

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：32645

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01735

研究課題名(和文)透過光を用いた深層筋の運動時酸素動態計測

研究課題名(英文)Evaluation of muscle oxygen dynamics in deep tissue using transmitted NIR light

研究代表者

木目 良太郎(Kime, Ryotaro)

東京医科大学・医学部・講師

研究者番号：90366120

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：今回我々は、受光センサーを複数設置して受光量を増やすプローブを開発し、散乱光ではなく透過光を用いて運動時における筋組織酸素動態の計測を試みた。ヒト筋組織は光吸収物質(特にミオグロビン)の濃度は他組織よりも高く、従来実施されている散乱光と同様の方法で透過光を用いても検出部にて得られる光量が不十分であったため、プローブの装着方法を皮膚の上から皮下脂肪をピンチするように送光部と受光部を強く押し込むことで皮下脂肪による散乱の影響を少なくした。その結果、透過光を用いて安静時および等尺性運動時におけるヒラメ筋の酸素動態を検出することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近赤外線分光法(NIRS)を用いた運動時の筋組織計測は、その計測方法が簡便なことからスポーツ医学の分野でも広く利用されているが、散乱光を利用しているため皮下1～2センチ程度の筋組織しか計測していない。筋組織の深層部は遅筋線維が多いため、運動時には主動筋として動員されているが、それらの情報をNIRSでは検出できないのが現状である。そこで、受光センサーを複数設置して受光量を増やすプローブを開発し、散乱光ではなく透過光を用いて運動時における筋組織酸素動態の計測を試みた。その結果、透過光を用いて安静時および等尺性運動時におけるヒラメ筋の酸素動態を検出することに成功した。

研究成果の概要(英文)：We tried to monitor to detect muscle deoxygenation in deep tissue by developed multi-detectros NIRS probe using transmitted light, not scatter light. Since deep muscle tissue has high hemoglobin and myoglobin, the detected light power has been insufficient by usual method. therefore, we tried to pinch measurement site, especially subcutaneous adipose tissue, to minimize the effects of scattering of adipose tissue. Finally, we can detect Soleus muscle deoxygenation using transmitted NIR light at rest during isometric exercise.

研究分野：運動生理学

キーワード：近赤外線分光法 筋組織酸素動態 平均光路長 自転車運動

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近赤外線分光法 (NIRS) は非侵襲的かつ連続的に筋組織の酸素バランス評価が可能であり、これまでも我々は、単一筋内 (Kime et al, Med Sci Sports Exer 2005)、(Kime et al, Adv Exp Med Biol 2010)、および異なる筋群間 (Takagi et al, Adv Exp Med Biol 2013) における酸素バランスの不均一性について検討してきた。しかしながら、運動時における NIRS シグナルは皮下脂肪厚 (Hamaoka et al, Philos Trans A Math Phys Eng Sci 2011) や皮膚血流量 (Koga et al Eur J Appl Physiol 2014) の影響を受けるといった報告もあり、これらの影響に注意しながらシグナル処理を行わなければならない。また、これまで運動中の筋酸素動態の計測に用いられている NIRS プローブの形状は、送光部と受光部が同一面上に配列されている散乱光検出型であるため、表層のごく浅い部位情報しか検出できていない。筋組織の深層部は遅筋線維が多いため、運動時には主動筋として動員されているが、それらの情報を NIRS では検出できないのが現状である。

また、運動時における組織の血液・酸素動態の変化は筋組織由来だと考えられているが、透過光変化は筋組織だけでなく皮膚組織の情報もミックスされているため、運動時における組織酸素濃度変化が皮膚組織由来なのか筋組織由来なのかを分離する必要がある。更には、運動時における筋組織血液量変化が末梢組織での血管拡張応答だと仮定すれば、全身持久力の高い方がこの血液量変化が大きいことが考えられる。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、上記のような散乱光検出型の NIRS プローブではなく、筋組織をキャリパーで挟み込むようなイメージで送光部と受光部を配列し、さらに受光センサーを複数設置して受光量を増やすプローブを開発し、散乱光ではなく透過光を用いて筋組織の酸素動態を計測することを目的とした。

また、NIRS により得られた情報は筋組織と皮膚組織の混合情報であるが、運動時における血液・酸素動態変化が皮膚組織ではなく筋組織に由来しているか否かを確かめるため、皮膚組織と筋組織を同時に計測できる NIRS プローブを開発し、運動時における皮膚および筋組織の血液酸素動態をそれぞれ分離して計測することも併せて行うことも目的とした。

さらに、筋組織由来と推察される固定負荷運動時における活動筋での血管拡張応答が全身持久力の違いにより異なるか否かについても検討した。

### 3. 研究の方法

ヒト筋組織は光吸収物質(特にミオグロビン)の濃度が他組織よりも高く、従来実施されている散乱光と同様の方法で透過光を用いても検出部にて得られる光量が不十分であると考えられる。そこで、プローブの装着方法を皮膚の上から皮下脂肪をピンチするように送光部と受光部を強く押し込むことで光路長を短縮させ、かつ皮下脂肪による散乱の影響も少なくした(図1)。プローブの上から測定部位をピンチするので、高圧にも耐えられるようなプローブを制作した送光部の光量を上げながら、検出部にて得られる光量変化から筋組織酸素濃度の変化を計測した。

また、図1のようにピンチした際の透過光変化は、筋組織だけでなく皮膚組織の情報もミックスされている。そこで、皮膚組織と筋組織の情報を分離するために、送受光間距離 0.3cm (皮膚組織用) と 3.0cm (筋組織用) に設置されたプローブを用いて、固定負荷運動時における両部位の血液・酸素動態変化の差異について検討した。

さらに、固定負荷運動中の血液量の増加が全身持久力と関連があるか否かを調べた。NIRS を用いた組織酸素濃度変化に大きな影響を及ぼす皮下脂肪厚がほぼ同じ被験者を集め、絶対値が算出可能な近赤外線時間分解分光法 (TRS) を用いて血液量変化と全身持久力の関係について調べた。

### 4. 研究成果

ピンチ時と安静時で光強度分布のシミュレーションをした結果、ピンチ時の方が受光する光量が顕著に大きいことが確認された(図2)。また、腓腹筋とヒラメ筋の光強度分布についてピンチの有無で検討して結果、ピンチ時の方がヒラメ筋から導出される光強度が約 2 倍高いことが確認された。しかしながら、骨格筋有酸素能が高い鍛錬者では、受光部位に検出される光量が少なすぎて測定出来なかったため、更に光量を増やすなどの改善が必要である。

また、固定負荷運動時における皮膚組織および筋組織由来の血液・酸素動態を調べた結果、皮膚組織の情報を反映する送受光間距離 0.3cm の血液動態は、送受光間距離 3.0cm の血液動態とは全く異なる結果が得られた。従って、固定負荷運動時における血液・酸素動態の変化は主に筋組織由来であることが改めて確認された。

さらに、測定部位である大腿部の皮下脂肪厚がほぼ同じ被験者を集めて運動時における血液量変化を鍛錬者と非鍛錬者で調べた結果、非鍛錬者に比べて鍛錬者の方で運動時における血液量変化が有意に増大した。しかしながら、皮下脂肪厚を考慮しないで様々な被験者で検討したところ、運動時における血液量変化と全身持久力との関係が弱まる傾向が観察された。従って、散乱光、透過光を問わず、近赤外線を用いて筋組織酸素動態を計測する際には、皮下脂肪厚の影響を考慮する必要があることが再確認された。

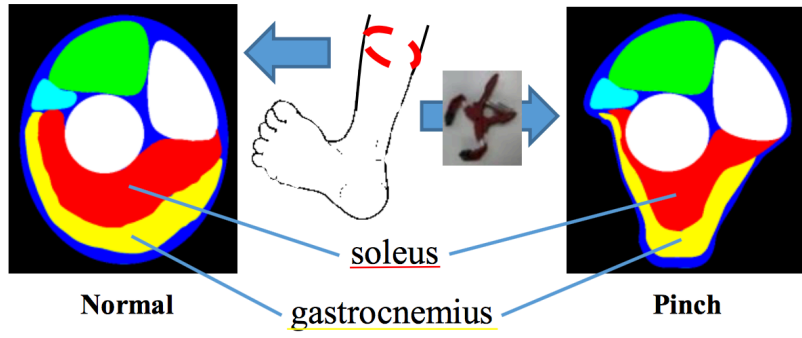


図 1. 安静時およびピンチ時における下腿三頭筋の形状変化

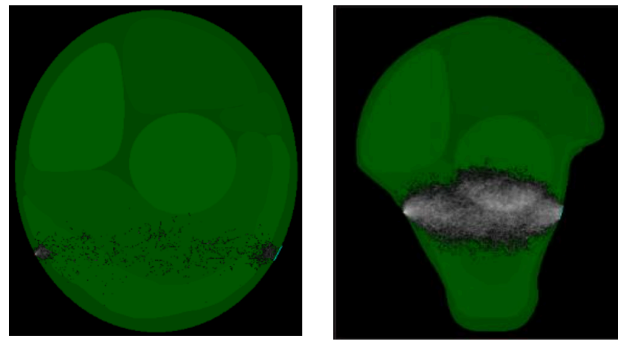


図 2. 安静時およびピンチ時における光強度分布のシミュレーション

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Endo T, Kime R, Watanabe T, Fuse S, Murase N, Kurosawa Y, Hamaoka T               | 4. 巻<br>印刷中       |
| 2. 論文標題<br>Reduced optical path length in the vastus lateralis during ramp cycling exercise | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>Advances in Experimental Medicine & Biology                                       | 6. 最初と最後の頁<br>印刷中 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-         |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Tasuki Endo, Ryotaro Kime, Sayuri Fuse, Tsubasa Watanabe, Norio Murase Yuko Kurosawa and Takafumi Hamaoka | 4. 巻<br>1072         |
| 2. 論文標題<br>Evaluation of Functional Hyperemia Using NIRTRS without the Influence of Fat Layer Thickness             | 5. 発行年<br>2018年      |
| 3. 雑誌名<br>Advanced Experimental Biology and Medicine  | 6. 最初と最後の頁<br>97-101 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/978-3-319-91287-5_16.  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-            |

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>木目良太郎, 遠藤祐輝, 渡辺 翼, 布施沙由理, 田中璃己, 黒澤裕子, 浜岡隆文 |
| 2. 発表標題<br>NIRSを用いた運動誘発性血管拡張の評価に及ぼす皮膚血流の影響            |
| 3. 学会等名<br>第73回日本体力医学会                                |
| 4. 発表年<br>2018年                                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>遠藤祐輝, 木目良太郎, 布施沙由理, 渡辺 翼, 村瀬訓生, 黒澤裕子, 浜岡隆文 |
| 2. 発表標題<br>活動筋の平均光路長は漸増負荷自転車運動中に短縮する                  |
| 3. 学会等名<br>第73回日本体力医学会                                |
| 4. 発表年<br>2018年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>遠藤祐輝, 木目良太郎, 布施沙由理, 渡辺 翼, 村瀬訓生, 黒澤裕子, 浜岡隆文      |
| 2. 発表標題<br>持久性鍛錬者と非鍛錬者における運動中の筋組織血液・酸素動態の差異 - NIRTRSを用いて - |
| 3. 学会等名<br>第22回酸素ダイナミクス研究会                                 |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Endo T, Kime R, Fuse S, Watanabe T, Murase N, Kurosawa Y, Hamaoka T                                |
| 2. 発表標題<br>Reduced optical path length during ramp cycling exercise   |
| 3. 学会等名<br>The 46th annual meeting of the International Society on Oxygen Transport to Tissue ( ISOTT) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Matsuki Y and Niwayama M  |
| 2. 発表標題<br>Development of deep muscle oximeter for deformed tissues by pinching using near-infrared spectroscopy |
| 3. 学会等名<br>The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (国際学会)                                      |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Ryotaro Kime, Tasuki Endo, Sayuri Fuse, Tsubasa Watanabe, Masatsugu Niwayama, Yuko Kurosawa and Takafumi Hamaoka |
| 2. 発表標題<br>Evidence that exercise-induced blood volume expansion is derived from muscle tissue, not from skin               |
| 3. 学会等名<br>The 45th Annual meeting of the International Society on Oxygen Transport to Tissue (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tasuki Endo, Ryotaro Kime, Sayuri Fuse, Tsubasa Watanabe, Norio Murase Yuko Kurosawa and Takafumi Hamaoka |
| 2. 発表標題<br>Evaluation of Functional Hyperemia Using NIRTRS without the Influence of Fat Layer Thickness              |
| 3. 学会等名<br>The 45th Annual meeting of the International Society on Oxygen Transport to Tissue (国際学会)                 |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>木目 良太郎  |
| 2. 発表標題<br>近赤外分光法を用いた筋機能の評価                                |
| 3. 学会等名<br>「第 34 回筋肉の会」・「第 2 回身体運動制御の会」 ジョイントミーティング (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)               | 備考 |
|-------------------|---|-------------------------------------|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 庭山 雅嗣<br><br>(Niwayama Masatsugu)<br><br>(40334958) | 静岡大学・電子工学研究所・准教授<br><br><br>(13801) |    |