乱体であり⁵⁾、光吸収物体は、太さ 0.5mm の針金で自動ステージと接続され、水面と平行に 20mm の間隔を有

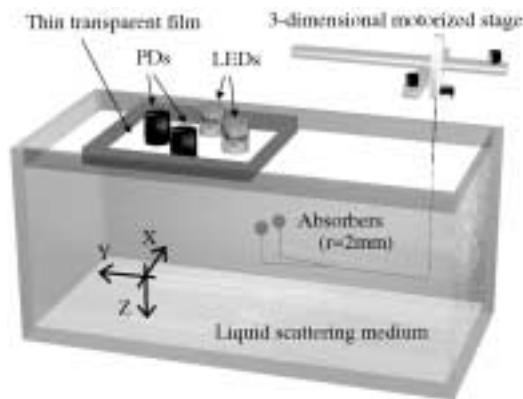


Figure 3 Experimental setup for imaging with a probe composed of 2 channels in a cross arrangement.

する半径 2 mm のゴム球である。Fig. 3 は実験配置である。光吸収物体を水面から深さ 10 mm で走査し、検出した PD の受光強度に対して式 (1) に示す演算処理を行って画像化した。1 個の光吸収物体を走査した場合の各チャンネルから得られた取得画像を Fig. 4A と Fig. 4B に、演算処理の結果を Fig. 4C に示す。このように、1 チャンネルでは楕円状の空間応答特性であったのに対し、直交配置と演算処理によって、円形状の空間応答特性を実現できた。同様に、20 mm 離れた 2 個の光吸収物体を走査した場合の各チャンネルから得られた取得画像を Fig. 4D と Fig. 4E に、演算処理の結果を Fig. 4F に示す。Fig. 4D に示すように、一方のチャンネルでは、2 つの光吸収物体を分離して検出できた。Fig. 4E に示すように、もう一方のチャンネルでは、その空間応答の範囲に 2 つの光吸収物体が存在したため、Fig. 4F の演算処理結果は、2 つの光吸収物体間の距離 (20 mm) よりも短い距離 (15 mm) となったが、2 つの吸収物体を観測できたことを示している。

結 論

近赤外分光法を用いて生体内の代謝の空間分布を取得するための新しい方法として、近赤外分光センサーと位置検出センサーを統合し、体表面上を走査する方法を提案した。コンピュータ用マウスを位置検出デバイスとして利用した走査型プローブのプロトタイプを製作し、光吸収物体の位置を検出できることを明らかにした。単一チャンネルの楕円状の空間応答特性を改良するために、2 チャンネルの近赤外分光センサーの

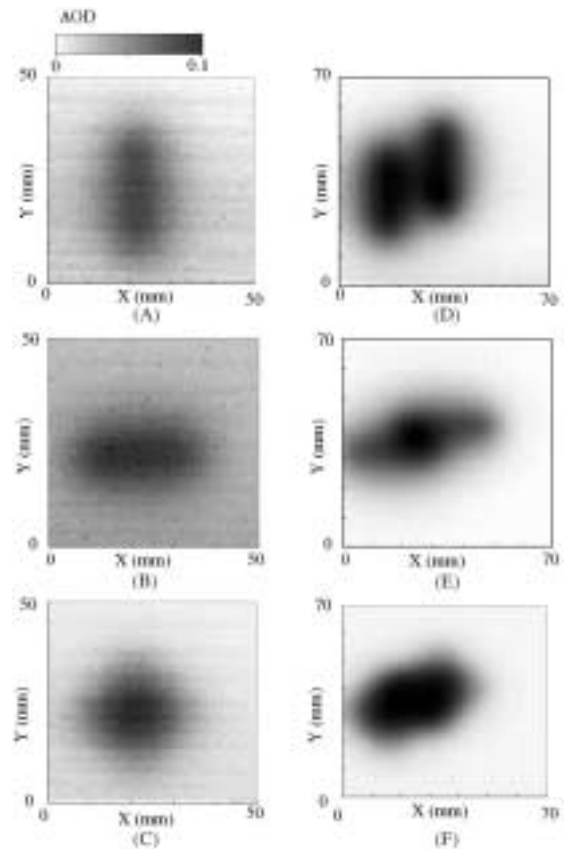


Figure 4

A, B: One absorber at the depth of 10 mm in liquid scattering medium is imaged by two channels.
 C: The image is calculated from the signals obtained from two channels by thresholding operation.
 D, E: Two absorbers are imaged by two channels.
 F: The calculated image.

直交配置と検出された 2 信号に対する演算処理によって、円形状の空間応答特性を与えることができた。今後、走査型プローブによる曲面上の走査や体表面との接触状態による検出結果の変化に対応するために、3 次元位置検出デバイスとの統合が有効である。

文 献

- 1) Koizumi H, Yamashita Y, Maki A et al: Higher-order brain function analysis by trans-cranial dynamic near-infrared spectroscopy imaging. J Biomed. Opt., 1999, 4: 403-413.
- 2) Kennan RP, Kim D, Maki A et al: Non-invasive assessment of language lateralization by transcranial near infra-

- red optical topography and functional MRI. *Human Brain Mapping*, 2002, **16**: 183-189.
- 3) Hamaoka T, Iwane H, Shimomitsu T et al: Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *J Appl. Physiology*, 1996, **81**: 1410-1417.
- 4) Chance B: Near-infrared images using continuous, phase-modulated, and pulsed light with quantitation of blood and blood oxygenation. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1998, **838**: 29-45.
- 5) Yamashita Y, Maki A, and Koizumi H: Measurement system for noninvasive dynamic optical topography. *J Biomed. Opt.*, 1999, **4**: 414-417.

Development of Scanning Probe for Image Acquisition with Near-infrared Spectroscopy

Shuji Taue, Hideki Matsuoka, Hirotsugu Yamamoto, Yoshio Hayasaki, and Nobuo Nishida

Department of Optical Science and Technology, Faculty of Engineering,
University of Tokushima

Key words: Near-infrared spectroscopy, imaging system, scanning probe

We propose a novel imaging technique to obtain a spatial distribution of metabolisms in a human body. The proposed technique employs scanning of a probe that consists of near-infrared sources, a detector, and a position sensitive device in order to obtain the spatial distribution. For demonstrating the proposed imaging technique, we have developed a near-infrared probe to test and examined the spatial distribution. Furthermore, we have implemented an isotropic spatial response by using an improved probe containing two source-and-detector pairs in a cross arrangement.

(*J. Jpn. Coll. Angiol.*, 2003, **43**: 351-354)