

## 筋組織の深部を対象とした近赤外分光法による酸素濃度計測

## [1] 組織

代表者：木目 良太郎

(東京医科大学)

対応者：庭山 雅嗣

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

## [2] 研究経過

これまでに、多チャンネル型近赤外線分光法装置 (Multi-NIRS) を用いて平面的な酸素バランスの不均一性については検討されているが、浅い層と深い層というように深さ方向分析も加えて酸素バランスを3次元的に解析した研究は皆無である。また、筋細胞内の PCr 濃度はミトコンドリアの酸素需要レベルを反映しており、近年我々は筋内 PCr 濃度分布の3次元計測に成功したことから、この筋内 PCr 濃度分布と筋組織酸素バランスの動態を併せて計測することで、酸素需要と酸素供給のマッチング・ミスマッチングについて3次元的に言及することが可能と考えられる。これらの関係について、筋有酸素能の違いや循環器系疾患の程度についても比較検討する。この研究において、光を用いた血液動態計測での「浅層・深層の情報分離」のための手法に関して理論的解析や実験装置の試作が必要となるため、静岡大学の庭山研究室と共同して測定方法の開発と検証を行う。

以下、研究活動状況の概要を記す。

東京医科大学にて研究打合せを行い、装置の試作後、共同で実験を行った。

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

本研究では光の伝搬解析の方法として、モンテカルロシミュレーションを使用した。シミュレーションモデルは、前腕の MRI 断層画像 (図 1a) 及び解剖学<sup>[1]</sup>に基づき、組織ごとに領域分割された断層画像 (図 1b) を作成した。各組織の光学定数は文献に基づき表 1 のように設定した。図 2 に示すように、異なる素子配置条件における光路長分布を得た。

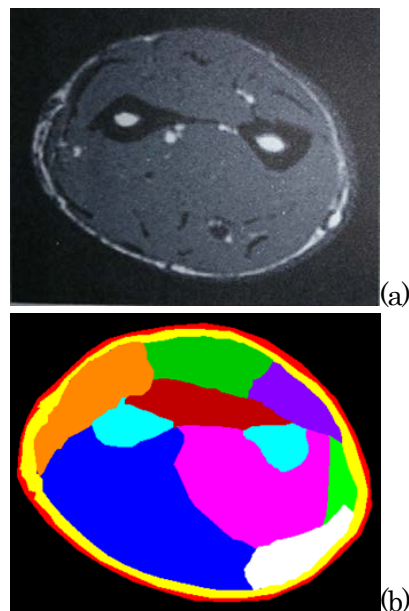


図1 シミュレーションモデル。

表1 光学定数

組織	$\mu' s [mm^{-1}]$	$\mu a [mm^{-1}]$
皮膚	1.4	0.03
脂肪	1.0	0.002
筋肉	0.45	0.02
骨	1.4	0.02

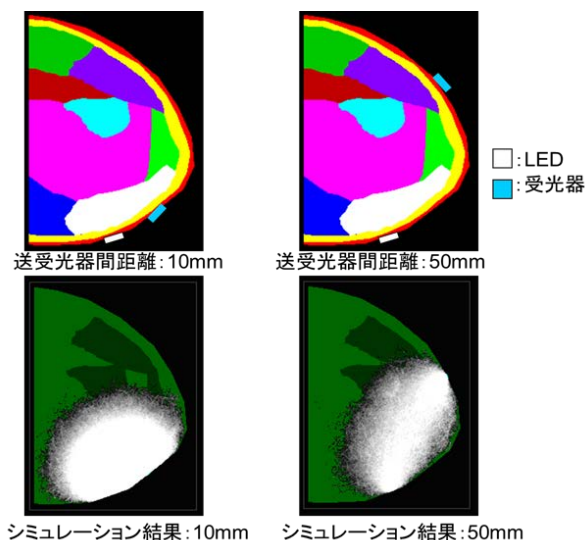


図2 送受光器配置と光路長分布

測定装置の光プローブを図 3 に示す。光源より 770nm と 830nm の近赤外光を照射し、近接部と遠距離部で光強度データを取得した。実測においては、被験者前腕にプローブを装着し (図 4)、安静を挟んで最大随意収縮 (MVC) の 2, 20, 35% で 2 分間運動し、酸素消費量測定のため動静脈閉塞を 30 秒間行った。2 点での吸光度変化と理論解析結果を用いて、表層および深層の酸素化ヘモグロビン濃度変化  $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$  と脱酸素化ヘモグロビン濃度変化  $\Delta[\text{HHb}]$  をそれぞれ求めた。なお、本試験は静岡大学倫理委員会の承認のもと、被験者のインフォームドコンセントを得て実験を行った。

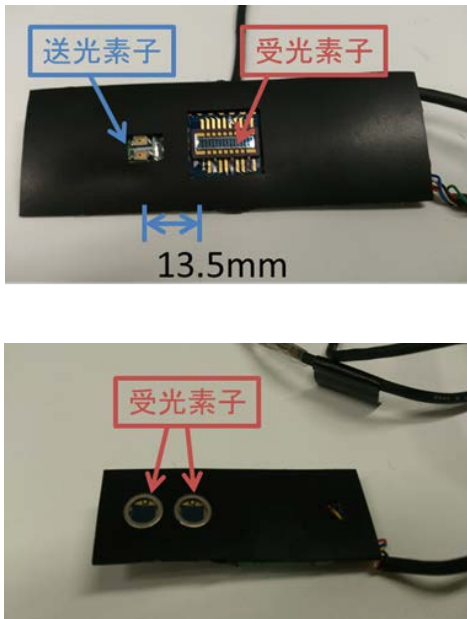


図 3 測定装置

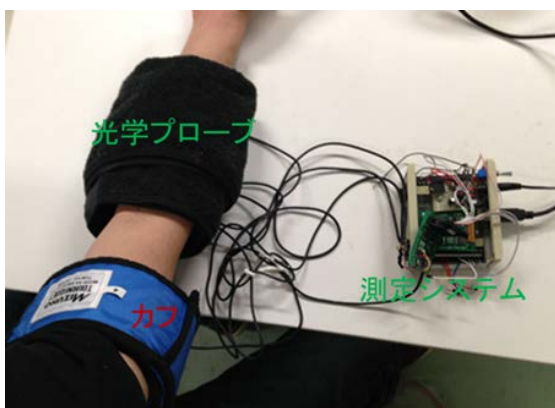


図 4 実際の測定の様子

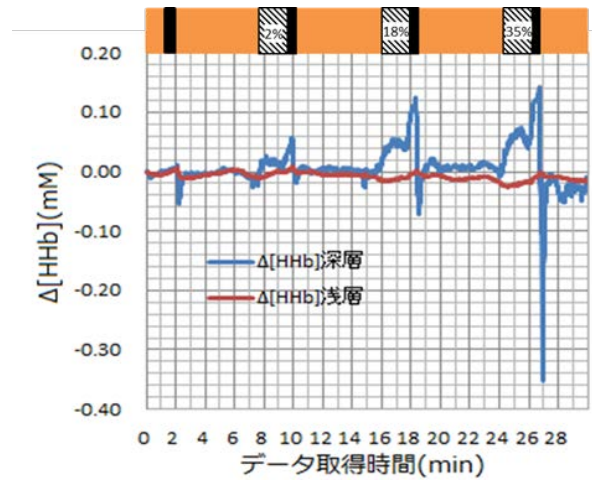


図 5 酸素消費量測定試験の結果

実測における表層と深層の  $\Delta[\text{HHb}]$  を図 5 に示す。閉塞時の  $\Delta[\text{HHb}]$  増加率が酸素消費量に等価となる。最初の安静時では表層が  $0.15 \mu\text{M/s}$ 、深層が  $0.13 \mu\text{M/s}$  となり、同程度であった。運動負荷の増加とともに酸素消費量は増加し、2%MVC では表層で安静時の 2 倍、深層で安静時の 10 倍となり、深さによる酸素動態の差異を測定できる可能性が示唆された。本測定における誤差要因としては、運動や体位による筋の形状変化が考えられたため、その影響の検証として深層での光路長を 20% 増加させたところ、深層の酸素消費量が 15% 減少した。このことから筋組織形状のリアルタイムな把握が定量化に重要であることが推察され、超音波画像計測などの併用が関心領域の測定誤差低減に有用と考えられる。

### (3-2) 波及効果と発展性など

S/N 比を向上させるために送受光間距離を拡げる研究は散見されるが、深さ方向分析を目的としたマルチ受光部の配列や、表層部シグナルの補正による深層部シグナルの選択的導出に関しては過去に例がない。これまでも NIRS を用いた末梢循環障害の検出については報告されているが、本装置のような酸素動態の 3 次元的解析の方が、血行障害部位検出の空間的特異性を知るうえで優れていると思われる。

### [4] 研究成果

(1) S. Takagi, N. Murase, R. Kime, M. Niwayama, T. Osada, T. Katsumura: "Skeletal muscle deoxygenation abnormalities in early post myocardial infarction," *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 46(11), pp. 2062-2069 (2014)

本プロジェクト経費による出張支出はありません。