

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750334

研究課題名(和文)高齢者における筋血流量を用いた新しい運動イメージ評価法の確立

研究課題名(英文)Muscle blood flow response during motor imagery in elderly subjects

研究代表者

遠藤 加菜 (ENDO, KANA)

広島大学・医歯薬保健学研究院(保)・助教

研究者番号：60584696

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者において運動イメージ時にみられる筋血流応答を用いて運動イメージ出力を定量的・可視的に評価する方法を確立することを目的とした。下肢自転車運動イメージ時に2チャンネル近赤外分光法を用いて下肢の血流動態指標であるOxy-Hbを計測し、運動イメージ出力と主観的鮮明度との関連を調べた。高齢者の主観的イメージ鮮明度は若年者と同程度であった。全身循環応答は変化しなかったが、外側広筋Oxy-Hbは若年者と同程度に増加したことから、高齢者においても運動イメージは局所筋血流量を増加させることが示唆された。運動イメージに伴うOxy-Hb応答を計測することで、高齢者の運動イメージも量的評価できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to examine the influences of motor imagery on the muscle blood flow in elderly subjects. The response in oxygenated hemoglobin concentration (Oxy-Hb) of the vastus lateralis muscle (VL) was measured during motor imagery of voluntary one-legged and two-legged cycling using near infrared spectroscopy in elderly and young subjects. The extent of vividness during the motor imagery of the one-legged or two-legged cycling was similar between the elderly and young subjects. The Oxy-Hb in bilateral VL muscle significantly increased during the motor imagery of the one-legged or two-legged cycling, whereas systemic hemodynamics was not significantly changed during the motor imagery. These findings suggest that motor imagery of the voluntary cycling increased muscle tissue blood flow of bilateral VL not only in young but also in elderly subjects. The changes in the Oxy-Hb in the muscle may serve as a quantitative tool to assess motor imagery.

研究分野：循環生理学、高次脳生理学

キーワード：運動イメージ 高齢者 筋血流量 運動機能 リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

運動イメージは、運動に関連した脳内表象を意識的に行うことであり、運動パフォーマンスの改善に有効な方法と考えられている。この運動イメージを想起する能力は高齢者においても保たれると示唆されていることから、高齢者の運動機能低下の予防や改善のために運動イメージを応用できる可能性がある。高齢者における運動イメージ鮮明度は若年者と比べて低いとの報告があることから、運動イメージをいかに鮮明化するかは、特に高齢者において重要な課題であると考えた。運動イメージの評価において臨床で簡便に応用できる方法として、主観的評価以外に客観的な評価方法は明らかでなかった。さらに鮮明化に寄与する因子も明らかでない。そこで、もし運動イメージの定量的・客観的評価につながる生理的指標を明らかにできれば高齢者に対して運動イメージを容易にフィードバックできるようになり、運動機能改善に役立てられる可能性がある。Ishiiらは若年被験者において下肢の自転車運動イメージを行った際、外側広筋の血流量が増加することを報告した (Journal Applied Physiology 112:1961-1974, 2012)。この下肢筋肉血流応答は、被験者に聴取したイメージ鮮明度と有意に相関した。この筋血流増加反応を用いて、高齢者においても運動イメージ出力を定量的かつ客観的に評価することが可能であるかどうかを明らかにすること、さらに運動イメージ出力を可視的にフィードバックする方法を明らかにすることが研究目的であった。

2. 研究の目的

骨格筋の血流量は、随意運動時のみならず、運動イメージ時に循環応答に伴って増加する。運動イメージ時にみられる筋血流応答を用いて、運動イメージの鮮明度が低下した高齢者に対して脳内表象である運動イメージ出力を定量的に表し、客観的に評価するという新しい運動イメージ評価方法を確立することを目標とした。

筋血流反応を用いて運動イメージの客観的かつ定量的評価ができれば、結果をフィードバックできるようになり、高齢者においても簡単に運動イメージ形成を強化できることから、加齢にともなう運動循環機能の改善に役立つと考える。

3. 研究の方法

(1)対象者

高齢者9名(うち男性3名、66±1歳)を対象とした(表1)。うち3名は服薬を行っていたが、いずれもムスカリン受容体障害作用はなかった。

表1. 被験者の基本情報

| Age | Sex | 既往歴 | 服薬 | 最近の運動習慣 | |
|-----|-----|-----|----------|--------------|---------|
| A | 63 | F | なし | なし | |
| B | 64 | F | 高血圧、高脂血症 | ミカルディン、メパロチン | マラソン |
| C | 68 | F | なし | なし | なし |
| D | 73 | F | 高血圧、糖尿病 | コニール、ジェノバ | なし |
| E | 67 | M | なし | なし | テニス |
| F | 65 | M | なし | なし | なし |
| G | 63 | M | 高血圧 | なし | 散歩、自転車 |
| H | 67 | F | 呼吸器喘息 | 気管支拡張剤 | 山登り、自転車 |
| I | 64 | F | 肝機能障害 | ウルソ | なし |

(2)実験方法と手順

下肢自転車運動イメージ時にみられる左右外側広筋における筋血流応答を、2チャンネル型近赤外分光装置(NIRS; NIRO 200)を用いてリアルタイムで計測した(図1)。具体的には、左右外側広筋の局所酸素化ヘモグロビン動態(Oxy-Hb)および脱酸素化ヘモグロビン動態を同時記録した。得られたデータのうち、局所筋血流量を反映すると考えられるOxy-Hbを分析した。超音波診断装置(Vivid i, GE Healthcare製、以下Doppler)を用いて計測部位である外側広筋の筋層がどのくらい深部に存在するかを確認した。

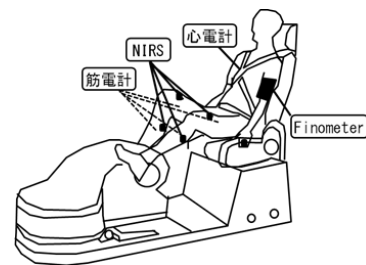


図1 実験セットアップ図

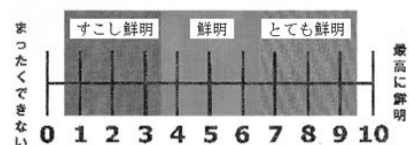


図2 主観的イメージ鮮明度評価 VAS

実験では、片脚自転車運動および両脚自転車運動の2種類を行わせた。運動強度は運動時心拍数が年齢予測最大心拍数の40%相当に達する負荷とし、60rpmのペースで1分間行わせた。運動直後にBorg Scaleを聴取し、中強度負荷であることを確認した。次に、このエルゴメーター運動の一人称イメージを閉眼で1分間行わせた。イメージ遂行直後には主観的イメージ鮮明度を、Visual Analog Scale (VAS)を用いて[0(全くできない)~10(最高に鮮明)]の11段階評価で聴取した(図2)。運動イメージの鮮明化に寄与する因子を調べるために、実際に運動を行う条件に近い条件において運動イメージ鮮明度やOxy-Hb応答が増加するか否かを調べた。具体的には、屋外で自転車をこぐ際の景色の移り変わりの動画を見るという‘視覚的入力’あるいはモーター駆動を用いて実際の運動と

同じように筋・関節運動を生じさせる‘他動的運動入力’によって、運動イメージ鮮明度や Oxy-Hb 応答が増加するか否かを調べた。さらに精神ストレス課題であるストループテスト、ならびに会話も行われた際にみられる左右外側広筋 Oxy-Hb 反応を計測し、Oxy-Hb 増加に関わる因子について調べた。

4. 研究成果

以下に、本研究の成果を箇条書きする。

(1) 高齢者において主観的イメージ鮮明度の VAS は片脚自転車運動において 6 ± 1 (図 2) であった。これは若年者と (Ishii et al. Journal Applied Physiology 112:1961-1974, 2012) と同程度であったことから、高齢者においても運動イメージ鮮明度は保たれることが示唆された。両脚自転車運動の VAS は 5 ± 1 であり、若年者と同程度であった。

(2) Oxy-Hb は運動イメージ開始後から緩やかに増加し、続いてイメージ終了時まで値を維持し、イメージ終了後 30 秒程度経過してから徐々に減少し安静値まで戻った。高齢者においても若年者と同程度の左右外側広筋 Oxy-Hb の増加が生じていた。高齢者において、若年者と同様に運動イメージ中に血圧・心拍数の有意な変化はみられなかった(図 3)。両脚自転車運動について Oxy-Hb および血圧・心拍数の変化は片脚自転車運動と同様の結果であった。

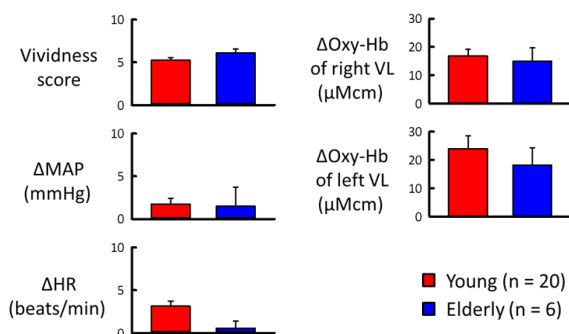


図 3 片脚運動イメージ中にみられたイメージ鮮明度、全身循環応答、および局所筋血流応答における高齢者と若年者との比較

(3) 屋外で自転車をこぐ際の景色の移り変わりの動画を見る‘視覚的入力’およびモーター駆動を用いて実際の運動と同じように筋・関節運動を生じさせる‘筋機械的入力’を与えた際に主観的イメージ鮮明度ならびに運動イメージ中の Oxy-Hb 応答は増加しなかった。さらに、ストループテストおよび会話に対して、左右外側広筋 Oxy-Hb は増加しなかった。

(4) 外側広筋は皮下組織～約 2 cm 深部に存在することを Doppler の筋組織横断計測により確認した(図 4)。近赤外光は皮膚から 2-3cm

程の深部まで到達し、組織ヘモグロビン吸収を受けることから、今回計測した Oxy-Hb 動態は外側広筋を含む大腿筋血流動態を反映すると思われる。

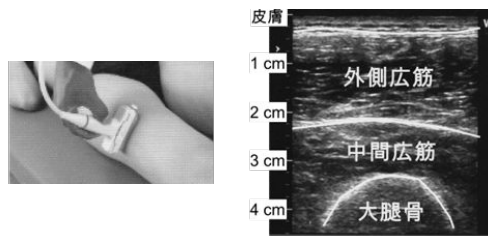


図 4 男性 (65 歳) の外側広筋横断面画像の例

以上の研究成果から、高齢者においても運動イメージは局所組織血液量の増加を引き起こしうることが分かった。NIRS を用いて運動イメージに伴う Oxy-Hb 応答を計測することで、若年者だけでなく高齢者においても運動イメージは量的評価できる可能性がある。一方、視覚的入力および筋機械的入力を与えた際に主観的イメージ鮮明度ならびに運動イメージ中の筋血流量は増加しなかったことから、運動イメージの鮮明化に関わる因子について、視覚的入力および筋機械的入力の影響を明白にすることはできなかった。

本研究成果の限界として、1 つめに現時点では Doppler を用いた大腿動脈血流量の計測が難しく、局所組織 Oxy-Hb と下肢全体への血流量との関連の評価については、明白な結果を得るに至らなかった。2 つめに NIRS 照射部位である局所筋組織構造には加齢変化が生じている可能性がある。筋組織構造に顕著な違いがあれば、NIRS 計測するシグナルにも違いが生じる可能性がある。若年者の外側広筋横断面の Doppler 計測を行い、構造上の違いについて今後確認する必要がある。3 つめに、運動強度の設定について高齢者では若年者のように運動負荷試験を実施しなかった。個々の相対運動強度指標の算出には、年齢予測最大心拍数ならびに主観的運動強度を基準としたことから、若年者と比較すると厳密にはやや低めの強度設定となっていた可能性がある。4 つめに、実験時の肢位について、高齢者では運動実施に慣れた姿勢である座位で行ったが、若年者の先行研究では下肢ペダル駆動に最も力を入れやすい仰臥位で行っていた。このような運動肢位の違いが Oxy-Hb 応答や運動イメージ鮮明度に影響を及ぼした可能性は否定できない。そこで、若年者の運動肢位を高齢者と揃えた条件でデータを計測し、比較を行う必要がある。このように若年者の実験との違いがあるため、条件を揃えてデータを得た上で今後さらなる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

1. Matsukawa Kanji, Ishii Kei, Liang Nan, Endo Kana, Ohtani Ryo, Nakamoto Tomoko, Wakasugi Rie, Kadowaki Akito, Komine Hidehiko. Increased oxygenation of the cerebral prefrontal cortex prior to the onset of voluntary exercise in humans. *J Appl Physiol*, 査読有 119: 452-462, 2015.(DOI:10.1152/jappphysiol.00406.2015.)
2. Ishii Kei, Matsukawa Kanji, Liang Nan, Endo Kana, Idesako Mitsuhiro, Hamada Hironobu, Kataoka Tsuyoshi, Ueno Kazumi, Watanabe Tae and Takahashi Makoto. Differential contribution of Ach-muscarinic and β -adrenergic receptors to vasodilatation in noncontracting muscle during voluntary one-legged exercise. *Physiol Rep* 査読有 2: e12202, 2014.(DOI:10.1152/jappphysiol.00103.2016.)

〔学会発表〕(計16件)

1. 遠藤 加菜, 伊藤 百花, 川原 舞, 小畑菜央, 石井 圭, 梁 楠, 浅原 亮太, 松川 寛二. 視覚刺激による快・不快の情動変化が顔面皮膚血流量に与える影響. 第93回日本生理学会大会, 2016年3月22-24日, 札幌.
2. 石井 圭, 松川 寛二, 梁 楠, 遠藤 加菜, 浅原 亮太, 井手迫 光弘. 運動イメージによる呼吸循環系の活性化. 第93回日本生理学会大会, 2016年3月22-24日, 札幌.
3. 梁 楠, 浅原 亮太, 石井 圭, 遠藤 加菜, 松川 寛二. 平地とトレッドミル歩行時の大脳皮質興奮性の変化について-ポータブルfNIRSを用いた解析. 第93回日本生理学会大会, 2016年3月22-24日, 札幌.
4. 浅原 亮太, 松川 寛二, 石井 圭, 梁 楠, 遠藤 加菜. ヒトの随意運動開始時における前頭前野酸化Hb濃度と呼気終末炭酸ガス濃度の関連. 第93回日本生理学会大会, 2016年3月22-24日, 札幌.
5. 遠藤 加菜, 伊藤 百花, 石井 圭, 梁 楠, 松川 寛二. 視覚刺激による快・不快の情動反応が顔面皮膚血流量に及ぼす影響. 第67回日本生理学会中国四国地方会, 2015年10月24-25日, 米子.
6. 浅原 亮太, 石井 圭, 遠藤 加菜, 梁

楠, 松川 寛二. 無拘束状態での床歩行時とトレッドミル歩行時にみられる大脳皮質運動野活動. 第67回日本生理学会中国四国地方会, 2015年10月24-25日, 米子.

7. Ishii Kei, Ito Momoka, Endo Kana, Liang Nan, Idesako Mitsuhiro, Matsukawa Kanji. Facial skin blood flow response during exposure to emotionally-charged movie. *Experimental Biology 2015*, 28 March-1 April, 2015, Boston, MA, USA.
8. Matsukawa Kanji, Ishii Kei, Idesako Mitsuhiro, Liang Nan, Endo Kana. The sensitivity of cardiac baroreflex is decreased at the onset of and during the later period of treadmill exercise at a higher intensity in conscious cats. *International Symposium on Human Adaptation to Environment and Whole-body Coordination*, 14-16 March, 2015, Kobe, Japan.
9. 松川 寛二, 石井 圭, 梁 楠, 遠藤 加菜. 随意運動時にみられる非活動筋血流量の増加と神経調節メカニズム. 第120回日本解剖学会総会・全国学術集会 / 第92回日本生理学会大会合同大会 シンポジウム 8: 血管運動の神経性調節: 解剖学のおよび生理学的知見の統合, 2015年3月21-23日, 神戸.
10. 石井 圭, 松川 寛二, 梁 楠, 遠藤 加菜, 井手迫 光弘, 濱田 泰伸, 片岡 健, 山下 かおり, 渡邊 多恵. ヒト片腕運動時にみられる骨格筋コリンおよび β アドレナリン作動性血管拡張. 第120回日本解剖学会総会・全国学術集会 / 第92回日本生理学会大会合同大会, 2015年3月21-23日, 神戸.
11. 遠藤 加菜, 梁 楠, 石井 圭, 井手迫 光弘, 松川 寛二. ストループ課題における前頭前野の酸素動態に加齢が与える影響. 第120回日本解剖学会総会・全国学術集会 / 第92回日本生理学会大会合同大会, 2015年3月21-23日, 神戸.
12. 井手迫 光弘, 松川 寛二, 石井 圭, 梁 楠, 遠藤 加菜. 動脈血圧反射の心拍数調節感度はトレッドミル運動の強度と継続時間に依存して低下する. 第120回日本解剖学会総会・全国学術集会 / 第92回日本生理学会大会合同大会, 2015年3月21-23日, 神戸.
13. 梁 楠, 松川 寛二, 石井 圭, 井手迫 光弘, 遠藤 加菜. 麻酔下ラットにおける島

皮質の電気刺激は中脳腹側被蓋野の局所血流量を増加させる。第 120 回日本解剖学会総会・全国学術集会 / 第 92 回日本生理学会大会合同大会，2015 年 3 月 21-23 日，神戸。

14. 井手迫 光弘, 松川 寛二, 石井 圭, 梁 楠, 遠藤 加菜. 大動脈弓血圧受容器反射による心拍数調節ゲインはトレッドミル運動の強度に依存して低下する. 第 66 回日本生理学会・中国四国地方会, 2014 年 11 月 1-2 日, 香川.
15. 松川 寛二, 石井 圭, 遠藤 加菜, 梁 楠, 井手迫 光弘, 土井 詩織, 崎田 有紀. 心拍数・動脈血圧よりも筋組織血流量の変化は運動イメージの抽出に有効である. 第 69 回日本体力医学会大会, 2014 年 9 月 19-21 日, 長崎.
16. Endo Kana, Liang Nan, Ishii Kei, Idesako Mitsuhiro, Matsukawa Kanji. Effect of acute dynamic exercise on cognitive function in elderly subjects. *The 16th International Congress of the World Federation of Occupational Therapists*, 18-21 June, 2014, Yokohama, Japan.

〔その他〕

広島大学大学院医歯薬保健学研究院・基礎生命科学部門・生理機能情報科学研究室ホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/matsulab/publications.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 加菜 (ENDO KANA)

広島大学・医歯薬保健学研究院・助教

研究者番号：60584696