

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32645

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11450

研究課題名（和文）光散乱係数の補正による骨格筋有酸素能力の評価

研究課題名（英文）Evaluation of muscle oxidative capacity with correction of optical properties

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） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：近赤外線分光法を用いた骨格筋酸素動態の計測時には皮下脂肪厚による散乱係数の違いが測定値に大きな誤差を与える。そこで我々は、皮下脂肪厚がほぼ同じで有酸素能力の異なる被験者を集めることで近赤外光における散乱強度を標準化し、固定負荷運動時における筋酸素動態の相違について調べた。有酸素トレーニング（TR）群とコントロール（CON）群を対象に、自転車運動時における組織酸素飽和度（StO₂）および血液量（tHb）の変化について調べた。その結果、CONに比べてTRの方が有意にStO₂およびtHbが有意に増加し、これらの増加量（StO₂、tHb）と最高酸素摂取量はそれぞれ有意な相関関係が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近赤外線分光法による筋機能計測はスポーツ医科学の分野で広く利用されている。しかしながら、光学特性に大きな影響を及ぼす皮下脂肪厚（ATT）の影響を補正していない研究も多く、またATTの影響を補正した研究でも補正式の違いによって結果が大きく異なるという問題が生じている。そこで本研究は、ATTが同程度の被験者を集め（CON）、更にCONとATTがほぼ同じで普段から持久的トレーニングを行っている被験者（TR）も集めることで、光学特性に影響を与える散乱係数を標準化した。ATTを揃えた被験者を対象に、散乱係数が計測可能な近赤外線時間分解分光法を用いて筋有酸素能を評価したのは本研究が初めてである。

研究成果の概要（英文）：The differences in scattering coefficients affect to absolute values evaluated by near infrared spectroscopy (NIRS). Hence, we have normalized the effects of scattering coefficients by gathering the subjects who have almost the same fat layer thickness. The subjects performed cycling exercise at constant work rate for 6 min., and we evaluated the increased Oxy-Hb and Total-Hb during the cycling exercise in endurance trained group (TR) and control group (CON). We found that increased Oxy-Hb was significantly higher in TR group than CON group, and increased Oxy-Hb was significantly positive correlated with peak oxygen uptake.

研究分野：運動生理学、筋エネルギー代謝、生体医工学

キーワード：近赤外線分光法 光散乱係数 平均光路長 筋酸素動態 自転車運動 骨格筋有酸素能力

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近赤外線分光法 (NIRS) は比較的安価で測定も簡便なことから、NIRS を用いた運動時筋機能の評価に関する掲載論文も飛躍的に伸びており、特に最近 10 年で約 2 倍にまで増加している (Pubmed にて検証)。しかしながら、脂肪組織は強い散乱媒質であるため、NIRS を用いて筋機能の評価する際には皮下脂肪の影響を補正する必要があるにもかかわらず (Niwayama et al, Rev Sci Instrum 2000), 殆どの論文で皮下脂肪厚が無視されており、皮下脂肪が厚い筋組織のデータを過小評価している可能性が考えられる (Hamaoka et al, J biomed Opt 2007)。最近の骨格筋 NIRS 計測では、皮下脂肪厚の影響を補正している研究も散見されるが、独自のものが多く、補正式の正確性については未だに議論中である。

これまで我々は、皮下脂肪厚を始めとする光散乱媒質の補正にばかり気を取られていた。しかしながら、運動中は散乱係数が変化しないことから、なるべく皮下脂肪厚が均一な被験者を集めて測定領域中の光散乱強度を均一化することで、骨格筋の有酸素能力を定量的に測定できるのではないかという発想に至った。

2. 研究の目的

そこで本研究はまず、皮下脂肪厚が散乱係数に及ぼす影響をなるべく均一化するために、予め設けた皮下脂肪厚の基準値に近い被験者を集め、自転車運動時における末梢血管拡張機能を定量的に測定することを目的とした。末梢血管拡張機能が優れていると考えられる持続的鍛錬者と健常者を被験者として、持続的運動能力の高い方が末梢血管拡張機能も高いと予想されるので、全身持久力 (最高酸素摂取量) の違いが末梢血管拡張機能に及ぼす影響についても検討した。

また、上記の被験者を対象に、吸光物質が激しく増減する漸増負荷運動時における光学特性および平均光路長の変化についても併せて検討した。

3. 研究の方法

健康な成人男性 23 名を対象に、換気閾値 (VT) の 90% 強度の負荷で、自転車運動を 6 分間実施した。近赤外線時間分解分光法 (NIR-TRS) を用いて、運動時における外側広筋の酸素化ヘモグロビン ($\Delta\text{Oxy-Hb}$) および血液量 (tHb) の変化について調べた。本実験の開始前に外側広筋上の皮下脂肪厚を計測し、基準値外の被験者を除外することで被験者間における皮下脂肪厚の影響を均一化し、散乱係数の影響を標準化した。被験者を普段から持続的トレーニングを行っている群 (TR) と行っていない群 (CON) に群分けし、固定負荷運動時における筋酸素動態の変化について検討した。

また、上記と同じ被験者を用いて、漸増負荷運動時における外側広筋の平均光路長 (MPL) の変化について NIR-TRS を用いて計測し、運動時における測定領域の変化についても併せて検討した。

4. 研究成果

皮下脂肪厚は両群間で有意差はみられなかった。中強度の固定負荷運動時における酸素供給量の増加について調べた結果、両群ともに固定負荷運動の継続に伴い $\Delta\text{Oxy-Hb}$ は有意に増加したが、その増加量 ($\Delta\text{Oxy-Hb}$) は、CON 群に比べて TR 群の方が有意に高値を示した。また、 $\Delta\text{Oxy-Hb}$ と最高酸素摂取量 (VO_2peak) との間に有意な正の相関関係が確認された (図 1)。以上の結果から、散乱係数を標準化することで、固定負荷運動時における血管拡張機能が計測出来る可能性が示唆された。

また、漸増負荷運動時における MPL の変化についても調べた結果、脱酸素化ヘモグロビンが特に影響を受けやすい 760nm の MPL は、運動強度の増加に伴い 9.8% 短縮することが明らかとなった。

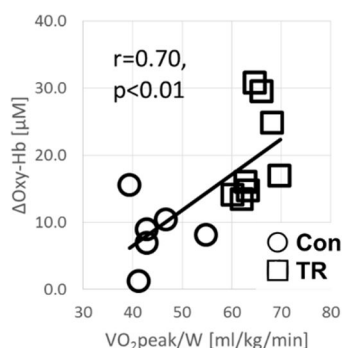


Fig. Relationship between change in muscle oxygenated hemoglobin (Δ Oxy-Hb) during constant work cycling exercise and peak O₂ uptake. Increased Oxy-Hb was significantly positive correlated with peak O₂ uptake. Opened circles indicate control group and opened square indicates endurance training group.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3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 R. Kime, T. Endo, R. Tanaka, S. Fuse, M. Kuroiwa, Y. Kurosawa, T. Hamaoka.	4. 巻 11237
2. 論文標題 Limited muscle oxygen diffusive transport during exercise in humans.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2550671	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Endo T, Kime R, Fuse S, Murase N, Kurosawa Y, Hamaoka T.	4. 巻 53 (4)
2. 論文標題 Changes in Optical Path Length Reveal Significant Potential Errors of Muscle Oxygenation Evaluation during Exercise in Humans.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medine and Science in Sports and Exercise	6. 最初と最後の頁 853-859
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1249/MSS.0000000000002530.	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Endo T, Kime R, Fuse S, Murase N, Kurosawa Y, Hamaoka T.	4. 巻 1269
2. 論文標題 Reduced Scattering Coefficient During Incremental Exercise Is Constant Without Being Affected by Changes in Muscle Oxygenation or Hemodynamics.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Experimental Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 107-112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-48238-1_17	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Takagi S, Kime R, Murase N, Niwayama M, Sakamoto S, Katsumura T.	4. 巻 1269
2. 論文標題 Skeletal Muscle Deoxygenation and Its Relationship to Aerobic Capacity During Early and Late Stages of Aging.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Experimental Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 77-82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-48238-1_12	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Watanabe Tsubasa, Murase Norio, Kime Ryotaro, Kurosawa Yuko, Fuse Sayuri, Hamaoka Takafumi	4. 巻 1269
2. 論文標題 Effects of Exercise Training on Cardiac and Skeletal Muscle Functions in Patients with Chronic Heart Failure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Experimental Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 101 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-48238-1_16	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Ryotaro Kime, Tasuki Endo, Shun Takagi, Takafumi Hamaoka	4. 巻 -
2. 論文標題 Muscle oxygen dynamics measured by NIRS	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advances in Experimental Medicine & Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 木目良太郎, 遠藤祐輝, 田中璃己, 布施 沙由理, 黒岩 美幸, 黒澤 裕子, 浜岡 隆文
2. 発表標題 筋酸素消費量の測定法とその限界
3. 学会等名 第24回酸素ダイナミクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤祐輝, 木目良太郎, 庭山雅嗣, 布施沙由理, 田中璃己, 黒岩美幸, 村瀬訓生, 黒澤裕子, 浜岡隆文
2. 発表標題 中強度自転車運動中における筋組織血液量の増加が散乱係数変化に及ぼす影響
3. 学会等名 第24回酸素ダイナミクス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Kime, T. Endo, R. Tanaka, S. Fuse, M. Kuroiwa, Y. Kurosawa, T. Hamaoka
2. 発表標題 Limited muscle oxygen diffusive transport during exercise in humans
3. 学会等名 SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Kime, T. Endo, S. Takagi, T. Hamaoka
2. 発表標題 Muscle oxygen dynamics measured by NIRS
3. 学会等名 Annal meeting of international society of oxygen transport to tissue in 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木目良太郎、浜岡隆文
2. 発表標題 運動時における骨格筋機能の評価法と臨床現場への応用
3. 学会等名 第14回日本腎臓リハビリテーション学会 シンポジウム7
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------